

溶磷菌肥料應用於水芋栽培的方法與成果

蔡正賢^{1,*}、吳添益²

摘要

由於水芋的養分利用率低，水芋肥料推薦量非常高，使養分回收率偏低，造成肥料投入的浪費。藉由溶磷菌肥料的輔助，提升養分吸收能力，可能比單純使用化學或有機質肥料，更能提升肥料利用。本研究於 2018 年春作水芋分別執行溶磷菌肥料肥功效田間驗證試驗及溶磷菌肥料整合性施肥試驗。肥功效田間驗證試驗使用 2 種市售液態溶磷菌肥料，並依據施肥量及溶磷菌肥料型式分為 9 種處理，整合性施肥試驗則發展溶磷菌肥料與化學肥料及有機質肥料等整合性施肥技術，並確認溶磷菌肥料肥功效。肥功效田間驗證試驗顯示，全量施肥有最高的養分吸收量、生質量及產量，可能是土壤交換性鉀過高，使氮的供應成為限制因子，但是 2/3 肥料用量下，施用其中 1 種溶磷菌肥料活菌處理，養分吸收量、生質量及產量與全量施肥沒有差異，顯示該溶磷菌肥料有助於肥料減量。整合性施肥試驗顯示，在肥料用量相同情形下，施用溶磷菌處理者，地下部根長較對照處理長，地上部莖基寬度、葉長、葉寬及生質量較對照處理高，產量亦高於對照處理，溶磷菌肥料肥功效顯著。溶磷菌肥料應用於水芋栽培，建議土壤肥力應維持平衡，避免養分供應成為限制因子，溶磷菌肥料施用頻率 2 週 1 次，並增加溶磷菌施用次數，可能使肥功效更明顯。

關鍵詞：水芋、溶磷菌、整合性施肥。

前言

台灣芋公頃產量，低產僅 4 Mg，高產可達 35 Mg，平均公頃產量 14 Mg(農業統計年報 2011 年)。除了各地區土壤性質的差異、栽培密度及栽培制度不同之外，

* 通訊作者：tsajjh@mdais.gov.tw

¹ 農委會苗栗區農業改良場助理研究員。台灣。苗栗縣。

² 農委會苗栗區農業改良場副研究員。台灣。苗栗縣。

水芋的生長期長達 6-8 個月，期間乾物質與光合作用產物累積，以及乾物分配至球莖比例等皆容易受氣候及土壤養分影響 (魏等 1999; De la Pena *etal.*1972)，使得水芋經濟施肥的建議非常難以達成。施用肥料對水芋增產的效應明顯，主要的原因是水芋的養分利用率低 (蔡 2000)，各地區改良場每公頃之氮推薦量約 400-700 kg、磷酐約 100-150 kg、氧化鉀約 200-500 kg (賴等 2012; 全和倪 2010)。根據本場研究，雖然土壤有效性磷已高達 56 mg kg^{-1} ，施用 300 kg ha^{-1} 的磷酐仍有最高的水芋產量，比上述磷酐推薦量高出 1 倍，然而此等用量下磷酐回收率約只有 4.6%，造成肥料投入的浪費。藉由溶磷菌肥料的輔助，提升磷之吸收能力 (楊和趙 2008)，可能比單純使用化學或有機質肥料，更能提升肥料利用，並協助農民降低三要素的用量。田間試驗證實磷肥的施用於水芋地上部生長旺盛期即對生質量的增加有影響，且其影響持續至收穫 (蔡和吳 2017)，顯示水芋磷的吸收關鍵期在生長旺盛期之前。為了促成水芋的經濟施肥，本研究於水芋生長初期至生長旺盛期使用溶磷菌，以期增加水芋根部對磷之吸收能力，並強化根部發展，配合肥料減量施用，評估溶磷菌肥料表現出作物產量和土壤改良等方面的效果，以確認其肥功效 (李和沈 2012)，並發展溶磷菌肥料與化學肥料及有機質肥料等整合性施肥技術。

