

臺灣中部地區溶磷微生物肥料肥功效驗證

曾宥紘^{1,*}、郭雅紋²、陳鴻堂³

摘要

本試驗評估溶磷菌對青花菜及玉米生育之肥功效，其中施用半量化學磷肥用量加施溶磷菌 (*Bacillus subtilis*)，青花菜花球鮮重較施用全量化學磷肥、半量化學磷肥重，而於不施磷肥條件下單施溶磷菌，並無法發揮溶磷菌功能而提高花球鮮重。基肥施用牛糞堆肥條件下，不施磷肥搭配澆灌溶磷菌液，其花球鮮重較不施堆肥處理者可增加 116.7 g，溶磷菌於基肥施用堆肥條件下，更具施用效果。另，評估基肥施用 3 種有機質肥料分別搭配澆灌高養分含量之溶磷菌 (*Bacillus safensis*) 商品 (MH)、低養分含量之溶磷菌 (*Bacillus licheniformis*) 商品 (ML) 及不額外澆菌處理，對甜玉米生長之影響。基肥施用羽毛堆肥 (F) 其玉米穗重較基肥施用牛糞堆肥 (COW) 及菜籽粕 (Rap) 處理組佳，且彼此間達顯著差異。其中，額外施用溶磷菌皆可顯著提高玉米穗重、粒重及糖度。基肥施用牛糞堆肥處理組，玉米穗重及粒重以施用 MH 商品最重、施用 ML 商品次之，不施用溶磷菌最差；基肥施用羽毛堆肥之玉米穗重以施用 MH 商品最重，而施用 ML 商品及不施溶磷菌，彼此間無顯著差異，然而，施用 MH 及 ML 皆可較不施溶磷菌處理組，顯著提高玉米粒重；基肥施用菜籽粕處理組，施用 MH 及 ML 商品皆可提高玉米穗重，而施用 MH 商品對提高玉米粒重效果較為顯著。

關鍵詞：溶磷菌、青花菜、甜玉米。

前言

磷為作物生長所需之必要元素，然因磷肥施用至土壤後易形成磷酸鈣、磷酸鋁及磷酸鐵沉澱而降低磷之植物有效性 (Alam and Ladha 2004；Vassilev &

* 通訊作者：zengyh@tdais.gov.tw

¹ 農委會臺中區農業改良場助理研究員。台灣。彰化縣。

² 農委會臺中區農業改良場助理研究員。台灣。彰化縣。

³ 農委會臺中區農業改良場助理研究員。台灣。彰化縣。

Vassileva 2003), 若因磷之植物有效性低而大量施用磷肥, 則會導致施肥成本增加且造成環境汙染 (Reddy *et al.* 2002)。溶磷菌可經由產酸、鉗合及氧化還原等作用而溶解難溶性磷 (Chung *et al.* 2005; Gulati *et al.* 2010), 提高土壤有效性磷含量。本試驗將驗證溶磷菌商品於田間對作物生產之功效。

材料與方法

一、溶磷微生物肥料對青花菜生長效益

本試驗於彰化縣福興鄉進行施用溶磷菌 (*Bacillus subtilis*) 對青花菜生長之影響評估, 試驗區前期作物為水稻, 試驗之基肥區分成不施用有機質肥料及施用有機質肥料, 有機質肥料為市售牛糞堆肥 (N-P₂O₅-K₂O = 2.3-2.7-2), 每公頃施用 10,000 kg 用量, 依試驗面積等比例施用於畦面, 基肥各化學肥料處理亦施於畦面上, 並以無輪式中耕機耕犁入土。化學肥料及溶磷菌處理為, 1.施用全量磷肥 (P1)、2.施用半量磷肥加施溶磷菌 (P1/2-M)、3.半量磷肥 (P1/2)、4.不施磷肥, 施用溶磷菌 (P0-M) 及 5.不施磷肥 (P0)。化學肥料為 N-P₂O₅-K₂O = 210-100 (半量 50)-180, 以硫酸銨、過磷酸鈣及氯化鉀施用, 施肥分配率參照作物施肥手冊, 微生物肥料以每分地施用 1L 菌液, 依稀釋倍率澆灌於作物根系。試驗處理每小區為 20 m²。試驗於 2017 年 10 月 5 日定植青花菜幼苗 (青花 42, 購買自博華種苗), 種植株距 50 cm, 採單畦雙行種植, 種植後澆灌 500 倍稀釋之溶磷菌, 10 月 16 日第一次追施化學肥料、10 月 20 日澆灌 500 倍稀釋溶磷菌液、11 月 1 日第二次追施化學肥料、11 月 15 日第三次追施化學肥料, 於 12 月 12 日採收調查。採收時調查株高、地上部植株全株重、花球含支梗重及花球重, 並分析花球植體養分。

