

土壤接種溶磷菌對小白菜生育及氮、磷吸收之影響

莊浚釗

摘 要

本試驗以盆栽方式進行，目的在探討從作物根圈分離篩選獲得之四種溶磷菌（*Pseudomonas spinosa*、*Burkholderia cepacia* (b)、*Penicillium* sp.、*Aspergillus* sp.），接種於土壤後對小白菜生育及氮、磷吸收之影響。試驗結果顯示，四種溶磷菌當中，其中 *Pseudomonas spinosa* 及 *Aspergillus* sp. 可促進小白菜生育及養分之吸收，小白菜單株產量較對照組分別增加 25 g (26.5%) 及 27 g (28.7%)、乾重分別增加 1.12 g (22.8%) 及 1.29 g (26.2%)，氮之吸收量分別增加 66 mg (24.7%) 及 71 mg (26.6%)、磷之吸收量分別增加 1.0 mg (4.1%) 及 2.2 mg (8.9%)。

關鍵詞：溶磷菌、小白菜、養分吸收、磷礦石粉

前 言

台灣北部地區耕地面積之 80% 為強酸性土壤（ $\text{pH} < 5.5$ ），約有 101,400 ha（陳，1976，1977，1978）。在強酸性土壤條件下，作物對磷肥之利用率僅達 5–25%（Tisdale et al., 1985），其餘之磷肥則與土壤中之鈣、鐵及鋁等結合為難溶性的磷酸鹽而沉澱（Barber, 1984），不易被作物吸收。

近年來國內外許多學者專家針對提高土壤養分利用率的生物肥料正積極研發，而溶磷菌的利用亦為其中之一。土壤中的溶磷菌分為三類，溶磷細菌、溶磷真菌及溶磷放線細菌（江，1993），溶磷菌主要為真菌，以 *Aspergillus*、*Penicillium* 及 *Candida* 等菌屬為主，次為細菌，以 *Pseudomonas*、*Micrococcus*、*Bacillus* 及 *Flavobacterium* 等菌屬為主（Kucey, 1988），而放線細菌較少，以 *Streptomyces*、*Mycobacterium* 等菌屬為主（Subba Rao, 1982）。

過去接種溶磷菌對作物生長及養分吸收有許多成功的案例，例如小麥接種溶磷細菌可增加產量及植體磷吸收量 41%（Bajpai and Sundara Rao, 1971）。小扁豆（lentil）種子接種溶磷菌可提高礦石磷酸鹽的溶解率 50.4–79.7%（Sharma et al., 1983）。賴和蔡（2004）茄子接種溶磷細菌（*Bacillus pumilus* 及 *Bacillus subtilis*）較對照（不接菌）茄子長度增加 1.5 cm (4.7%)、單果重增加 6.8 g (5.5%) 及產量增加 0.85 kg (16.1%)。茶園連作土壤接種溶磷細菌，可明顯促進台茶 12 號扦插苗的生長（張和楊，1992）。番茄接種溶磷真菌可防治真菌性病害，並明顯提高產量 36.1%（Mujeebur and Shahana, 2002）。溶磷菌亦可與其他微生物進行混合接種，江氏（1994）於百合栽培介質中添加米糠後再接種菌根菌與溶磷菌，百合球莖周徑 7.5 cm 較對照（不接菌）4.6 cm 為佳。劉與楊（2002）選用 15 株溶磷根瘤菌進行萵苣試驗，其中有 8 株溶磷根瘤菌可促進萵苣胚根的生長，3 株可促進大豆及花生的生長並增加

氮及磷的吸收，2 株可促進玉米的生長並增加氮及磷的吸收。Zaidi and Khan (2006) 埃及豆驗同時接種溶磷細菌 (*Bacillus subtilis*)、溶磷真菌 (*Aspergillus awamori*)、菌根菌 (*Glomus fasciculatum*) 及固氮菌 (*Bradyrhizobium* sp.)，較對照 (不接菌) 分別增加每植株乾重 3.3 g (165%)、種子千粒重 7.2 g (24%) 及氮含量 7.6 mg (39%)、磷含量 1.9 mg (83%)。Souchie et al. (2006) 苜蓿同時接種溶磷真菌 (*Aspergillus* sp.) 及叢枝菌根菌 (*Glomus clarum* and *Glomus geosporum*)，較對照 (不接菌) 每植株乾重增加 507 mg (142%)，且較僅接種一種菌株處理乾重增加 470–500 mg (119–137%)。本試驗目的主要針對溶磷能力強且經鑑定的溶磷菌共 12 株 (細菌 10 株，真菌 2 株)，接種於小白菜根部，探討對小白菜生育及養分吸收之影響，並篩選優良菌株，作為爾後試驗推廣生物肥料之參考。

材料與方法

本試驗自 93 年 1 月至 12 月於桃園縣新屋鄉 (本場) 進行，土壤性質如表 1。試驗 I：5 寸盆裝填供試土壤 1.5 kg，接種 12 株溶磷菌株及對照不接菌 (CK) 共 13 處理，每處理 5 盆，每盆種植 1 株，3 重複，共計 195 盆。試驗 II：土壤同試驗 I，試驗處理第 1 因子：接種 12 株溶磷菌株及對照不接菌 (CK) 共 13 處理，第 2 因子：3 種磷肥處理即不施磷肥、施用過磷酸鈣 (4.5 g pot⁻¹) 及磷礦石粉 (8 g pot⁻¹)，共 13 × 3 = 39 處理，每處理 5 盆，每盆種植 1 株，3 重複，共計 585 盆。試驗 III：土壤同試驗 I，試驗處理第 1 因子：由試驗 I 及 II 篩選所得能促進白菜生長的 4 株溶磷菌及對照不接菌 (CK) 共 5 處理，第 2 因子：3 種磷肥處理即不施磷肥、施用過磷酸鈣 (4.5 g pot⁻¹) 及磷礦石粉 (8 g pot⁻¹)，共計 5 × 3 = 15 處理，每處理 5 盆，每盆種植 1 株，3 重複，共計 225 盆。供試作物為小白菜 (*Pai-tsai*) (*Brassica chinensis* Linn.)，在施用堆肥 15 g pot⁻¹ 情形下，肥料三要素用量為 N-P₂O₅-K₂O = 0.66–0.8–0.16 g pot⁻¹，氮肥用硫酸銨，磷肥用過磷酸鈣 (水溶性磷酐 18%) 及磷礦石粉 (南非出產，粒徑大小 < 200 μm，全磷酐 29%，檸檬酸溶性磷酐 25%)，鉀肥用氯化鉀。基肥施用堆肥、磷肥全量及 2/3 量氮、鉀肥，剩餘 1/3 量氮、鉀肥於定植後 15 天作追肥施用 (郁及陳，1983)。

表 1. 供試土壤理化性質

Table 1. Some physical and chemical properties of soil used.

