

溶磷菌在不同磷含量土壤中對小米生長之效應

黃文益^{1,*}、張繼中²

摘要

為測試溶磷菌肥(功)效在田間的應用，本場選擇臺東地區代表性作物小米，進行溶磷菌在不同磷含量的土壤對小米生長的效應，結果顯示以處理一(溶磷菌有機肥)的產量在低及中磷試區與對照有顯著差異，如單純施用液態溶磷菌則在各區均無顯著差異，綜合施肥法以液態溶磷菌為基礎，深入根系施用，與對照有差異，惟可能缺乏能長久維持溶磷菌生存的有機質及養分，因此效益不顯著；綜上試驗顯示參與本試驗之市售二款溶磷菌在小米生長的效應方面高磷區因不缺肥，溶磷菌較無法發揮效益，在中低磷區，因各項養分均不高，因此溶磷菌有機肥得以發揮效用。

關鍵字：溶磷菌、小米、土壤肥力、臺東地區。

前言

為測試國內目前微生物肥料在田間應用功效，農試所於 106 年提出「生物性肥料肥(功)效評估及驗證」計畫，以確保微生物肥料商品品質，保障農民權益，各改良試驗場所除協同試驗外，亦將試驗微生物肥料、化學肥料與有機質肥料等整合性施肥技術，以提供農民施肥參考。溶磷菌為目前登記數量最多之微生物肥料商品，故先測試溶磷菌之肥(功)效，又土壤肥力會影響作物的生長表現，因此於第一年試驗場所分別選擇土壤有效磷含量低、中及高三等級的土壤。小米為臺東地區栽培歷史悠久之特色作物，佔全國總產量 5 成，又因小米多種植於部

* 通訊作者：hwi@mail.ttdares.gov.tw

¹ 農委會臺東區農業改良場助理研究員。台灣。台東市。

² 農委會臺東區農業改良場副研究員。台灣。台東市。

落畸零地，原住民農友多採粗放栽培產量不高，如能整合有機質肥料、微生物肥料及化學肥料之施用，而提供農友綜合性施肥法，將有助於提升小米產量及品質。

材料與方法

一、試驗地點基本資料

	試區面積	有效性磷 (mg / kg)	作物種類	地點
低磷區	30 m × 30 m (小區 30 m ²)	29.2	小米	臺東縣金峰鄉
中磷區	30 m × 30 m (小區 30 m ²)	46.3	小米	臺東縣金峰鄉
高磷區	30 m × 24 m (小區 30 m ²)	174.6	小米	臺東縣金峰鄉
整合性施肥法 (中磷區)	25 m × 24 m (小區 30 m ²)	46.3	小米	臺東縣金峰鄉

二、溶磷菌肥料種類

1. 菌劑一：溶磷菌商品 1 號，原料：溶磷菌 (*Bacillus licheniformis*，地衣芽孢桿菌)、黃豆粉、花生粕、菜籽粕、芝麻粕、米糠、海草粉；全氮：5.7 %、全磷酐：2.0 %、全氧化鉀：2.0 % (粒狀)
2. 菌劑二：溶磷菌商品 2 號，原料：溶磷菌 (*Bacillus licheniformis*) (台灣物種編號 110246)、NB 培養基、酵母粉、糖蜜、水、竹醋液。(液狀)
3. 菌劑一基質：經滅菌釜高壓滅菌 (121°C，20 min，放冷，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：經滅菌釜高壓滅菌 (121°C，20 min，放冷，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

(一) 高、中及低磷試驗

1. 處理一 (A)：菌劑 1+施肥 (高磷不施/中磷 0.5 推薦量/低磷 0.75 推薦量)
2. 處理二 (B)：菌劑 2+施肥 (高磷不施/中磷 0.5 推薦量/低磷 0.75 推薦量)
3. 處理三 (C)：菌劑 1 基質+施肥 (高磷不施/中磷 0.5 推薦量/低磷 0.75 推薦量)

4. 處理四 (D)：菌劑 2 基質+施肥 (高磷不施/中磷 0.5 推薦量/低磷 0.75 推薦量)
5. 處理五 (E)：施肥 (高磷不施/中磷 0.5 推薦量/低磷 0.75 推薦量)
6. 處理六 (F)：不施肥

(二) 整合性施肥試驗 (於中磷地一併進行試驗)