二、溶磷微生物肥料對甜玉米生長效益

本試驗於臺中區農業改良場進行, 試驗區前期作物為水稻, 試驗作物為甜玉米 (雪珍), 試驗分成三區, 分別為基肥施用 (1) 市售牛糞堆肥 COW (2.3-2.7-2), 每公頃施用 10,000 kg, 依試驗面積換算。(2) 本場自製羽毛堆肥 F (2.3-2.1-1.9), 每公頃施用 10,000 kg, 依試驗面積換算。(3) 市售菜籽粕 Rap (7-3-1.5), 每公頃施用 2,200 kg, 依試驗面積換算。每一主區試驗處理如下: (1) 施用高養分之溶磷菌微生物肥料 (*Bacillus safensis*) (MH) (2) 施用低養分之溶磷菌微生物肥料

(*Bacillus licheniformis*) (ML) (3) 不施肥。試驗於 2018 年 3 月 13 日施用有機質肥料於畦面上，並以無輪式中耕機耕犁入土，3 月 15 日播種，採單畦雙行，株距 30 公分，3 月 28 日澆灌溶磷菌液，400 倍稀釋液，每株 250 mL，4 月 13 日及 4 月 26 日澆灌溶磷菌，400 倍稀釋液，每株 500 mL，5 月 29 日採收調查。調查玉米穗長、穗圓周、穗重、粒重及糖度，並分析葉片養分。

結果與討論

一、溶磷微生物肥料對青花菜生長效益

試驗前土壤特性如表 1 所示，土壤偏中鹼性，磷含量低，鈣鎂含量高，施用磷肥與否將顯著影響青花菜生長。青花菜於基肥不施用有機質肥料之採收調查結果如表 2 所示，於不施用磷肥條件下，其株高、全株重及花球重皆顯著較施用全量磷肥及半量磷肥低，顯示低磷土壤含量下，磷肥對青花菜產量影響極大，且於不施磷肥條件下，施用溶磷菌並無法提高青花菜鮮重，顯示於低磷土壤含量下，單就溶磷菌之補充，無法取代磷肥角色。本試驗區，施用全量磷肥與半量磷肥，其植株鮮重並無顯著差異，然而於施用半量磷肥加施溶磷菌，可顯著提高植株含梗之花球鮮重、花球鮮重且 15-20 cm 花球比例有較高趨勢 (表 3)，顯示，半量磷肥搭配澆灌溶磷菌，對低磷試驗區之青花菜有增產效果，推測，菌株有提高植株磷肥利用率之效果。

表 1. 青花菜試驗前土壤肥力

pH (1:1)	EC (1:5)	OM %	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
-----mg/kg-----										
7.9	0.28	2.2	4	72	1816	270	10	288	9	1121

表 2. 基肥不施用堆肥之青花菜採收調查

Treatment	Whole plant weight (g)	Edible plant weight (g)	Flower ball weight (g)	Plant height (cm)
P1	1333.1b ^z	484.4b	235.0b	31.3a
P1/2-M	1455.6a	573.0a	293.4a	31.8a
P1/2	1342.5ab	502.7b	235.6b	31.1a
P0-M	1100.8c	339.4c	117.8c	25.4b
P0	1048.8c	302.7c	102.9c	24.4b

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

花球植體養分分析結果如表 4 所示，不施磷肥植體氮含量最高，施用全量磷肥植體磷含量最高，但不施磷肥搭配澆灌溶磷菌植體磷含量最低，施用全量磷肥及半量磷肥加菌有助於提高植體鉀含量，且與不施磷肥處理組達顯著差異，推測磷肥影響青花菜根系生長及鉀肥吸收，鈣鎂含量於各處理間差異較不顯著。

