

**中華土壤肥料學會一〇四年度會員大會暨
農田土壤肥料承載量：土壤磷肥有效性及固定能力研討會議程**

時間：中華民國 104 年 12 月 4 日（星期五）

會議地點：行政院農業委員會農業試驗所國際會議廳

主辦單位：中華土壤肥料學會

協辦單位：國立中興大學土壤環境科學系、國立臺灣大學農業化學系、
行政院農業委員會農業試驗所、中華肥料協會

時 間	議程	主持人	內 容
08:00 ~ 09:00	報 到	沈佛亭 秘書長	簽到、繳費 大會費：詳見報名表 常年會費：普通會員 300 元，團體會員 5,000 元 領取繳費收據、出席證、大會手冊、研討會論文集、餐券
09:00 ~ 09:10	開 幕	申 雍 理事長	研討會開幕式
09:10 ~ 09:40	國立中興大學土環系 劉雨庭	申 雍 理事長	以水合鐵礦與自然有機物形成共沉澱物吸持磷酸根
09:40 ~ 10:10	苗栗區農業改良場 蔡正賢		苗栗地區土壤磷肥力作物差異與空間分佈
10:10 ~ 10:20	休息		
10:20 ~ 10:50	高雄區農業改良場 張耀聰	劉雨庭 助理教授	高屏地區木瓜作物土壤有效性磷含量動態探討
10:50 ~ 11:20	台南區農業改良場 黃瑞彰		微生物肥料在香瓜生育之應用研究
11:20 ~ 11:50	花蓮區農業改良場 徐仲禹		宜花地區農友磷肥施用習慣及改善對策
11:50 ~ 12:20	104 年會員大會	申 雍 理事長	大會議程：1. 大會開始 2. 主席報告 3. 常務監事報告 4. 會務報告 5. 頒獎 6. 提案討論 7. 臨時動議 8. 禮成
12:20 ~ 13:20	午餐		
13:20 ~ 14:20	壁報展示		壁報論文展示討論
14:20 ~ 15:40	國際土壤年活動		
15:40 ~ 16:10	休息		
16:10 ~ 16:30	閉 幕	申 雍 理事長	綜合討論、頒獎、閉幕式

目錄

以水合鐵礦與自然有機物形成共沉澱物吸持磷酸根.....	2
苗栗地區土壤磷肥力作物差異與空間分佈.....	7
高屏地區木瓜作物土壤有效性磷含量動態探討.....	16
微生物肥料在香瓜生育之應用研究.....	26
宜花地區農友磷肥施用習慣及改善對策.....	39

以水合鐵礦與自然有機物形成的共沉澱物吸持磷酸根 Phosphate retention on ferrihydrite coprecipitated with natural organic matter

Jui-Che Sung (宋睿哲)¹, Liang-Ching Hsu (許良境)², Yu-Min Tzou (鄧裕民)², Chiung-Fen Chang (張瓊芬)¹, and Yu-Ting Liu (劉雨庭)^{2*}

¹ 東海大學環境與工程學系

² 國立中興大學土壤環境科學系

yliu@nchu.edu.tw

摘要

自綠色革命起，機械化、化學肥料及新品種農作物出現，磷肥的使用率大增，磷礦的開採亦大增。磷礦為不可再生資源，無法被取代，依照現有磷礦的蘊含量，估計可以開採 50~100 年，將於西元 2030 年達到磷產量的最高峰，磷礦耗竭危機雖不是即時的，但也是一個我們需要正視的問題。本研究主要探討磷酸根(PO_4^{3-})與土壤中礦物鐵-有機物聚合體的互動關係。由於磷在土壤中不易移動，研究其分子機構在礦物-有機物聚合體的吸附、移動行為，有助於了解磷在環境土壤中的宿命。選擇土壤含量最多的鐵氫氧化物與有機物來合成聚合物，並用來吸附磷。本研究所選用的鐵氫氧化物為水合鐵礦，因其顆粒較小(2~6 nm)，結晶性很差，高比表面積、高反應性；有機物則選擇兩種不一樣的腐植酸進行比較，腐植酸是一種有機巨大分子，擁有豐富的表面官能基。最後利用各種化學分析方法及同步輻射工具 X 光吸收光譜解開磷吸附在礦物-有機物聚合物上的鍵結機制，在分析其個別成分。經由 X 光吸收光譜以及吸附曲線的結果，確實有機物對於鐵的生長結構是有影響的，也間接影響到了鐵對磷的吸附行為，所以再利用傅立葉紅外線光譜以及核磁共振分析其表面官能基，兩種腐植酸在表面官能基確實有所不同，最後探討有機物、鐵氫氧化物在磷循環上的貢獻。