包括肥料種類、施用時間、施用量與施用位置等，由於肥料種類為溶磷菌，施用量依據標示用量稀釋，因此在本試驗針對不同施用時間及施用位置作為處理，以 RCBD (逢機完全區集設計) 設置溶磷菌施肥試驗區。試驗植株每棵以溶磷菌於生長初期及中期分次澆灌，每株 200 mL。

- 處理一：菌劑 (種植後 15 d、30 d)、表層澆灌
- 處理二：菌劑 (種植後 30 d、45 d)、表層澆灌
- 處理三：菌劑 (種植後 15 d、30 d)、土下 5 cm 灌施
- 處理四：菌劑 (種植後 30 d、45 d)、土下 5 cm 灌施
- 處理五：不施菌劑。

RCBD，各 4 重複

四、化學肥料及溶磷菌肥料施用量與施用方式

1. 依據作物施肥手冊 (中華肥料協會 2005) 做為施肥之推薦用量，肥料種類為硫酸銨、過磷酸鈣及氯化鉀，依各試區之面積換算，施用量如下表：

	試區面積	硫酸銨 (Kg)	氯化鉀 (Kg)	過磷酸鈣 (Kg)
低磷區 (處理 1~5)	900 m ²	42.9	11.3	28.1
低磷區 (處理 6)	900 m ²	42.9	11.3	0
中磷區 (處理 1~5)	900 m ²	42.9	11.3	18.8
中磷區 (處理 6)	900 m ²	42.9	11.3	0
高磷區 (處理 1~5)	720 m ²	34.3	9.0	0

2. 溶磷菌肥料之施用量如下：

- (1) 菌劑 1：原液稀釋 400 倍，澆灌於小米幼苗兩側，距離幼苗 3-8 cm 處，施用量為溶磷菌稀釋液 20 L / 小區。

- (2) 菌劑 2：根據產品推薦用量每分地 20 kg 換算每試區之施用量，施用量為 600 g / 小區，均勻施用於小米兩側，距離幼苗 5-10 cm 處。

五、分析方法

(一) 土壤性質分析

1. 酸鹼度：玻璃電極法測定，水土比為 1:1。
2. 導電度：以導電度計測定，水土比為 1:5。
3. 有機質含量：以元素分析儀測定。
4. 磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅：以孟立克 3 號萃取法萃取，以 ICP 測定之。

結果與討論

一、產量及生長勢調查

在低土壤有效性磷含量試區 (表 1) 及中土壤有效性磷含量試區 (表 2)，處理一的乾重產量均顯著高於對照處理六，處理一為市售溶磷菌有機肥，含全氮：5.7%、全磷酐：2.0%、全氧化鉀：2.0%及大量的有機質，能提供作物充足的養分，再加上內含溶磷菌二者相輔相成而使產量大幅提升；處理三為處理一的菌劑 1 經 3 次高溫高壓滅菌後剩餘的養分基質，在乾重產量上為第二高，僅次於處理一，雖統計上未達顯著但亦有提升產量的功效，其促進產量的原因應該為提供小米氮磷鉀養分；處理二為市售菌劑 2，為液態溶磷菌肥，由表 1 可得知其乾重產量為第三高，惟與對照亦無顯著差異，而處理四為菌液 2 滅菌後的基質，其產量反而是所有產量中最低的，但與對照無顯著差異，其株高及穗長亦是最低，處理四基質為 NB 培養基、酵母粉、糖蜜、水、竹醋液等對作物生長應無抑制的效果，應該為田間環境的影響。由表 1 及表 2 的各個處理可知提高小米產量成效最高的為溶磷菌有機肥，其次為滅菌的溶磷菌有機肥，再次為液態溶磷菌。在土壤有效性磷高含量處理區其產量則與對照均無顯著差異，由於高磷區土壤各養分均充足，因此各式溶磷菌肥均無法有效發揮功效。

表 1. 土壤有效性磷低含量處理區產量及生長勢

低磷	鮮重 -----kg / ha-----	乾重	穗長 -----cm-----	株高
處理一	880.6a	690.9a	7.3a	38.7a
處理二	607.9ab	445.5ab	5.7ab	30.2bc
處理三	767.0ab	536.6ab	6.2ab	37.4ab
處理四	466.0b	341.1b	5.0b	29.4c
處理五	544.0ab	389.3b	5.0b	29.6c
處理六	510.9ab	375.1b	5.4ab	30.0bc