青花菜於基肥施用牛糞堆肥之採收調查結果如表 5 所示，青花菜全株重於各處理間無顯著差異。經減半磷肥用量或不施磷肥，其花球鮮重較施用全量磷肥有降低趨勢，但並無統計差異。施用半量磷肥加施溶磷菌，其含梗之花球鮮重及花

表 3. 不同肥料處理對青花菜不同花球直徑分佈之影響

Treatment	<5	5-10	10-15	15-20	>20	lack
	%					
P1	12.0b ^z	36.2a	37.9a	10.7ab	0.8a	2.4b
P1/2-M	6.5b	24.4a	43.5a	22.2a	0.0a	3.4b
P1/2	10.8b	31.4a	35.9a	16.1ab	3.0a	2.8b
P0-M	29.8a	32.1a	12.0b	0.0b	0.0a	26.1a
P0	29.7a	38.9a	13.7b	2.2b	0.0a	15.5ab

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 4. 各處理之花球植體養分分析

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	%				
P1	2.9b ^z	0.54a	3.9a	0.66a	0.29ab
P1/2-M	3.1b	0.50ab	3.8ab	0.65a	0.28ab
P1/2	3.0b	0.50ab	3.5bc	0.58a	0.27b
P0-M	3.9a	0.46b	3.4c	0.65a	0.29ab
P0	4.2a	0.48ab	3.3c	0.63a	0.30a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 5. 基肥施用牛糞堆肥之青花菜採收調查

Treatment	Whole plant weight	Edible plant weight	Flower ball weight	Plant height
	(g)	(g)	(g)	(cm)
CP1	1365.0a ^z	514.5ab	235.0ab	30.7a
CP1/2-M	1403.8a	586.5a	295.5a	47.9a
CP1/2	1618.1a	483.6b	192.7b	30.5a
CP0-M	1335.0a	527.6ab	234.5ab	32.2a
CP0	1365.0a	473.1b	222.8b	29.5a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

球重較施用半量磷肥顯著增加，且為各處理間最重。基肥施用堆肥條件下，各處理間之花球直徑占比並無顯著差異 (表 6)。

花球植體養分分析結果如表 7 所示，不施磷肥植體氮含量最高，不施磷肥搭配澆灌溶磷菌植體磷含量最低，施用全量磷肥，鉀含量有降低趨勢，施用半量磷肥加菌及不施磷肥處理組，其花球之鈣與鎂含量有較高趨勢。

經比較表 2 及表 5，於施用全量磷肥條件下，基肥施用牛糞堆肥，有助於提高含莖之花球鮮重，由不施堆肥 484.4 g 增加至 514.5 g；不施磷肥搭配澆灌溶磷菌條件下，基肥施用牛糞堆肥，亦有助於提高含莖之花球鮮重，由不施堆肥 339.4 g 增加至 527.6 g。顯示，施用堆肥有助於青花菜生長，也有助於溶磷菌發揮效果。然而，不論基肥是否施用堆肥，於施用半量磷肥搭配澆灌溶磷菌條件下，含莖之花球鮮重彼此間差異相對較小，分別為 570.3 及 586.5 g，因此，若農友於不施堆肥條件下生產青花菜，應可減少化學磷肥用量並搭配澆灌溶磷菌，以提高青花菜生產量。

表 6. 基肥施用牛糞堆肥且於不同肥料處理對青花菜不同花球直徑分佈之影響

Treatment	<5	5-10	10-15	15-20	>20	lack
	----- % -----					
CP1	16.0a ^z	29.5a	36.2a	10.4a	0.0a	7.9a
CP1/2-M	11.3a	27.4a	32.8a	17.3a	2.3a	8.9a
CP1/2	13.0a	29.6a	29.2a	21.2a	0.8a	6.2a
CP0-M	17.2a	21.4a	30.1a	15.0a	2.4a	13.9a
CP0	14.7a	21.9a	35.4a	13.4a	0.8a	13.8a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 7. 基肥施用牛糞堆肥之各處理花球植體養分分析

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
CP1	3.1b ^z	0.56ab	3.3b	0.53b	0.25c
CP1/2-M	3.1b	0.59a	3.4ab	0.61a	0.28ab
CP1/2	3.4ab	0.58a	3.4ab	0.51b	0.27bc
CP0-M	3.2b	0.50b	3.4ab	0.52b	0.26bc
CP0	3.6a	0.62a	3.7a	0.54ab	0.30a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