Series	Texture	pH	EC	O.M	Avail	Mehlich's		
		(1:5)	(1:5)		P	K	Ca	Mg
			dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----			
Potu	CL	5.3	0.14	26	45	98	658	109

菌種鑑定：供試菌株為植物根圈土壤所分離、純化的 12 株溶磷菌 (細菌 10 株，真菌 2 株)，以 Biolog 法接種於 BUG agar plant 上，置於 28°C 培養箱中隔夜培養，格蘭氏染色結果判斷 GN-NENT (Gram negative non-enteric) 或 GN-ENT (Gram negative enteric)，再經 16–24 hr 培養判斷，依其讀出結果的 SIM 值是否 ≥ 0.5 來作取決。菌種培養：1. 溶磷細菌：將篩選溶磷細菌，分別接種於 100 mL 鈣磷液體培養基 (Subba Rao, 1982)，於 28°C 下恆溫水平振盪 (120 rpm) 3–5 天至菌液呈現混濁，此時菌數可達 10⁸–10⁹ cfu mL⁻¹。2. 溶磷真菌：溶磷真菌分別接種於洋菜培養基表面 (Wollum, 1982)，

置於 28°C 的培養箱中 3–5 天後菌絲長滿培養基表面，再以無菌水洗入三角玻璃瓶，混勻後取 0.05 mL 菌液塗抹於載玻片 5 cm² 面積內，以顯微鏡 40 × 10 倍觀測計算真菌孢子數。溶磷菌數測定：秤取根圈土壤 1 g，加入裝有 99 mL 無菌水的三角瓶中，非根圈土壤 10 g 加入裝有 90 mL 無菌水的三角瓶中，水平振盪（120 rpm）10 min，以十進位連續稀釋至適當濃度，取菌液 0.1 mL 以三角玻棒均勻的塗抹於平面鈣磷培養基上，三稀釋度（10²、10³ 及 10⁴），3 重覆，置於 28°C 的培養箱中培養，經過 3–7 天，觀察紀錄溶磷菌生長情形與計算菌數或孢子數。

植體分析：植體樣本採取後，先以自來水清洗後再以蒸餾水及去離水沖洗，並以乾紗布擦乾植物體表面的水，置入 70°C 的烘箱中 24 hr，分別秤其乾重並磨粉備用。氮素用濃硫酸加硒粉催化劑分解，分解液以 Kjeldahl 法蒸餾（Page et al., 1982），磷則先以三酸（HNO₃: HClO₄: H₂SO₄ = 9: 2: 2 v/v/v）分解至澄清（Hamze et al., 1984），以鉬黃法測定（Murphy and Riley, 1962）。

結果與討論

一、收穫期小白菜根圈溶磷菌數之變化

小白菜移植田區時接種溶磷細菌數為每株 1 × 10¹⁰ cfu，溶磷真菌則為每株 5 × 10⁸ propagules，但移植一個月後的收穫期，各試驗處理根圈土壤溶磷菌數大多降至每克乾土壤 1 × 10³–10⁵ cfu 或 propagules。試驗 I 接種 8 株溶磷細菌，僅 4 株菌數較對照（不接菌）每克乾土壤 15 × 10³ cfu 為高，而溶磷真菌數則介於 5–8 × 10³ propagules。試驗 II 接種 12 株菌株，不施磷肥、過磷酸鈣及磷礦石粉處理分別有 7 株、4 株及 6 株存活菌數較對照（不接菌）為高，但不同磷肥處理對溶磷菌存活菌數處理間差異性頗大。試驗 III 接種溶磷細菌 *Pseudomonas spinosa*, *Burkholderia cepacia* (b) 及溶磷真菌 *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. 等 4 株菌株，不同磷肥處理溶磷菌數大多較對照（不接菌）為高（表 2）。此結論與 Saber 等（1977）指出作物根圈接種溶磷菌可增加土壤根圈溶磷菌數結果一致，但本試驗發現溶磷菌株接種於小白菜根部，一個月後（收穫期）根圈土壤菌數與不接菌處理相近，顯示溶磷菌於田間的存活期低於 1 個月，探究其原因主要為溶磷菌施入土壤後，缺乏所需利用的碳源及土壤棲性微生物排斥作用（Hattori, 1988），致使菌數大幅度快速下降。

二、接種溶磷菌對小白菜產量及乾重之影響

試驗 I（圖 1A）顯示，小白菜接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株處理產量 114 g plant⁻¹ 較對照（不接菌）72 g plant⁻¹ 增重 42 g plant⁻¹，而接種 *Pseudomonas vietnamiensis* (a, b) (PSM-1, 2) 菌株處理 66 g plant⁻¹ 及 70 g plant⁻¹ 較對照（不接菌）為差，其餘菌株處理介於 74–109 g plant⁻¹，較對照（不接菌）增重 2–37 g plant⁻¹。小白菜乾重（圖 1B）接種 *Enterobacter aerogenes* (PSM-4) 菌株 8.23 g plant⁻¹ 較對照（不接菌）4.03 g plant⁻¹，增重 4.2 g plant⁻¹，處理間達 5% 顯著差異，而接種 *Pseudomonas vietnamiensis* (a) (PSM-1)、*Pseudomonas multivorans* (PSM-3) 及 *Klebsiella planticola* (PSM-8) 菌株分別為 3.8 g plant⁻¹、3.69 g plant⁻¹ 及 3.47 g plant⁻¹ 則較對照（不接菌）為差，其餘菌株則介於 4.35–7.81 g plant⁻¹，較對照（不接菌）增重 0.32–3.78 g plant⁻¹。

表 2. 小白菜接種溶磷菌收穫期根圈菌數之變化
Table 2. Changes of inoculating phosphate-solubilizing microorganism populations in the rhizosphere of
Pai-tsai at harvest.

Strains	Trial ^z						
	I	II			III		
	C	A	B	C	A	B	C
PSB ^y 10 ³ cfu g ⁻¹ soil							
CK1	15 bc	28 de	17 c	19 c	20 a	7 c	20 a
1. <i>Pseudomonas vietnamiensis</i> (a)	6 c	6 f	10 cd	8 de			
2. <i>Pseudomonas vietnamiensis</i> (b)	57 a	10 ef	9 cd	110 a			
3. <i>Pseudomonas multivorans</i>	8 c	90 c	10 cd	9 d			
4. <i>Enterobacter aerogenes</i>	27 b	10 ef	40 b	50 b			
5. <i>Burkholderia cepacia</i> (a)	11 c	8 f	10 cd	5 e			
6. <i>Pseudomonas spinosa</i>	11 c	120 b	9 cd	10 d	25 a	33 a	20 a
7. <i>Burkholderia cepacia</i> (b)	19 bc	40 d	10 cd	20 c	27 a	27 b	23 a
8. <i>Klebsiella planticola</i>	29 b	7 f	60 a	55 b			
9. <i>Pseudomonas pyrrocinia</i>	12 c	160 a	40 b	12 d			
10. <i>Burkholderia cepacia</i> (c)	7 c	90 c	8 cd	10 d			
PSF ^y 10 ³ propagules g ⁻¹ soil							
CK2	6 a	25 c	14 a	30 b	22 a	27 b	22 b
11. <i>Penicillium</i> sp.	5 a	80 a	15 a	40 b	33 a	46 a	66 a
12. <i>Aspergillus</i> sp.	8 a	35 b	7 b	70 a	27 a	3 c	33 b

Mean values within column followed the same letter are not significantly different by DMRT at 5% probability level. (n = 4)

^z A: None added P fertilizer; B: Calcium superphosphate; C: Rock phosphate.