表 2. 土壤有效性磷中含量處理區產量及生長勢

中磷	鮮重 -----kg / ha-----	乾重	穗長 -----cm-----	株高
處理一	1805.8 a	1354.3 a	21.3 a	69.2 a
處理二	1339.6 ab	1004.7 ab	21.6 a	58.8 ab
處理三	1188.8 ab	891.6 ab	21.9 a	66.1 a
處理四	1231.6 ab	923.7 ab	21.1 a	63.5 ab
處理五	1086.0 b	814.5 b	19.8 a	53.7 b
處理六	1059.0 b	794.3 b	17.8 a	58.2 ab

表 3. 土壤有效性磷高含量處理區產量及生長勢

高磷	鮮重 ----- kg / ha -----	乾重	穗長 ----- cm -----	株高
處理一	2420.9a	1923.9a	18.0a	105.0a
處理二	2157.1a	1521.6a	17.1a	102.9a
處理三	2605.8a	2010.2a	17.4a	111.3a
處理四	2239.1a	1948.6a	15.9a	106.6a
處理五	2417.1a	1868.5a	17.4a	111.7a

二、葉片元素含量分析

在葉片元素含量分析上，由表 4 可知在低磷區，處理一葉片氮含量顯著高於對照處理六，本試驗為檢測溶磷菌肥（功）效，而顯著差異卻在植體氮含量，可得知其提升產量的主要原因非為溶磷菌的功效，實則為基質所提供的養分在促進小米生長，植體氮含量第二高為處理三，為滅菌後的菌劑一，在植體磷含量上亦為處理一最高，惟與對照未達顯著差異。在中磷區（表 5）及高磷區（表 6），各處理與對照在各植體元素分析數值上均無顯著差異，顯示在這些區域土壤養分較充裕，植體生長所需的養分均較充足。

表 4. 土壤有效性磷低含量處理區葉片元素含量

低磷	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe	Cu
	----- % -----					----- mg/kg -----			
處理一	1.61a	0.24a	2.10ab	0.78a	1.15a	3.2a	20.0a	147.2c	3.2a
處理二	1.35b	0.19a	1.96ab	0.70ab	1.16a	1.4a	16.7ab	239.7b	2.6a
處理三	1.52ab	0.21a	1.98ab	0.58b	0.92a	2.5a	15.3b	147.1c	4.2a
處理四	1.42ab	0.20a	2.35a	0.73ab	1.13a	3.9a	18.1ab	385.1a	3.5a
處理五	1.35b	0.19a	1.90b	0.69ab	1.17a	2.6a	16.2ab	216.4bc	2.7a
處理六	1.32b	0.18a	1.93ab	0.70ab	1.17a	4.3a	14.5b	249.9b	2.4a

表 5. 土壤有效性磷中含量處理區葉片元素含量

中磷	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe	Cu
	----- % -----					----- mg/kg -----			
處理一	1.41a	0.18a	2.26a	0.55abc	0.19c	9.0a	29.3abc	86.2ab	5.3a
處理二	1.61a	0.23a	2.42a	0.62a	0.24c	6.8a	38.1a	113.0a	5.8a
處理三	1.47a	0.22a	2.03a	0.37c	0.88ab	3.8a	22.1bc	70.0b	2.6c
處理四	1.47a	0.21a	2.31a	0.59ab	0.37c	4.7a	30.2ab	85.4ab	4.8ab
處理五	1.42a	0.21a	2.06a	0.41bc	1.26a	5.6a	20.5c	75.9b	3.3bc
處理六	1.58a	0.27a	2.34a	0.68a	0.54bc	7.8a	35.8a	112.3a	5.5a

表 6. 土壤有效性磷高含量處理區葉片元素含量

高磷	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe	Cu
	----- % -----					----- mg/kg -----			
處理一	2.34a	0.28a	0.92a	1.09ab	0.31a	302.4a	24.2a	93.7bc	4.4a
處理二	2.30a	0.24a	1.09a	1.11a	0.33a	345.4a	25.7a	101.8ab	5.4a
處理三	2.56a	0.27a	0.87a	0.91ab	0.30a	320.3a	25.7a	83.8c	4.3a
處理四	2.27a	0.27a	0.91a	1.08a	0.31a	325.9a	22.9a	97.1abc	5.5a
處理五	2.47a	0.26a	1.15a	1.21b	0.36a	365.6a	27.6a	111.0a	5.7a

三、土壤養分分析

在土壤養分分析方面，由表 7 至表 9 可知各處理與對照在各土壤養分分析數值上均無顯著差異，僅可得知低磷區為鹼性土壤、中磷區為中性土壤、高磷區為酸性土壤，而目前溶磷菌的篩選，主要為使用磷酸鈣的選擇性培養基，亦即所篩選的溶磷菌在偏鹼富含磷酸鈣的環境下較能發揮其功效，這部分亦能解釋為何在本試驗中低磷區的溶磷菌肥成效較高。