材料與方法

一、溶磷菌肥功效田間驗證試驗

水芋田間試驗採春作，於 2018 年 3 月 1 日定植，試驗田位於公館鄉尖山段，質地為壤土，試驗前之土壤肥力為酸鹼度 7.03、電導度 0.198 ds m^{-1} 、有機質含量 27.2 g kg^{-1} 、有效性磷含量 44 mg kg^{-1} 、交換性鉀含量 250 mg kg^{-1} 、交換性鈣含量 2203 mg kg^{-1} 、交換性鎂含量 222 mg kg^{-1} 。使用 2 種市售液態溶磷菌肥料 (菌劑代號 9 及 7)，分別取適量滅菌，另外依據溶磷菌肥料的氮、磷、鉀成分，以尿素、磷酸一鉀及硫酸鉀配製相同養分濃度之基質進行試驗。分為處理一：全量肥料、處理二：氮磷鉀皆 2/3 用量、處理三：活菌 1 (菌劑代號 9) + 氮磷鉀皆 2/3 用量、處理四：活菌 2 (菌劑代號 7) + 氮磷鉀皆 2/3 用量、處理五：死菌 1 + 氮磷鉀皆 2/3 用量、處理六：死菌 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量、處理七：不施肥、處理八：基質 1 + 氮磷鉀皆 2/3 用量、處理九：基質 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量。每處理 4 重複，每小區約

30 m²，CRD 設計。試驗田為作畦栽培，各處理可獨立操作而不互相干擾。溶磷菌活菌、死菌及基質溶液皆稀釋 250 倍施用，全量肥料及不施肥處理者，則以等量的水施用。初期每二週施用 1 次，中期每三週施用 1 次，每株施用 250 ml，共施用 4 次。

二、溶磷菌肥料整合性施肥試驗

水芋田間試驗於 2017 年 12 月 30 日定植，試驗田位於公館鄉義民段，質地為壤土，試驗前之土壤肥力為酸鹼度 5.97、電導度 0.128 ds m⁻¹、有機質含量 27.0 g kg⁻¹、有效性磷含量 19 mg kg⁻¹、交換性鉀含量 53 mg kg⁻¹、交換性鈣含量 1126 mg kg⁻¹、交換性鎂含量 223 mg kg⁻¹。使用 1 種市售液態溶磷菌肥料，分為溶磷菌處理與對照處理，兩區以隔板隔離。有機資材的準備，以市售有機質栽培介質添加木黴菌、甲殼素並攪拌均勻，裝袋後澆灌糖蜜(稀釋 300 倍)並調整水分至 60%，每隔 1 週補充水分與糖蜜，約 4 星期後搬運至田間。翻土曬田後，施入土壤，每分地 600 kg，翻耕並淹水 1 週後再整地。化學肥料以本場推薦水芋合理化施肥方法。溶磷菌肥料稀釋 250 倍後噴施於土壤，每二週施用 1 次。

三、調查方法

定植後第 63 d 進行土壤採樣檢測土壤肥力。根數、根長、株高、莖基寬度、葉長及葉幅調查，每小區調查 5 株。芋頭植體重量及養分含量分析，每小區採樣 3 植株。產量調查每小區採集 3 株，每株採 0.04 m² 面積的土壤與地下莖，採樣後除淨泥土與根後秤其鮮重，並以 25,000 plant ha⁻¹ 估計公頃產量。

結果與討論

一、肥功效田間驗證

水芋定植後第 63 d 土壤性質，酸鹼度 6.84 ± 0.35 ，電導度 0.11 ± 0.01 ds m⁻¹，有機質含量 27.7 ± 1.4 g kg⁻¹，有效性磷含量 58.8 ± 4.3 mg kg⁻¹，交換性鉀含量 133 ± 16 mg kg⁻¹，交換性鈣含量 1895 ± 167 mg kg⁻¹，交換性鎂含量 218 ± 7 mg kg⁻¹。定植後與定植前比較，酸鹼度、電導度、交換性鉀、交換性鈣含量降低，有效性磷