^y PSB: Phosphate solubilizing bacteria; PSF: Phosphate solubilizing fungi.

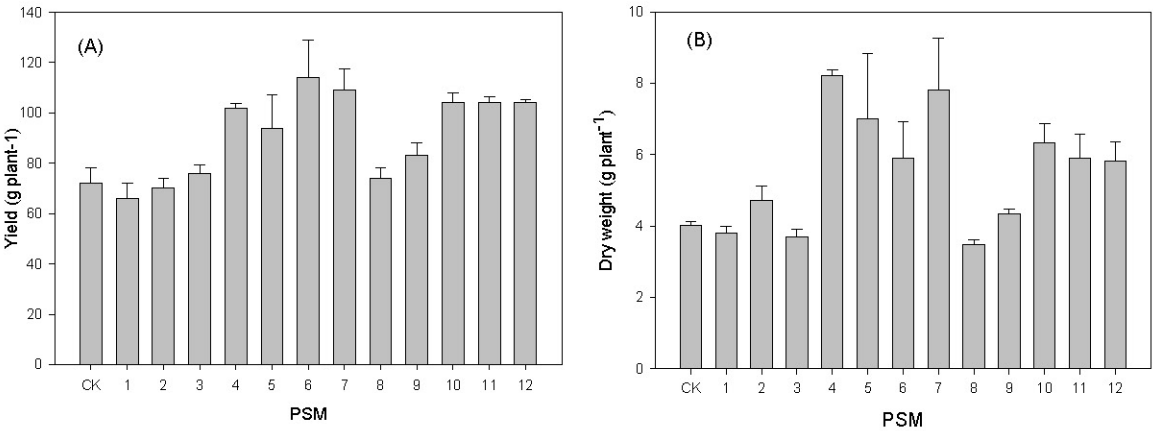


圖 1. 接種溶磷菌對小白菜產量及乾重之影響 (試驗 I)
Fig. 1. Effect of inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on the yield and the dry weight of
Pai-tsai (Trial I). (Mean ± SE, n = 3)

試驗 II 小白菜產量 (圖 2A) 在不施磷肥及施用過磷酸鈣情況下均以接種 *Klebsiella planticola* (PSM-8) 菌株 58 g plant^{-1} 及 50 g plant^{-1} 為最低, 施用磷礦石粉情況下以對照 (不接菌) 59 g plant^{-1} 為最低, 接種 *Enterobacter aerogenes* (PSM-4) 及 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 150 g plant^{-1} 及 148 g plant^{-1} 為最佳, 其餘菌株則介於 $67\text{--}124 \text{ g plant}^{-1}$, 增重 $8\text{--}65 \text{ g plant}^{-1}$ 。小白菜乾重 (圖 2B) 在不施磷肥及施用過磷酸鈣情況下亦以接種 *Klebsiella planticola* (PSM-8) 菌株 2.9 g plant^{-1} 及 $2.57 \text{ g plant}^{-1}$ 為最低, 施用磷礦石粉情況下以對照 (不接菌) $3.37 \text{ g plant}^{-1}$ 為最低, 接種 *Enterobacter aerogenes* (PSM-4) 及 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 $8.31 \text{ g plant}^{-1}$ 及 $7.81 \text{ g plant}^{-1}$ 則為最佳, 其餘菌株則介於 $3.62\text{--}6.9 \text{ g plant}^{-1}$, 較對照 (不接菌) 增重 $0.25\text{--}3.53 \text{ g plant}^{-1}$ 。

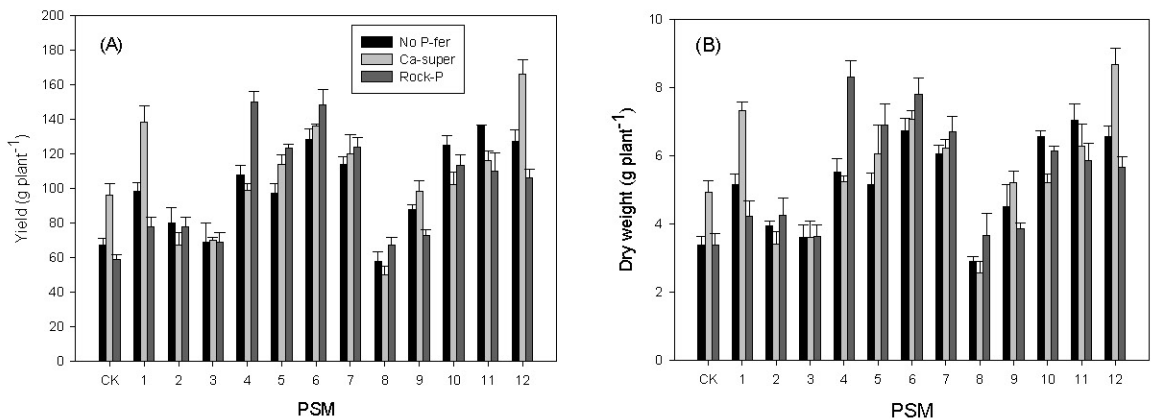


圖 2. 施用不同磷肥種類及接種溶磷菌對小白菜產量及乾重之影響 (試驗 II)

Fig. 2. Effect of applying different kind of phosphate fertilizer and inoculating phosphate-solubilizing microorganism on the yield and the dry weight of Pai-tsai (Trial II). (Mean $\pm$ SE, n = 3)