表 7.土壤有效性磷低含量處理區土壤養分含量

低磷	pH	有機質 %	EC mS/cm	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
				----- mg/kg -----							
處理一	7.6a	1.4a	0.081a	65.1a	69.6a	6838.0a	217.5a	216.6a	171.3a	1.3a	3.3a
處理二	7.6a	1.2a	0.093a	128.1a	53.0a	5495.0a	132.3a	198.5a	162.3a	1.5a	2.8a
處理三	7.6a	1.2a	0.114a	51.9a	49.7a	6075.0a	139.4a	210.4a	161.0a	1.4a	2.5a
處理四	7.5a	1.3a	0.116a	47.4a	56.7a	7275.0a	231.3a	237.8a	163.0a	1.2a	2.8a
處理五	7.7a	1.3a	0.132a	46.5a	63.9a	5930.0a	147.2a	237.2a	167.2a	1.4a	2.7a
處理六	7.6a	1.2a	0.164a	41.9a	52.5a	5682.0a	133.5a	198.5a	154.4a	1.4a	2.6a

表 8.土壤有效性磷中含量處理區土壤養分含量

中磷	pH	有機質 %	EC mS/cm	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
				----- mg/kg -----							
處理一	6.0a	2.0a	0.032a	344.7a	116.5a	1189.2a	110.7a	25.8a	48.9a	0.5a	2.2a
處理二	6.2a	2.2a	0.031a	222.4a	105.7ab	1191.1a	105.7a	16.4a	47.1a	0.2a	2.2a
處理三	6.1a	2.8a	0.032a	185.7a	119.0a	1249.7a	95.8a	4.9a	41.7a	0.1a	2.1a
處理四	6.0a	2.1a	0.031a	246.1a	98.3ab	1230.4a	111.2a	16.4a	48.0a	0.2a	2.3a
處理五	5.9a	2.1a	0.031a	282.4a	93.5b	1403.5a	115.4a	22.6a	53.2a	0.3a	2.2a
處理六	6.0a	1.9a	0.030a	295.0a	106.0ab	1257.3a	109.0a	22.7a	52.4a	0.3a	2.1a

表 9.土壤有效性磷高含量處理區土壤養分含量

中磷	pH	有機質 %	EC mS/cm	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
				----- mg/kg -----							
處理一	5.2a	2.4a	0.053b	2094.6a	249.8a	1496.3a	109.6a	196.7a	59.2ab	2.7a	6.3ab
處理二	5.1a	2.4a	0.073a	1830.6ab	256.1a	1517.8a	107.2a	144.6ab	74.7a	2.9a	8.5a
處理三	5.0a	2.3a	0.055ab	1609.6ab	223.3a	1164.4a	99.3a	136.8ab	51.8b	2.0a	4.3b
處理四	4.9a	2.3a	0.063ab	1081.3ab	229.7a	945.7a	91.1a	119.3b	50.6b	2.0a	2.8b
處理五	5.0a	2.4a	0.068ab	1624.0b	237.2a	1275.1a	101.2a	142.3ab	58.8ab	2.3a	4.8ab

四、綜合施肥法

在綜合施肥法中，我們以液態溶磷菌（菌劑 1），採用不同的施用時間及不同施用法，產量結果如表 10，各處理與對照間無顯著差異，惟乾重產量最高為處理四（種植後 30 d、45 d、土下 5 cm 灌施），其次為處理三（種植後 15 d、30 d、土下 5 cm 灌施），結果顯示溶磷菌深施仍有其效益，惟因環境或其他因數未達顯著，而時間以種植後 30 d、45 d 澆灌較佳，由此亦可推論表層澆灌由於未深及作物根系較難發揮功效。

表 10. 綜合施肥法處理區產量及生長勢

綜合	鮮重	乾重	穗長	株高
	-----kg / ha-----		-----cm-----	
處理一	1178.1 a	987.3 a	21.3 a	69.2 a
處理二	1183.1 a	937.5 a	19.0 ab	71.85 a
處理三	1237.2 a	1005.9 a	20.7 a	70.15 a
處理四	1396.5 a	1122.8 a	18.8 ab	71.3 a
處理五	1289.8 a	804.5 a	16.5 b	69.6 a