前言

磷酸根在非結晶土壤或是常見的土壤礦物的最大吸附量為 1900、280、158、70 和 15.2 毫莫耳每公斤 (mmol/kg) 分別代表水合鐵礦(Ferrihydrite)、三水鋁石(Gibbsite)、針鐵礦(Goethite)、赤鐵礦(Hematite)以及高嶺土(kaolinite) (Dimirkou et al., 2002; Khare et al., 2005; Murray and Hesterberg, 2006)。顯然地，在土壤中非結晶性或是結晶性不佳的鐵、鋁氧化物主要提供了磷酸根的吸持空間。水合鐵礦(Ferrihydrite)，是一種自然存在的礦物，可以經由三價鐵水解合成得之。水合鐵礦遍佈在土壤、沉積物及水生環境中，它屬於結晶性很差的鐵礦物。它也是各種氧化物鐵礦物的前驅體，如針鐵礦(Goethite)、赤鐵礦(Hematite)。水合鐵礦對於陽離子和陰離子有很大的吸附容量，因為它提供了一個非常高的表面積(>200 m^2/g)和反應性，使得它是一個很好的吸附劑(Waychunas et al., 1993)。在地下水或溪流中，水合鐵礦會吸附汙染物或是與汙染物形成共沉澱。因此，它常用於廢水工業，清除重金屬或是非金屬類汙染物。

土壤有機聚合物和氧化物表面之間的相互作用，是一種被廣泛研究的主题，由於其對土壤化學與環境化學有多方面的相關性。腐植酸在結合離子和其它有機分子非常活躍，並且它們具有對氧化物表面有很強的親和力。在地下水或是土壤中，這些特性使得腐植酸能夠調節離子及營養物的型態和流動(McCarthy, 1989)。腐植酸吸附於氧化物表面主要研究的變因多為 pH 值、離子強度、腐植酸及氧化物的種類和濃度等。吸附是由腐植酸官能基團和氧化物表面的官能基團和通過靜電相互作用的特異性相互作用所支配的。兩種影響的組合通常透過降低 pH 來增加吸附量(Davis, 1981)。本研究選用的鐵氧化物為水合鐵礦(Ferrihydrite)，它有相當大的比表面積($700 \text{ m}^2/\text{g}$)和在材料表面有大量羥基官能基團，綜合以上兩點使得水合鐵礦是個高效吸附劑，在土壤或是沉積物中固定有機分子(Dzombak, 1990)。這些水合鐵礦表面固定了有機物，使其穩定不會被微生物降解，因此，透過土壤礦物質，如水合鐵礦，防止生物降解、穩定有機質和代表固碳的主要機制被稱為“吸附保護”，這對於土壤碳的貯存是有幫助的。相反的，鐵礦與溶解有機質可以延遲或抑制水鐵礦轉化為其它多晶鐵氧化物。為了調查這些過程，進行合成水合鐵礦與有機物形成共沉澱物，產生鐵礦-有機物(Ferrihydrite-OM)。

實驗方法

本實驗所選用有機物種類有兩種，一種為商業用的腐植酸，購買自西格瑪奧德里奇公司(Sigma-Aldrich

Company)，另一種則是由國際腐植酸協會(International Humic Substance Society; IHSS)方法萃取出來自陽明山土壤中的腐植酸，將兩種腐植酸與水合鐵礦(Ferrihydrite)依造不同比例進行共沉澱物實驗，在燒杯中加入適量硝酸鐵及腐植酸溶液，利用 1 M 氫氧化鉀溶液調整 pH 值至 7 到 8 之間，持續攪拌半小時，移入離心瓶中，洗掉鹽分，將樣品分為兩部分，一部分冷乾，待性質分析。一部分為濕潤樣品，盡快進行 X 光吸收光譜的實驗。