根據試驗 I 及 II 結果, 選取 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6)、*Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7)、*Penicillium* sp. (PSM-11) 及 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 為試驗 III 的供試菌株。小白菜產量 (圖 3A) 在不施磷肥及施用過磷酸鈣情況下均以接種 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 菌株 117 g plant^{-1} 及 126 g plant^{-1} 為最佳, 接種其餘三種菌株在施用過磷酸鈣情況下則較對照 (不接菌) 125 g plant^{-1} 為差, 但處理間未達 5% 顯著差異, 顯示在施用過磷酸鈣的情況下, 接種溶磷菌株未顯現其功效。施用磷礦石粉情況下以接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 138 g plant^{-1} 為最佳, 較對照 (不接菌) 103 g plant^{-1} 增重 35 g plant^{-1} , 且處理間達 5% 顯著差異, 接種其餘 2 株真菌的 123 g plant^{-1} 及 118 g plant^{-1} , 分別較對照 (不接菌) 增重 20 g plant^{-1} 及 15 g plant^{-1} , 但處理間未達 5% 顯著差異。小白菜乾重 (圖 3B) 在不施磷肥情況下接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 $4.48 \text{ g plant}^{-1}$, 較對照 (不接菌) $4.64 \text{ g plant}^{-1}$ 為低, 接種其餘三種菌株處理者則介於 $5.02\text{--}5.85 \text{ g plant}^{-1}$ 增重 $0.38\text{--}1.21 \text{ g plant}^{-1}$ 。施用過磷酸鈣情況下以 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 菌株 $6.31 \text{ g plant}^{-1}$ 為最高, 而以對照 (不接菌) $5.57 \text{ g plant}^{-1}$ 最低, 其餘菌株介於 $5.62\text{--}6.05 \text{ g plant}^{-1}$ 增重 $0.05\text{--}0.48 \text{ g plant}^{-1}$ 。施用磷礦石粉情況下接種 *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 菌株 $5.01 \text{ g plant}^{-1}$ 較對照 (不接菌) $5.18 \text{ g plant}^{-1}$ 為低, 接種其餘三種菌株介於 $5.99\text{--}6.85 \text{ g plant}^{-1}$ 較對照 (不接菌) 增加 $0.81\text{--}1.67 \text{ g plant}^{-1}$ 。

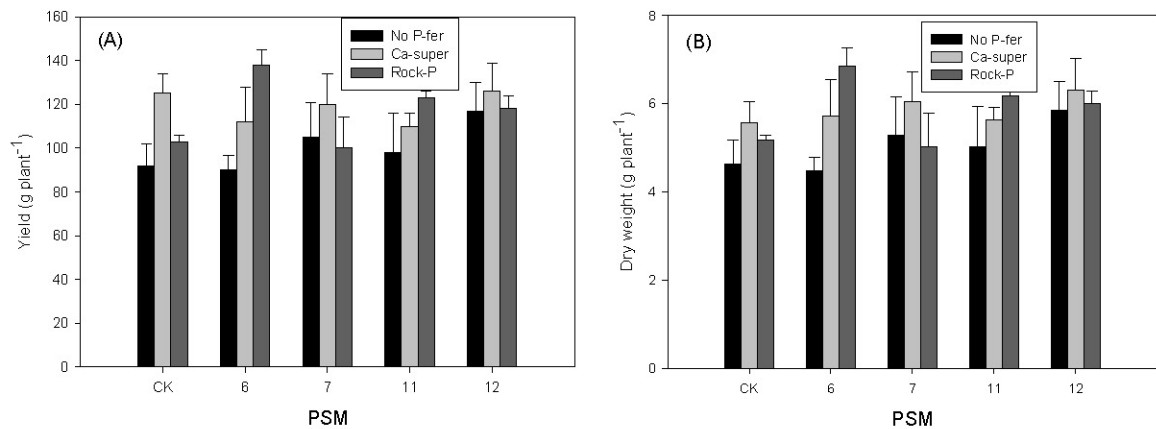


圖 3. 施用不同磷肥種類及接種溶磷菌對小白菜產量及乾重之影響（試驗Ⅲ）

Fig. 3. Effect of applying different kind of phosphate fertilizer and inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on the yield and the dry weight of Pai-tsai (Trial III). (Mean $\pm$ SE, n = 3)

綜合試驗 I—III 結果顯示，對小白菜產量而言（圖 4A），接種的 12 株菌株中有 7 株較對照（不接菌）為重，其中以 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 菌株 121 g plant⁻¹ 為最佳，較對照（不接菌）94 g plant⁻¹ 增重 27 g plant⁻¹ (28.7%)，其次為 *Enterobacter aerogenes* (PSM-4) 及 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 120 g plant⁻¹ 及 119 g plant⁻¹，分別較對照（不接菌）增重 26 g plant⁻¹ (27.7%) 及 25 g plant⁻¹ (26.5%)，且達 5% 差異顯著，但接種 *Pseudomonas vietnamiensis* (a) (PSM-1)、*Pseudomonas vietnamiensis* (b) (PSM-2)、*Pseudomonas multivorans* (PSM-3)、*Klebsiella planticola* (PSM-8) 及 *Pseudomonas pyrocinia* (PSM-9) 菌株 89 g plant⁻¹、73 g plant⁻¹、72 g plant⁻¹、64 g plant⁻¹ 及 85 g plant⁻¹，則分別較對照（不接菌）94 g plant⁻¹ 減重 5–30 g plant⁻¹ (5.4–32%)。此與 Kundu and Gaur (1984) 接種不同溶磷菌株對水稻穀重及稻草重之效益，需視菌種而定有一致結論，同時接種 *Asperillus chroococcum*、*Asperillus awamorii* 及 *Pseudomonas striata* 較對照（不接菌）稻穀增重 17 g pot⁻¹ (40%)，稻草增重 22 g pot⁻¹ (37%)，且較接種一種或二種菌株處理稻穀增重 5–14 g pot⁻¹ (9–31%)，稻草增重 2–19 g pot⁻¹ (3–30%)。Thakuria et al. (2004) 水稻接種溶磷菌株以 *Azospirillum* sp. 菌株為最佳，較對照（不接菌）處理增產 117–229 g m⁻² (32.8–64.1%)，而接種 *Bacillus* sp. 菌株則增產 40–160 g m⁻² (5.4–21.6%)，其餘接種 *Pseudomonas* sp. 及 *Streptomyces* sp. 菌株則增產 150–500 g m⁻² (23.1–76.9%)。Angel et al. (2006) 埃及豆同時接種溶磷菌 (*Pseudomonas jessenii*) 及固氮菌 (*Mesorhizobium ciceri*)，分別較對照（不接菌）增產 8–52%，乾重則增加 7–14%。接種溶磷菌株於不同磷肥處理，以施用過磷酸鈣及磷礦石粉的 112 g plant⁻¹ 及 102 g plant⁻¹，分別較不施磷肥處理的 100 g plant⁻¹ 增重 12 g plant⁻¹ (12%) 及 2 g plant⁻¹ (2%)。此與 Kundu and Gaur (1984) 水稻接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣處理，其稻穀及稻草產量分別較施用磷礦石粉處理增重 1–8 g plant⁻¹ (1.7–16%) 及 2–9 g plant⁻¹ (2.6–14.3%) 有一致結論。Alagawadi and Gaur (1988) 埃及豆接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣其產量 3.1 g plant⁻¹ 較施用磷礦石粉的 1.8 g plant⁻¹ 增產 1.3 g plant⁻¹ (72.3%) 亦有一致結論。

對小白菜乾重（圖 4B）而言，接種 12 株菌株中有 7 株較對照（不接菌）4.92 g plant⁻¹ 為重，其中接種 *Enterobacter aerogenes* (PSM-4) 菌株 6.83 g plant⁻¹ 為最重，較對照（不接菌）增重 1.91 g plant⁻¹