表 11. 綜合施肥法處理區葉片元素含量

綜合	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe	Cu
	-----%-----					-----mg/kg-----			
處理一	1.10a	0.10a	2.09a	0.73a	0.18a	11.8a	31.6a	90.7a	3.9a
處理二	1.23a	0.11a	1.94a	0.74a	0.19a	10.6a	33.3a	88.6a	4.3a
處理三	1.04a	0.09a	2.04a	0.81a	0.19a	34.8a	33.0a	105.3a	3.9a
處理四	1.18a	0.12a	2.02a	0.76a	0.19a	22.2a	30.1a	90.0a	4.3a
處理五	1.06a	0.08a	1.91a	0.71a	0.17a	13.6a	31.0a	87.8a	3.7a

表 12. 綜合施肥法處理區土壤養分含量

綜合	pH	有機質	EC	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
		%	mS/cm	-----mg/kg-----							
處理一	6.2a	2.5a	0.032a	338.8a	113.8a	1671.1a	102.4a	11.6a	54.7a	0.2a	3.0a
處理二	6.1a	1.9a	0.037a	281.9a	98.1a	1653.1a	93.2a	12.3a	52.0a	0.2a	2.8a
處理三	6.2a	2.3a	0.046a	343.8a	107.1a	1626.0a	106.8a	12.2a	47.8a	0.3a	2.7a
處理四	6.3a	2.7a	0.032a	294.4a	104.3a	1650.7a	99.4a	8.9a	52.7a	0.3a	3.6a
處理五	6.3a	2.4a	0.105a	378.6a	112.8a	1606.0a	107.5a	10.4a	49.5a	0.3a	2.9a

結論

由本試驗結果可知在貧瘠的低磷地及鹼性土壤下，施用溶磷菌有機肥對於產量的提升有顯著的差異，而單純施用液態溶磷菌在低、中及高磷地區相較於對照亦有提升產量的趨勢，惟可能因環境因素而無顯著差異，綜合施肥法雖各處理與對照無差異，但亦可看出深層施用確實較表層澆灌的效用為佳。

引用文獻

1. 江晃榮。1993。農業生物技術。324-340。台北：國立編譯館。黃偉、黃欠如、胡鋒、吳洪生、李輝信。2006。紅壤溶磷菌的篩選及溶磷能力的比較。生態與農村環境學報 22(3)：37-40。
2. 劉曉芳、任鵬、孔健、黃曉東。2003。土壤中溶磷微生物的篩選。山東商業職業技術學院學報 3：3。
3. Damarjaya, D. I., J. Widada, K. Senoo, M. Nishiyama, and S. Otsuka. 2005. Mineral phosphate solubilizing bacteria isolated from various plant rhizosphere under different aluminum content. Indonesian Journal of Biotechnology 10(2)：814-821.
4. Hu X, J. Chen, and J. Guo. 2006. Two phosphate- and potassiumsolubilizing bacteria isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. World Journal of Microbiology & Biotechnology 22：983-990.

Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria on the Growth of Millet in Soil with Different Phosphorus Content

Wen-Yi Huang^{1,*} and Chi-Chung Chang²

Summary

In order to test the application of phosphate solubilizing fertilizer in the field, we selected the representative crop millet in Taitung area to carry out the effect of phosphate solubilizing bacteria on the growth of millet with different phosphorus content. The results showed that the yield of treatment one (phosphate solubilizing bacteria within organic manure) was significantly different between the low and medium soil phosphorus content areas with the control. The application of liquid phosphate solubilizing fertilizer was not significantly different in all areas. The comprehensive fertilization method was based on liquid phosphate solubilizing fertilizer, even if it was applied deep into the root system. There may be a lack of organic matter and nutrients that can sustain the survival of phosphate solubilizing bacteria for a long time, so there is no significant benefit in every treatment. The result showed that the two commercially phosphate solubilizing bacteria in this test have no any millet growth promotion in the high soil phosphorus content area, and in the low- and medium- soil phosphorus content area, the nutrients of soil are not high, so the phosphate solubilizing bacteria with organic manure can be effective.

Key words: Phosphate solubilizing bacteria, Millet, Soil fertility, Taitung area.

* Corresponding author, e-mail: hwi@mail.ttdares.gov.tw

¹ Assistant Researcher, Taitung District Agricultural Research and Extension Station, Taitung, Taiwan, ROC.

² Associate researcher, Taitung District Agricultural Research and Extension Station, Taitung, Taiwan, ROC.