含量提高，有機質及交換性鎂含量變化不大。各處理間的差異不明顯。

以生質量而言，水芋於定植後第 100 d，植株乾重以處理一（全量肥料） 181 ± 39 g 最高，處理四（活菌 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量） 166 ± 39 g 次之，處理二（氮磷鉀皆 2/3 用量） 97 ± 22 g、處理五（死菌 1 + 氮磷鉀皆 2/3 用量） 111 ± 26 g 以及處理七（不施肥） 102 ± 27 g 最低。處理三（活菌 1 + 氮磷鉀皆 2/3 用量） 130 ± 19 g、處理六（死菌 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量） 125 ± 24 g 以及處理八（基質 1 + 氮磷鉀皆 2/3 用量） 135 ± 34 g 差異不明顯。

植株養分吸收量如表 1 所示，此時為水芋的生長旺盛期，但是鉀的吸收量明顯偏高，可能抑制氮的吸收。各處理間養分的吸收量以處理一（全量肥料）者最高，處理四（活菌 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量）次之，處理二（氮磷鉀皆 2/3 用量）最低，其餘處理差異不明顯。不施肥處理其植體養分含量為各處理中最高，雖然植株乾重最低，但養分吸收量並非最低，可能與施用基肥有關。全量肥料的養分吸收量最高，與植株乾重最高有關，反應出施用肥料仍是對水芋乾物增加的主要因子，尤其本試驗土壤交換性鉀偏高，氮的用量可能是限制因子，而增施肥料可補充氮。處理四在肥料減量下施用活菌 2（菌劑代號 7），植株乾重與養分吸收量僅次於全量肥料，顯示該溶磷菌對養分吸收的肥功效顯著。活菌 1（菌劑代號 9）在本次試驗中對養分吸收的肥功效不明顯。

表 1. 水芋肥功效驗證試驗第 100 d 各處理植株養分吸收量

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
	g plant ⁻¹				
1	1.76 ± 0.42 a*	0.67 ± 0.14 a	6.45 ± 1.43 a	1.57 ± 0.39 a	0.29 ± 0.08 a
2	1.04 ± 0.34 c	0.32 ± 0.07 d	3.49 ± 1.01 c	0.71 ± 0.21 c	0.12 ± 0.03 c
3	1.41 ± 0.23 abc	0.47 ± 0.10 bcd	5.38 ± 0.96 ab	1.01 ± 0.36 bc	0.18 ± 0.05 bc
4	1.64 ± 0.32 ab	0.57 ± 0.17 ab	6.26 ± 1.65 a	1.19 ± 0.31 ab	0.23 ± 0.07 ab
5	1.24 ± 0.22 bc	0.40 ± 0.07 cd	4.44 ± 0.85 bc	0.90 ± 0.20 bc	0.16 ± 0.03 bc
6	1.21 ± 0.20 bc	0.44 ± 0.12 bcd	4.84 ± 1.10 abc	0.89 ± 0.19 bc	0.17 ± 0.05 bc
7	1.30 ± 0.34 abc	0.43 ± 0.12 bcd	4.47 ± 1.30 bc	1.04 ± 0.46 bc	0.19 ± 0.07 bc
8	1.50 ± 0.43 ab	0.51 ± 0.14 bc	5.28 ± 1.33 ab	1.18 ± 0.32 ab	0.20 ± 0.06 bc
9	1.24 ± 0.27 bc	0.45 ± 0.09 bcd	4.74 ± 1.17 abc	1.02 ± 0.28 bc	0.18 ± 0.04 bc

* Within column, means followed by the same letters are not significantly different test by LSD at $p < 0.05$.

產量方面 (見表 2)，以處理一 (全量肥料) 產量 $12.6 \pm 3.6 \text{ Mg ha}^{-1}$ 最高，處理四 (活菌 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量) $10.6 \pm 1.6 \text{ Mg ha}^{-1}$ 次之，其餘處理產量較低，但是差異並不顯著可能與颱風來襲，芋頭進行剪葉措施後，各處理生長勢受到影響。不施肥處理產量 $9.6 \pm 1.4 \text{ Mg ha}^{-1}$ 並非最低，顯示田間施肥仍無法完全隔離。處理四 (活菌 2 + 氮磷鉀皆 2/3 用量) 產量百分率 84.5%，顯示溶磷菌在肥料減量下對產量仍有幫助。