(38.8%)，且處理間達 5% 顯著差異，接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6)、*Penicillium* sp. (PSM-11) 及 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 菌株 $6.04 \text{ g plant}^{-1}$ 、 $5.82 \text{ g plant}^{-1}$ 及 $6.21 \text{ g plant}^{-1}$ 分別較對照（不接菌）增重 $1.12 \text{ g plant}^{-1}$ (22.8%)、 0.9 g plant^{-1} (18.2%) 及 $1.29 \text{ g plant}^{-1}$ (26.2%)，但接種 *Pseudomonas vietnamiensis* (a) (PSM-1)、*Pseudomonas vietnamiensis* (b) (PSM-2)、*Pseudomonas multivorans* (PSM-3)

、*Klebsiella planticola* (PSM-8) 及 *Pseudomonas pyrocinia* (PSM-9) 乾重分別為 $4.86 \text{ g plant}^{-1}$ 、 $4.21 \text{ g plant}^{-1}$ 、 $3.64 \text{ g plant}^{-1}$ 、 $3.21 \text{ g plant}^{-1}$ 及 $4.45 \text{ g plant}^{-1}$ ，則較對照（不接菌）減重 $0.06\text{--}1.71 \text{ g plant}^{-1}$ (1.3–34.8%)。不同磷肥處理以施用過磷酸鈣 5.8 g plant^{-1} 為最佳，其次為施用磷礦石粉 $5.65 \text{ g plant}^{-1}$ ，較對照不施磷肥處理 5.1 g plant^{-1} ，分別增重 0.7 g plant^{-1} (13.7%) 及 $0.55 \text{ g plant}^{-1}$ (10.8%)，但處理間未達 5% 顯著差異，主要原因為過磷酸鈣係速效性磷肥，不需溶磷菌株的溶解，作物可直接吸收與利用，但磷礦石粉為難溶性磷肥，需經溶磷菌株的溶解方可為植物所吸收，故其肥效較差及較慢。此與 Alagawadi and Gaur (1988) 埃及豆接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣其植株乾重 $1.71 \text{ g plant}^{-1}$ 較施用磷礦石粉的 1.29 g 增重 0.42 g (32.6%) 有一致結論。

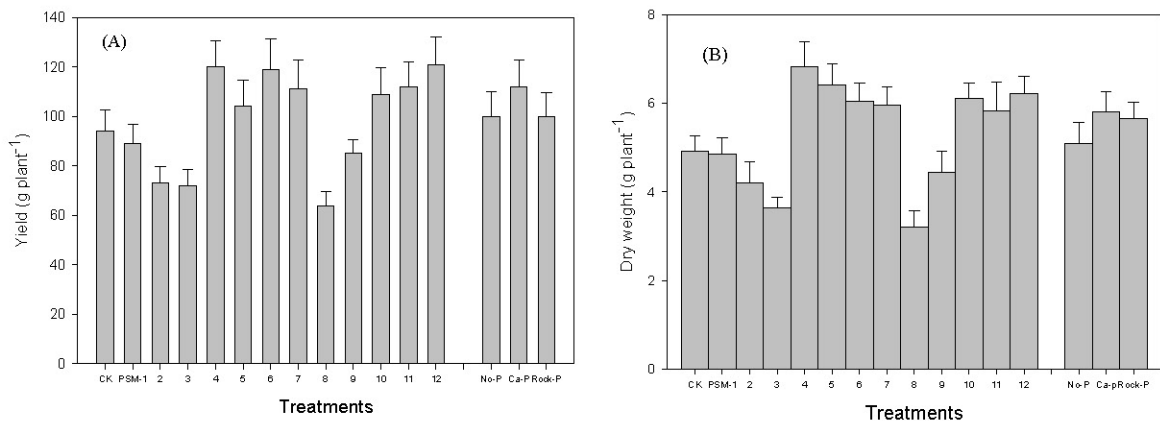


圖 4. 施用不同磷肥種類及接種溶磷菌對小白菜產量及乾重之影響（試驗 I – III）

Fig. 4. Effect of applying different kind of phosphate fertilizer and inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on the yield and the dry weight of Pai-tsai (Trial I – III). (Mean $\pm$ SE, n = 3)

三、接種溶磷菌對小白菜氮、磷吸收量之影響

試驗 I 小白菜氮吸收量（圖 5A）接種 *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 菌株 $303 \text{ mg plant}^{-1}$ 為最高，接種 *Pseudomonas vietnamiensis* (a) (PSM-1) 及 *Klebsiella planticola* (PSM-8) 菌株 $119 \text{ mg plant}^{-1}$ 及 $110 \text{ mg plant}^{-1}$ 則較對照（不接菌） $120 \text{ mg plant}^{-1}$ 為低，其餘菌株介於 $122\text{--}279 \text{ mg plant}^{-1}$ 較對照（不接菌）增加吸收 $2\text{--}159 \text{ mg plant}^{-1}$ 。小白菜磷吸收量（圖 5B）亦以接種 *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 菌株 $43.3 \text{ mg plant}^{-1}$ 為最高，接種 *Pseudomonas vietnamiensis* (a) (PSM-1)、*Klebsiella planticola* (PSM-8) 及 *Pseudomonas multivorans* (PSM-9) 菌株分別為 $13.1 \text{ mg plant}^{-1}$ 、 $15.9 \text{ mg plant}^{-1}$ 及 $18.2 \text{ mg plant}^{-1}$ 較對照（不接菌） $18.8 \text{ mg plant}^{-1}$ 減少吸收 $0.6\text{--}5.7 \text{ mg plant}^{-1}$ ，其餘菌株介於 $19.3\text{--}30.4 \text{ mg plant}^{-1}$ 較對照（不接菌）增加吸收 $0.5\text{--}11.6 \text{ mg plant}^{-1}$ 。

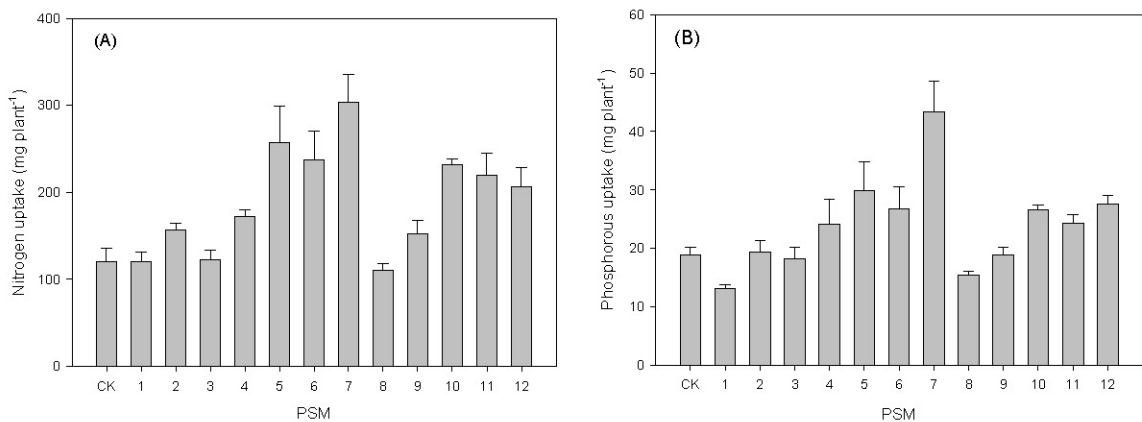


圖 5. 接種溶磷菌對小白菜氮及磷吸收量之影響（試驗 I）

Fig. 5. Effect of inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on nitrogen and phosphorous uptake of Pai-tsai (Trial I). (Mean $\pm$ SE, n = 3)