二、溶磷微生物肥料對甜玉米生長效益

玉米種植於基肥施用牛糞堆肥處理組，其玉米穗重及粒重呈現明顯 3 個級距，以施用高養分溶磷菌最佳、施用低養分溶磷菌其次，不施溶磷菌最差。糖度則以有施用溶磷菌較佳 (表 8)。結果顯示，牛糞堆肥養分含量低，施用低養分溶磷菌商品 (ML) 所提高之玉米穗重，未達市場需求。在低養分含量之牛糞堆肥，搭配施用較高養分含量之溶磷菌商品，對玉米增產效果較佳。玉米葉片養分各處理間無顯著差異 (表 9)。

玉米種植於基肥施用羽毛堆肥處理組，玉米穗重及粒重以施用高養分含量之溶磷菌效果最佳，然而施用低養分含量之溶磷菌及不施用溶磷菌之處理組，玉米穗重彼此間無顯著差異 (表 10)。羽毛堆肥之肥分或其養分釋放率或較牛糞堆肥高，因此不施肥條件下，其玉米穗重 (169.5 g) 及粒重 (81.0 g) 較基肥施用牛糞堆

表 8. 基肥施用牛糞堆肥之各處理玉米生育調查

Treatment	Ear length (cm)	Ear circumference (cm)	Ear weight (g)	Grain weight (g)	TSS (°Brix)
COW-MH	17.9a ^z	15.2a	198.8a	128.4a	14.8a
COW-ML	17.2a	14.7a	168.9b	100.1b	15.0a
COW	16.1b	12.5b	122.2c	55.0c	12.7b

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 9. 基肥施用牛糞堆肥之各處理玉米葉片養分

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
COW-MH	1.9a ^z	0.25a	1.8a	0.6a	0.2a
COW-ML	1.8a	0.24a	1.7a	0.6a	0.2a
COW	1.8a	0.24a	1.7a	0.6a	0.2a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 10. 基肥施用羽毛堆肥之各處理玉米生育調查

Treatment	Ear length (cm)	Ear circumference (cm)	Ear weight (g)	Grain weight (g)	TSS (°Brix)
F-MH	18.1a ^z	15.5a	201.3a	124.6a	14.2a
F-ML	17.5a	14.9b	183.2b	113.8a	14.6a
F	18.1a	13.8c	169.5b	81.0b	12.9b

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

肥高，然而，於此條件下，仍以施用高養分含量之溶磷菌商品較具增產效果。玉米葉片養分如表 11 所示，葉片鉀含量以施用 MH 較高而施用 ML 較低。

玉米種植於基肥施用菜籽粕處理組，不論施用高養分或低養分含量之溶磷菌商品，玉米穗重皆顯著提升，且彼此間無顯著差異 (表 12)，顯示，基肥施用高養分之粕類有機質，搭配施用低養分溶磷菌商品，亦有提高玉米生產效能。然而，若考量玉米粒重，仍以施用高養分之溶磷菌商品較佳。玉米葉片養分如表 13 所示，各處理間無顯著差異。

綜合試驗結果顯示，不論基肥施用何種有機質肥料，搭配澆灌溶磷菌皆有增產及提高玉米糖度效果，其中，於基肥施用羽毛堆肥或菜籽粕，搭配澆灌溶磷菌 ML，其玉米穗重結果較為相近，顯示羽毛堆肥於田間肥效與菜籽粕較相近，長期施用堆肥應有助於提高土壤有機質，改善土壤環境，然而於基肥施用牛糞堆肥者，若施用低養分含量之溶磷菌，應考量追施肥料以提高玉米產量。

表 11. 基肥施用羽毛堆肥之各處理玉米葉片養分

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
F-MH	1.9a ^z	0.24a	1.8a	0.6a	0.2a
F-ML	1.7a	0.24a	1.6b	0.6a	0.2a
F	1.7a	0.23a	1.7ab	0.6a	0.2a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 12. 基肥施用菜籽粕之各處理玉米生育調查

Treatment	Ear length (cm)	Ear circumference (cm)	Ear weight (g)	Grain weight (g)	TSS (°Brix)
Rap-MH	18.0a ^z	15.1a	195.8a	120.1a	14.3a
Rap-ML	17.8ab	14.6a	182.9a	102.7b	13.9a
Rap	17.1b	12.6b	127.9b	58.0c	11.6b