最後則是進行磷的吸附實驗，新合成鐵礦-有機共沉澱物，並保持共沉澱物為懸浮狀態，分別置於四個離心瓶內(C/Fe=0%, 20%, 40%, 50%)。懸浮物的濃度為 1.5 g kg^{-1} 。取共沉澱懸浮液分裝在數個離心管內(四種碳鐵比，十種不同的吸附濃度)，各別加入適量的懸浮液(每管有 0.045 g 共沉澱物)，取懸浮液時維持攪拌狀態再來以微量吸管取 0.01 M KH_2PO_4 ，依比例(0, 1000, 1500, 1750, 1875, 2000, 2250, 2500, 3000, 4000 mmol kg^{-1})在離心管加入正確的量。利用 0.01 M KOH 以及 0.01 M HCl，調整 pH 值至 5.5，震盪 42 小時，期間持續檢查 pH 值並保持在 pH 5.5。待至吸附平衡時，離心將懸浮液分為固體以及液體部分；再利用鉬藍法，測定液體中的磷濃度，利用液體中磷濃度計算固體上磷濃度，繪製等溫吸附圖，探討吸附成效。最後將固體部分冷乾，待性質分析。

結果

本試驗土壤採集至陽明山地區，陽明山地區為火山地形，多為火成岩，大部分為安山岩，為岩漿快速冷卻而成，少部分玄武岩，孕育了大量的火山灰土讓，土壤質地較為輕，含大量無定型鐵鋁，土壤密度低，含水量多，對磷有很強吸附能力。選擇用陽明山土壤萃取出天然的腐植酸(YHA)來做為實驗中的有機物，對照組則為市售腐植酸(AHA)，在實驗中比較兩種腐植酸的差異。

固態核磁共振光譜分析

利用碳十三核磁共振光譜儀，進行試驗不同腐植酸及不同處理程序下的腐植酸所含碳官能基的變化。每個位置的化學位移代表不同的官能基，針對不同位置峰將光譜分區為 0~50 ppm、50~112 ppm、112~145 ppm、145~163 ppm、163~190 ppm、190~215 ppm，分別代表脂肪碳(alkyl C)、含氧的脂肪碳(O-alkyl C)、芳香性碳(aromatic C)、酚基碳(phenolic C)、含羧基碳(carboxyl C)、羰基碳(carbonyl C)。表 1. 列出不同腐植酸之核磁共振化學積分表。

表格 1. 不同腐植酸之核磁共振化學積分表 (13C NMR) :

Sample	Distribution of chemical shift, ppm (%)									
	0-50	50-112	112-145	145-163	163-190	190-215				
	alkyl C	O-alkyl C	aromatic C	phenolic	carboxyl C	carbonyl	aliphatic ^a	aromatic ^b	aliphaticity ^c	aromaticity ^d
AHA-BP	51.1	6.3	32.5	4.2	4.9	1.0	57.4	36.7	61.0	39.0
AHA-AP	49.6	10.4	27.2	6.6	5.3	1.0	60.0	33.7	64.0	36.0
AHA-AH	36.5	13.3	33.0	7.5	7.7	2.0	49.8	40.5	55.1	44.9
YHA-BH	30.4	25.9	27.5	4.0	10.8	1.5	56.2	31.5	64.1	35.9
YHA-AH	28.7	29.3	26.6	3.8	10.5	1.2	58.0	30.4	65.6	34.4

a. Expressed as the sum of the percentages of functional groups in the chemical shift ranges of 0-50 and 50-112 ppm.

b. Expressed as the sum of the percentages of functional groups in the chemical shift ranges of 112-145 and 145-163 ppm.

c. Aliphaticity was calculated by expressing aliphatic (0-112 ppm) as percentage of the aliphatic and aromatic regions (0-163 ppm).

d. Aromaticity was calculated by expressing aliphatic (112-163 ppm) as percentage of the aliphatic and aromatic regions (0-163 ppm)