試驗 II 小白菜在不施磷肥及施用過磷酸鈣情況下（圖 6A）接種 *Klebsiella planticola* (PSM-8) 菌株氮吸收量分別為 124 mg plant⁻¹ 及 110 mg plant⁻¹ 為最低，其餘菌株在不施磷肥情況下介於 155–290 mg plant⁻¹，施用過磷酸鈣情況下則介於 148–372 mg plant⁻¹，且大多較對照（不接菌）139 mg plant⁻¹ 及 157 mg plant⁻¹ 為高，施用磷礦石粉不接菌情況下氮吸收量 117 mg plant⁻¹ 為最低，其餘菌株處理則介於 145–365 mg plant⁻¹，增加吸收 28–148 mg plant⁻¹。小白菜磷吸收量（圖 6B）在不施磷肥及施用過磷酸鈣情況下處理間差異頗大，但施用磷礦石粉情況下以對照（不接菌）11.5 mg plant⁻¹ 最低，接種溶磷細菌 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 及 *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 最高，接種真菌 *Penicillium* sp. (PSM-11) 及 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 亦較對照（不接菌）為高。

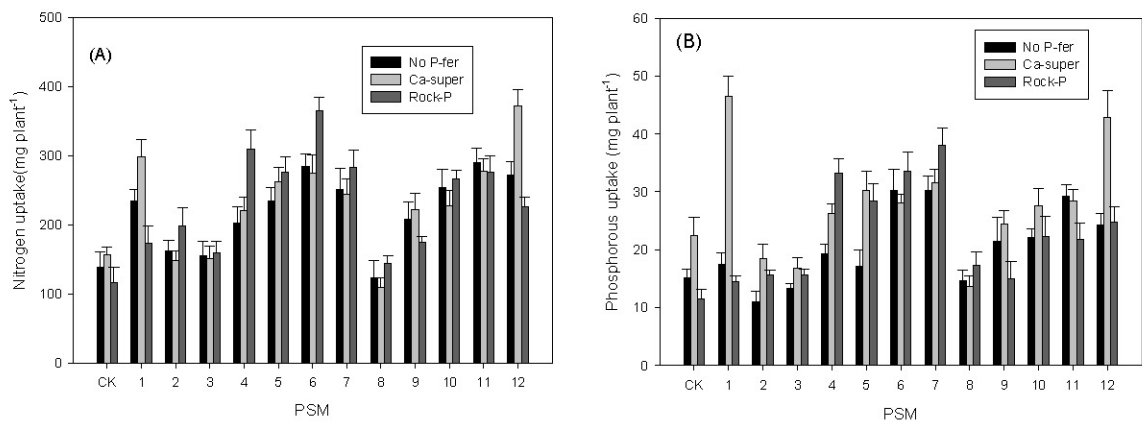


圖 6. 施用不同磷肥種類及接種溶磷菌對小白菜氮及磷吸收量之影響（試驗 II）

Fig. 6. Effect of applying different kind of phosphate fertilizer and inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on nitrogen and phosphorous uptake of Pai-tsai (Trial II). (Mean $\pm$ SE, n = 3)

根據試驗 I 及 II 結果,選取小白菜氮、磷吸收量較佳的 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) · *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 及 *Penicillium* sp. (PSM-11) 、*Aspergillus* sp. (PSM-12) 等 4 株為試驗 III 供試菌株。小白菜氮吸收量(圖 7A)在不施磷肥情況下以接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 288 mg plant⁻¹ 為最低, 接種其餘三種菌株處理介於 334–378 mg plant⁻¹, 較對照(不接菌) 298 mg plant⁻¹ 增加吸收量 36–80 mg plant⁻¹, 施用過磷酸鈣情況下以對照(不接菌) 354 mg plant⁻¹ 為最低, 接種其餘菌株則介於 357–398 mg plant⁻¹ 增加 3–44 mg plant⁻¹, 施用磷礦石粉情況下以對照(不接菌) 328 mg plant⁻¹ 為最低, 接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 451 mg plant⁻¹ 為最高, 且處理間達 5% 顯著差異, 接種其餘三菌株處理則介於 340–395 mg plant⁻¹ 較對照(不接菌) 增加 12–67 mg plant⁻¹。小白菜磷吸收量(圖 7B) 在不施磷肥情況下以接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 菌株 18.4 mg plant⁻¹ 為最低, 施用過磷酸鈣情況下以 *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 菌株 31.8 mg plant⁻¹ 為最高, 其餘菌株效應並未顯現, 施用磷礦石粉以對照(不接菌) 24.9 mg plant⁻¹ 為最低, 其餘接菌處理介於 25–29.7 mg plant⁻¹ 較對照(不接菌) 增加 0.1–4.8 mg plant⁻¹。

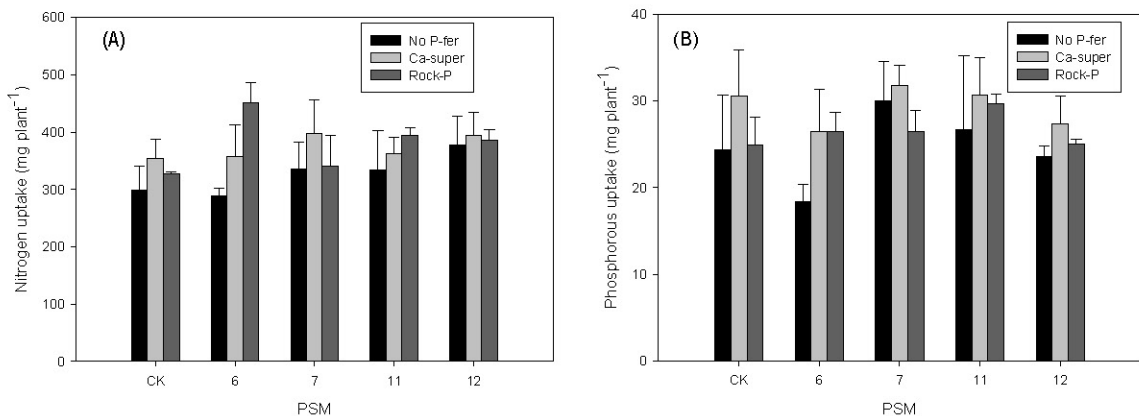


圖 7. 施用不同磷肥種類及接種溶磷菌對小白菜氮及磷吸收量之影響 (試驗 III)