二、整合性施肥試驗

於定植後第 26 d 及 43 d，調查根數及根長，施用溶磷菌處理者，地下部根數較少，但根長較長 (見表 3)。以土壤養分供應觀點，根長越長，根圈接觸土壤越多，吸收的土壤養分範圍越大，因此施用溶磷菌處理，對作物的生長可能有所幫

表 2. 水芋肥功效驗證試驗各處理產量

Treatment	Yield (Mg ha^{-1})	Index (%)
1	$12.6 \pm 3.6 \text{ a}^*$	100
2	$9.1 \pm 1.8 \text{ bc}$	72.5
3	$10.1 \pm 2.5 \text{ ab}$	80.7
4	$10.6 \pm 1.6 \text{ ab}$	84.5
5	$9.8 \pm 2.4 \text{ ab}$	78.1
6	$8.7 \pm 1.6 \text{ c}$	68.9
7	$9.6 \pm 1.4 \text{ ab}$	76.5
8	$9.1 \pm 1.7 \text{ bc}$	72.1
9	$10.1 \pm 1.5 \text{ bc}$	80.1

* Within column, means followed by the same letters are not significantly different test by LSD at $p < 0.05$.

表 3. 水芋整合性施肥試驗田地下部生長比較

Treatment	Root Numbers	Root Length (cm)
26 Days after planting		
Test	29.9 ± 8.8	10.4 ± 1.7
Blank	32.2 ± 10.3	9.3 ± 2.3
	ns	*
43 Days after planting		
Test	46.7 ± 8.1	19.9 ± 3.1
Blank	56.6 ± 15.1	17.9 ± 4.5
	*	ns

ns means not significantly different test by LSD at $p < 0.05$.

* means significantly different test by LSD at $p < 0.05$.

助。定植後第 80 d 調查地上部性狀，施用溶磷菌處理莖基寬度、葉長及葉寬，皆較對照處理高（見表 4），定植後 160 d，地上部生質量方面，溶磷菌試區亦高於對照處理（見表 5），產量調查亦顯示溶磷菌試區高於對照處理（見表 6）。

三、溶磷菌施用方法檢討

由整合性施肥試驗結果，顯示水芋採用土壤改良、合理化施肥及應用溶磷菌肥料生產方式，可以改善土壤環境，並促進作物根部生長，最終提升作物產量。但是在肥功效田間驗證試驗中，使用溶磷菌肥料的效果仍然比不上肥料增施，可能是土壤交換性鉀過高，使氮的供應成為限制因子，在使用溶磷菌肥料之前，建議維持土壤適當肥力仍有必要。溶磷菌肥料使用量及次數可以增加，處理四在肥料減量下施用活菌，植株乾重、養分吸收量及產量僅次於全量肥料，顯示溶磷菌

表 4. 水芋整合性施肥試驗田第 80 d 地上部生長比較

Treatment	Shoot width (mm)	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
Test	41.8 ± 3.3	43.5 ± 3.5	25.1 ± 1.1	21.5 ± 0.9
Blank	39.6 ± 2.8	41.8 ± 2.6	23.4 ± 1.1	20.6 ± 1.0
	*	ns	***	**

ns means not significantly different test by LSD at $p < 0.05$.

*, **, *** means significantly different test by LSD at $p < 0.05, 0.01, 0.001$ respectively.

表 5. 水芋整合性施肥試驗田第 160 d 地上部生質量比較

Treatment	Fresh weight ----- g -----	Dry weight
Test	1741 ± 205	172 ± 21
Blank	1246 ± 140	138 ± 16
	**	*

*, ** means significantly different test by LSD at $p < 0.05, 0.01$ respectively.