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 13. 基肥施用菜籽粕之各處理玉米葉片養分

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
Rap-MH	2.0a ^z	0.23a	1.7a	0.7a	0.2a
Rap-ML	2.0a	0.24a	1.7a	0.7a	0.2a
Rap	1.9a	0.23a	1.7a	0.8a	0.2a

^z Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

結論

低磷土壤環境中，不施磷肥單施溶磷菌並無效益，然而基肥施用牛糞堆肥於不施磷肥條件下施用溶磷菌具有效益，可提高青花菜花球鮮重，顯示溶磷菌與有機質肥料共同施用效果更佳，此外，不論基肥是否施用堆肥，於半量化學磷肥搭配澆灌溶磷菌，青花菜花球鮮重差異不大，且皆較施用全量磷肥處理組重，顯示，施用溶磷菌可搭配減少化學磷肥用量便具有效益。

玉米試驗結果顯示，基肥施用牛糞堆肥，因肥分較低，單用低養分含量之溶磷菌商品，雖可提高玉米穗重，但未達市場需求，需考量追施肥料，而施用高養分之溶磷菌商品，其玉米穗重最高。基肥施用羽毛堆肥及菜籽粕處理組，施用低養分含量之溶磷菌商品，於玉米穗重或玉米粒重，仍有增產效果。

引用文獻

1. Alam, M. M. and J. K. Ladha. 2004. Optimizing phosphorus fertilization in an intensive vegetable-rice cropping system. *Biol. Fertil. Soils* 40: 277-283.
2. Chung, H., M. Park, M. Madhaiyan, S. Seshadri, J. Song, H. Cho and T. Sa. 2005. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea. *Soil Biol. Biochem.* 37: 1970-1974.
3. Gulati, A., N. Sharma, P. Vyas, S. Sood, P. Rahi, V. Pathania and R. Prasad. 2010. Organic acid production and plant growth promotion as a function of phosphate solubilization by *Acinetobacter rhizosphaerae* strain BIHB 723 isolated from the cold deserts of the trans-Himalayas. *Arch. Microbiol.* 192: 975-983.
4. Reddy, M. S., S. Kumar, K. Babita and M. S. Reddy. 2002. Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*. *Bioresour. Technol.* 84: 187-189.
5. Vassilev, N. and M. Vassileva. 2003. Biotechnological solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 61: 435-440.

Field Verification of Phosphate-solubilizing Bacteria in Central Taiwan

You-Hong Zeng^{1,*}, Ya-Wen Kuo² and Hong-Tang Chen³

Summary

In this experiment, the beneficial effects of applying phosphate-solubilizing bacterium, PSB (*Bacillus subtilis*) in broccoli growth was implemented. Under the condition of applying half amounts of chemical phosphorous fertilizer (CP), drench PSB can significantly increase the fresh weight of flower ball compared with applying full or half amount of CP without applying PSB. However, only drench PSB without applying CP had no beneficial effect in increasing fresh weight of flower ball. Under the condition of applying cow dung compost as base fertilizer, drench PSB without applying CP can increase 116.7 g of fresh flower ball compared with the one without applying cow dung compost. In another experiment, we try to understand the effects of applying three organic fertilizers used as base fertilizer combined with drench of PSB (*Bacillus safensis*) with high nutrient content (MH) or PSB (*Bacillus licheniformis*) with low nutrient content (ML) in sweet maize production. The ear weight planted in soil with feather compost as base fertilizer was significant heavier than planted in soil with cow dung compost or rapeseed meal. No matter what kind of organic fertilizer was applied, additional applying the MH or ML can increase ear weight, grain weight and TSS. In the situation of applying cow dung compost as base fertilizer, the fresh weight

* Corresponding author, e-mail: zengyh@tdais.gov.tw

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

² Assistant Researcher, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Changhua, Taiwan, ROC.

³ Assistant Researcher, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Changhua, Taiwan, ROC.

of ear and grain from heavy to light was in the order by applying MH, ML and no applying PSB. Applying feather compost as base fertilizer, the ear weight was highest by applying MH but the grain weight can also be increased by applying the ML. Applying rapeseed meal as base fertilizer, both applying the MH or ML can increase ear weight but only applying the MH can significantly increase grain weight.

Keywords: Phosphate-solubilizing bacteria, Broccoli, Sweet corn.