Fig. 7. Effect of applying different kind of phosphate fertilizer and inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on nitrogen and phosphorous uptake of Pai-tsai (Trial III). (Mean ± SE, n = 3)

綜合試驗 I – III 結果顯示, 對小白菜氮吸收量(圖 8A)而言, 接種 12 株溶磷菌株有 5 株較對照(不接菌) 267 mg plant⁻¹ 為佳, 其中以 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 、*Aspergillus* sp. (PSM-12) 菌株 333 mg plant⁻¹ 及 338 mg plant⁻¹ 為最佳, 較對照(不接菌) 267 mg plant⁻¹, 分別增加吸收 66 mg plant⁻¹ (24.7%) 及 71 mg plant⁻¹ (26.6%), 且達 5% 顯著差異。另接種 *Enterobacter aerogenes* (PSM-4) 、*Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 及 *Penicillium* sp. (PSM-11) 菌株 295 mg plant⁻¹ 、329 mg plant⁻¹ 及 323 mg plant⁻¹, 則分別較對照(不接菌) 增重 28 mg plant⁻¹ (10.5%) 、62 mg plant⁻¹ (23.2%) 及 56 mg plant⁻¹ (21%), 亦達 5% 顯著差異, 其餘菌株介於 118–257 mg plant⁻¹ 較對照(不接菌) 267 mg plant⁻¹ 減少 10–149 mg plant⁻¹ (3.8–55.8%)。此與 Kundu and Gaur (1984) 接種不同溶磷菌株對水稻生育之效益, 需視菌種而定有一致結論, 接菌處理較對照(不接菌) 稻穀氮吸收量增加 100–370 mg plant⁻¹ (13–51%) 及磷吸收量增加 24–153 mg plant⁻¹ (9–59%), 稻草氮吸收量增加 4–136 mg plant⁻¹ (1–34%)。

及磷吸收量增加 8–49 mg (6–38%)。Cattelan et al. (1999) 大豆接種 7 株溶磷菌株，其中有 5 株氮含量較對照(不接菌)增加 0.4–2.9 g kg⁻¹ (2.3–16.5%)，磷含量則有 4 株菌株增加 0.05–0.3 g kg⁻¹ (4–24%)。Angel et al. (2006) 埃及豆同時接種溶磷菌 (*Pseudomonas jessenii*) 及固氮菌 (*Mesorhizobium ciceri*)，分別較對照不接菌處理，植株及種子氮含量分別增加 5–24% 及 1–3%，磷含量則增加 0–10% 及 6–16%。接種溶磷菌株於不同磷肥處理，以施用過磷酸鈣 311 mg plant⁻¹ 為最佳，其次依序為不施磷肥及施用磷礦石粉 273 mg plant⁻¹ 及 256 mg plant⁻¹。此與 Kundu and Gaur (1984) 水稻接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣處理，其稻穀及稻草氮吸收量分別較施用磷礦石粉處理每植株增加 10–90 mg (1.0–12.3%) 及 2–103 mg (0.4–25.8%) 有一致結論。Alagawadi and Gaur (1988) 埃及豆接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣，其植株氮吸收量 149.6 mg plant⁻¹ 較施用磷礦石粉的 90 mg plant⁻¹ 增加 59.6mg (66.2%) 亦有一致結論。

對小白菜磷吸收量(圖 8B)而言，接種 12 株溶磷菌株有 7 株較對照(不接菌) 24.5 mg plant⁻¹ 為佳，其中以接種 *Burkholderia cepacia* (b) (PSM-7) 及 *Enterobacter aerog plantenes* (PSM-4) 菌株 32.3 mg plant⁻¹ 及 30.2 mg plant⁻¹ 為最佳，分別較對照(不接菌)增加吸收 7.8 mg plant⁻¹ (31.8%) 及 5.7 mg plant⁻¹ (23.3%)，接種 *Pseudomonas spinosa* (PSM-6) 及 *Aspergillus* sp. (PSM-12) 菌株 25.5 mg plant⁻¹ 及 26.7 mg plant⁻¹，分別增加吸收 1.0 mg plant⁻¹ (4.1%) 及 2.2 mg plant⁻¹ (8.9%)，其餘接種菌株介於 15.5–21.2 mg plant⁻¹，較對照(不接菌) 24.5 mg plant⁻¹，減少 3.3–9.0 mg plant⁻¹ (13.5–36.7%)。不同磷肥處理以施用過磷酸鈣及磷礦石粉 29.2 mg plant⁻¹ 及 24.6 mg plant⁻¹，較不施用磷肥 22.5 mg plant⁻¹ 分別增加吸收 6.7 mg plant⁻¹ (29.8%) 及 2.1 mg plant⁻¹ (9.3%)，顯示施用過磷酸鈣對小白菜磷吸收較施用磷礦石粉為佳，主要原因與前述過磷酸鈣屬速效性磷肥，而磷礦石粉為難溶性磷肥有關。此與 Kundu and Gaur (1984) 水稻接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣處理，其稻穀磷吸收量較施用磷礦石粉增加 16–143 mg plant⁻¹ (4.0–50.2%)。Alagawadi and Gaur (1988) 埃及豆接種溶磷菌株並施用過磷酸鈣，植株磷吸收量 15.6 mg plant⁻¹ 較施用磷礦石粉 9.2 mg plant⁻¹ 增加 6.4 mg plant⁻¹ (69.6%) 有一致結論。

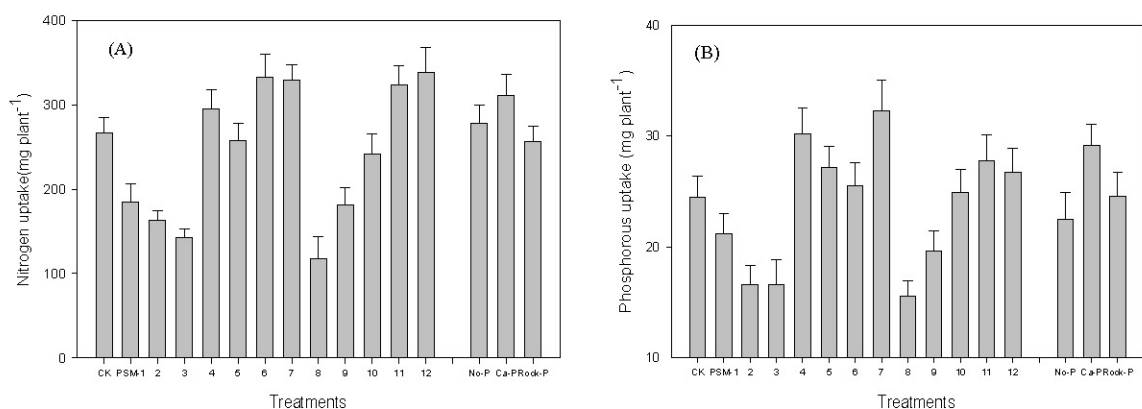


圖 8. 施用不同磷肥種類及接種溶磷菌對小白菜氮及磷吸收量之影響 (試驗 I–III)