傅立葉紅外線光譜表面官能基分析

將五種腐植酸樣品(AHA-BP、AHA-AP、AHA-AH、YHA-BH和 YHA-AH)進行傅立葉紅外線光譜(FTIR)的鑑定，如下圖 1、圖 2及圖 3。

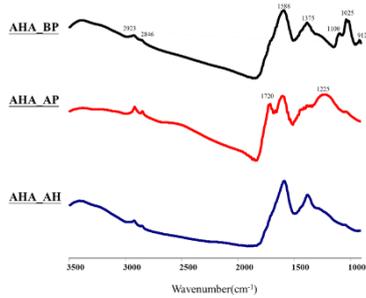


圖 1.不同處理程序後的市售腐植酸(AHA)的 FTIR 光譜圖。

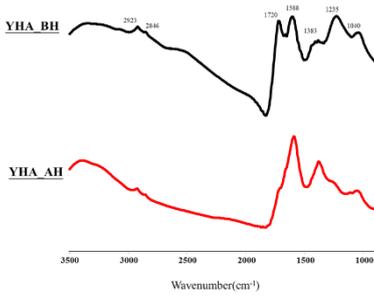


圖 2.不同處理程序後的市售腐植酸(YHA)的 FTIR 光譜圖。

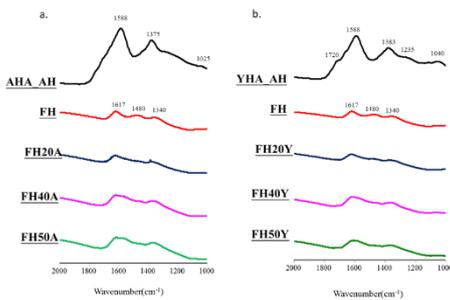


圖 3. FTIR 光譜圖：a.市售腐植酸與不同碳鐵比之共沉澱物。b. 陽明山腐植酸與不同碳鐵比之共沉澱物。

表格 2. 不同波數(cm^{-1})出現的吸收峰代表之官能基：

Characteristic Absorptions (cm^{-1})	Functional Group	Type of Vibration
2923, 2846	Alkane, C-H	stretch
1720	Carbonyl, C=O	stretch
1588	Aromatic, C=C	stretch
1375, 1383	Alkane, -CH ₃ , -CH ₂ -	bending
1235, 1225	Ester, C-O	stretch
1100	Alcohol, C-O	stretch
1025, 1040	Amine, C-N	stretch
912	Alkane, C-H	Out-of-plane

先探討市售腐植酸的變化，參照圖 1，在未經純化及水合的 AHA(AHA-BP)，吸收峰有 2923、2846、1588、1375、1100、1025 及 912 等波數(cm^{-1})，參照表格 2，2923 cm^{-1} 和 2846 cm^{-1} 代表著 C-H 的訊號，1588 cm^{-1} 代表 C=C 的訊號，1375 cm^{-1} 代表 -CH₃ 和 -CH₂- 的訊號，1100 cm^{-1} 代表著 C-O 的訊號，1025 cm^{-1} 代表了 C-N 的訊號，912 cm^{-1} 也是代表 C-H 的訊號只是它使屬於平面向外彎的鍵結。經過純化後(AHA-AP)，2923 cm^{-1} 和 2846 cm^{-1} 代表的 C-H 仍然存在，1588、1375、1100、1025 及 912 cm^{-1} 這些吸收峰都變弱了甚至消失，但 1720 cm^{-1} 代表的 C=O 卻增強，也長出 1720 cm^{-1} 代表的 C=O 的吸收峰。在經過水和後(AHA-AH)，腐植酸表面剩下較明顯的吸收峰剩下 2923、2846、1588 和 1375 cm^{-1} 。陽明山腐植酸部分(YHA-BH)，參照圖 2，吸收峰有 2923、2846、1720、1588、1383、1235 和 1040 cm^{-1} ，代表的官能基與 AHA 差不多，只是化學位移了一點點。水合後(YHA-AH)，2923 cm^{-1} 和 2846 cm^{-1} 的 C-H 依舊存在，1588、1235 及 1040 cm^{-1} 增強了訊號，其它 1720 和 1383 cm^{-1} 都有大幅度變弱的趨勢。再來將兩種腐植酸(經水合過後)比較，陽明山腐植酸比起市售腐植酸，在 1720 cm^{-1} 代表的 C=O 稍微還有訊號，1720 cm^{-1} 代表的 C=O 有稍強的訊號，而 1040 及 1025 cm^{-1} 代表的 C-N 有較強的訊號，剩下的吸收峰強度都差不多。