表 6. 水芋整合性施肥試驗田收穫期生質量比較

Treatment	Shoot weight ----- g -----	Corm weight
Test	23.3 ± 6.5	235 ± 29
Blank	12.0 ± 2.7	163 ± 16
	**	**

** means significantly different test by LSD at $p < 0.01$.

的肥功效顯著。本試驗溶磷菌肥料施用，於生長初期 2 週 1 次，生長中期 3 週 1 次，如果頻率改為 2 週 1 次，並增加溶磷菌施用次數，可能使肥功效更明顯。

結論

肥功效田間驗證試驗顯示，全量施肥有最高的養分吸收量、生質量及產量，但是肥料減量 1/3 下，施用活菌 2 (菌劑代號 7) 處理，養分吸收量、生質量及產量與全量施肥沒有差異，顯示該溶磷菌肥料有助於肥料減量。整合性施肥試驗顯示，在肥料用量相同情形下，施用溶磷菌處理者，地下部根長較對照處理長，地上部莖基寬度、葉長、葉寬及生質量較對照處理高，產量亦高於對照處理，溶磷菌肥料肥功效顯著。施用方法檢討上，建議土壤肥力應維持平衡，避免養分供應成為限制因子，溶磷菌肥料施用頻率 2 週 1 次，並增加溶磷菌施用次數，可能使肥功效更明顯。

引用文獻

1. 全中和、倪禮豐。2010。水芋合理化施肥技術。行政院農業委員會花蓮區農業改良場。
2. 李俊、沈德龍。2012。微生物肥料田間試驗設計與效果評價。農業部微生物肥料和食用菌菌種品質監督檢驗測試中心。全國農技推廣網。
3. 楊秋忠、趙震慶。1998。作物土壤微生物肥料的應用手冊。國立中興大學土壤研究所編印。
4. 蔡永暉。2000。施氮對芋植株生長及乾物生產分配之影響。高雄區農業改良場研究彙報。11(2)：22-36。
5. 蔡正賢、吳添益。2017。苗栗地區水芋栽培土壤特性與施肥管理。苗栗區農業改良場研究彙報。6：1-14。
6. 魏夢麗、陳烈夫、呂椿棠、呂秀英。1999。期作間水芋全生育期光合成物質生產之比較。中華農業研究 47(3): 47-64。
7. 賴文龍、郭雅紋、陳玫瑰。2012。臺中地區水芋肥培管理技術。臺中區農業改良場專訊 79：6-10。
8. De la Pena, R. S. and D. L. Plucknett. 1972. Effect of nitrogen fertilization on the growth, composition, and yield of upland and lowland taro (*colocasia esculenta*). Expl. Agric. 8: 187-194.

Methods and Effects of Phosphate-solubilizing Microbial Fertilizers Application at Taro in Paddy Field

Jeng-Hsien Tsai^{1,*}, Tian-Yih Wu²

Summary

The verification field test and the integrated fertilization test of phosphate-solubilizing microbial fertilizers were carried out at taro in paddy field at 2018. Fertilizer verification field test used 2 kinds of commercially available liquid phosphate-solubilizing microbial fertilizers. This field test had 9 treatments according to the rate of fertilizer and phosphate-solubilizing microbial fertilizers type. The integrated fertilization test aim at the development of microbial fertilizer, chemical fertilizer and organic fertilizer integrated fertilization technology, which will help in confirm the effect of phosphate-solubilizing microbial fertilizers. Fertilizer verification field test showed that full rate of fertilization has the highest nutrient absorption, biomass and yield, may caused by the high soil exchange potassium which result in the supply of nitrogen becomes a limiting factor. The treatment of 2/3 rate of fertilization and application of one kinds of phosphate-solubilizing microbial fertilizers, nutrient absorption, biomass and yield are not significant different with full rate of fertilization. The integrated fertilization test showed that under the same fertilizer rate, the root length was longer than that of the control treatment, the shoot width, leave length, leaf width and biomass were higher than that of the control, and the yield was higher than

* Corresponding author, e-mail: tsaijh@mdais.gov.tw

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

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

that of the control treatment. The application of phosphate-solubilizing microbial fertilizers at taro in paddy field must base on well soil fertility. Increasing in frequency and times of microbial fertilizer application may strengthen the fertilizer effect.

Keywords: taro in paddy field; phosphate-solubilizing microbial fertilizers; integrated fertilization.