Fig. 8. Effect of applying different kind of phosphate fertilizer and inoculating phosphate-solubilizing microorganisms on nitrogen and phosphorous uptake of Pai-tsai (Trial I–III). (Mean $\pm$ SE, n = 3)

誌 謝

本研究承蒙行政院農業委員會 91AS-1.1.3-YS-Y1、92AS-1.1.3-YS-Y1、93AS-1.1.3-YS-Y1 計畫補助，試驗期間陳釗和、吳盛文先生及鍾仁惠小姐協助田間採樣及分析，並承蒙中興大學土壤環境科學系趙教授震慶、陳教授仁炫及東吳大學微生物學系趙教授維良斧正，謹此一併致謝。

參考文獻

- 江晃榮。1993。農業生物技術。華香園出版社印行。台北。p.333-338。
- 江婉祺。1994。囊叢枝內生菌根菌對矮牽牛與百合生長開花之影響。國立台灣大學園藝所碩士論文 91 pp.。
- 郁宗雄、陳家堯。1983。專業栽培蔬菜 30 種。豐年叢書。台北。p.151-153。
- 張鳳屏、楊秋忠。1992。囊叢枝菌根菌與溶磷細菌對塑膠袋茶樹扦插苗生長之影響。台灣茶業改良場研究彙報 11:79-89。
- 陳春泉。1976。桃園縣土壤調查報告。台灣省農業試驗所報告 33:112pp.。
- 陳春泉。1977。新竹、苗栗縣土壤調查報告。台灣省農業試驗所報告 34:80pp.。
- 陳春泉。1978。台北、宜蘭縣土壤調查報告。台灣省農業試驗所報告 35:263pp.。
- 劉瑞美、楊秋忠。2002。接種溶磷根瘤菌對作物生長及養分吸收之影響。土壤與環境 5:153-164。
- 賴文龍、蔡宜峰。2004。溶磷菌及磷肥施用量對茄子生長效益之研究。台中區農業改良場研究彙報 81:19-27。
- Alagawadi A. R., and A. C. Gaur. 1988. Associative effect of Rhizobium and phosphate-solubilizing bacteria on the yield and nutrient uptake of chickpea. Plant Soil 105:241-246.
- Angel V., A. Burgos, T. Fiscella, R. Rivas, E. Velazquez, C. Rodriguez-Barrueco, E. Cervantes, M. Chamber, and I. Jose-Mariano. 2006. Different effects of coinoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate-solubilizing bacteria) and *Mesorhizobium ciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under growth and field conditions. Plant and Soil. 287:43-50.
- Bajpai, P. D., and W. V. B. Sundara Rao. 1971. Phosphate solubilizing bacteria. Part III. Soil inoculation with phosphorus solubilizing bacteria. Soil Sci. Plant Nutr. 17:46-53.
- Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley and Sons, New York. 547pp.
- Cattelan, A. J., P. G. Hartel, and J. J. Fuhrmann. 1999. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1670-1680.
- Hamzes, M., M. Nimah, and M. Zaabout. 1984. Effectiveness of six digestion procedures to evaluate the status of major elements (Ca, K, Mg, and Na) in citrus leaves. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 15:1135-1145.
- Hattori, H. 1988. Microbial activities in soil amended with sewage sludge. Soil Sci. Plant Nutr. 34:221-232.
- Kucey, R. M. N. 1988. Effect on *Penicillium balaji* on the solubility and uptake of P and micronutrient from

- soil by wheat. Can. J. Soil Sci. 68:261–270.
- Kundu, B. S., and A. C. Gaur. 1984. Rice response to inoculation with N₂-fixing and P-solubilizing microorganisms. Plant and Soil 79:227–234.
- Mujeebur, R. K., and M. K. Shahana. 2002. Effect of root-dip treatment with certain phosphate solubilizing microorganisms on the fusarial wilt of tomato. Biores. Techol. 85:213–215.
- Murphy, J., and J. D. Rieley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27:31–36.
- Page, A. K., R. H. Miller, and D. R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis, Part 2.
- Saber, M. S. M., M. Yousry, and M. O. Kabesh. 1977. Effect of manganese application on the activity of phosphate-dissolving bacteria in a calcareous soil cultivated with pea plants. Plant Soil 47:335–339.
- Sharam, S. N., S. B. Ray, S. L. Pandey, and R. Prasad. 1983. Effect of irrigation, pyrites and phosphobacteria on the efficiency of rock phosphate applied to lentils. Soil Sci. Camb. 101:467–472.
- Souchie, E. L., O. J. Saggin-Junior, E. M. R. Silva, E. F. C. Campello, R. Azcon, and J. M. Barea. 2006. Communities of P-Solubilizing bacteria, Fungi and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in grass pasture and secondary forest of Paraty, RJ-Brazil. An Acad Bras Cienc. 78(1):183–193.
- Subba Rao, N. S. 1982. Biofertilizers in Agriculture. Sunil Printers, New Delhi, India.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. p.189–248. Macmillan Pub. New York.
- Wollum II, A. G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms. p.781–802. In A. L. Page et al. (ed.), Methods in Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA, Madison, WI, USA.
- Zaidi, A. and M. S. Khan. 2006. Co-inoculation Effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Glomus fasciculatum* on green Gram-*Bradyrhizobium* symbiosis. Turk. J. Agric. 30:223–230.

Effect of Soil Inoculation of Phosphate-Solubilizing Microorganisms on the Growth and Nitrogen and Phosphorus Uptake of Pai-tsai

Chun-Chao Chuang

Summary

The pot experiment was conducted in the station to determine the effect of 4 phosphate-solubilizing microorganisms, *Pseudomonas spinosa*, *Burkholderia cepacia* (b), *Penicillium* sp. and *Aspergillus* sp. which isolated from rhizosphere and selected from 12 isolates, on the growth and nitrogen and phosphorus uptake of Pai-tsai by means of soil inoculation method. The results of the experiment showed that among the 4 phosphate-solubilizing microorganisms, *Pseudomonas spinosa* and *Aspergillus* sp. could result in increasing yield of Pai-tsai with 25 g plant⁻¹ (26.5%) and 27 g plant⁻¹ (28.7%), respectively, and increasing dry weight with 1.12 g plant⁻¹ (22.8%) and 1.29 g plant⁻¹ (26.2%), respectively, while the uptake of nitrogen was increased with 66 mg plant⁻¹ (24.7%) and 71 mg plant⁻¹ (26.6%), respectively, and the uptake of phosphorus was increased with 1.0 mg plant⁻¹ (4.1%) and 2.2 mg plant⁻¹ (8.9%), respectively.

Key words: phosphate-solubilizing microorganism, Pai-tsai, nutrient uptake, rock phosphate.