延伸 X 光吸收鐵近邊緣(Fe K-edge EXAFS)細微結構分析

X 光吸收鐵近邊緣(Fe K-edge EXAFS)細微結構分析，如圖 4.與圖 5。兩張圖中，縱軸通常代表著結構順序(Structural ordering)以及配位數(Coordination number)，而橫軸代表著離中心原子(Fe)的距離，再來是鐵氧鍵(Fe-O)的特徵峰在距離中心鐵原子約 1.5 Å，鐵鐵鍵一(Fe-Fe₁) 特徵峰在距離中心鐵原子約 3.05 Å，鐵鐵鍵二(Fe-Fe₂) 特徵峰在距離中心鐵原子約 3.43 Å，兩種鐵鐵鍵最大的不同在於分享鄰近原子的方式，Fe-Fe₁ 是屬於 Edge-sharing(ES)，而 Fe-Fe₂ 是屬於 Corner-sharing(CS)。

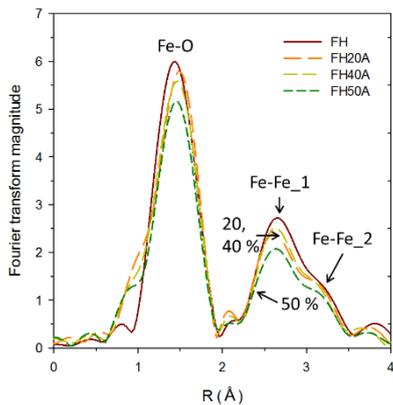


圖 4. 延伸 X 光吸收近邊緣細微結構(Fe K-edge EXAFS)分析不同碳鐵比下市售腐植酸共沉澱物。

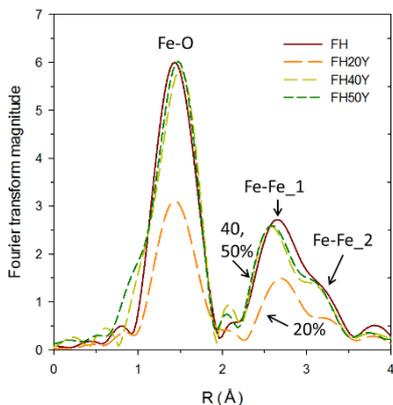


圖 5. 延伸 X 光吸收近邊緣細微結構(Fe K-edge EXAFS)分析不同碳鐵比下陽明山腐植酸共沉澱物。

等溫吸附曲線

保持共沉澱物樣品為懸浮狀態，加入不同濃度磷酸溶液，等溫吸附 42 小時，離心後取出上清液，測定上清液中磷濃度，利用液體殘留磷之濃度推算出固體上濃度就可以畫出等溫吸附圖，如圖 6 和圖 7，縱軸代表的是固體上的磷濃度 (mmol kg⁻¹)，橫軸則是液體殘留的磷濃度 (mmol)。經計算及繪製可得到一組等溫吸附曲線。等溫吸附曲線，是一種經驗數學式，主要用來探討等溫下兩相間的吸附平衡關係，本研究所利用的經驗式為弗羅因德利希方程(Freundlich equation)，計算方程式及各項參數，以及使用朗繆耳方程式(Langmuir equation)算出最大吸附量，參照表格 3。表格 3 中，n 值小於 1 時，則表示吸附容量受溶質平衡濃度影響非常大，此時對於較低濃度的溶質吸附是不利的。而 K 值越大則是越利於吸附，對應本吸附實驗而言為狀況良好的吸附實驗。

圖 6. 為水合鐵礦(FH)加入不同比例的有機物(AHA)，碳鐵比 20%(FH20A)、40%(FH40A)及 50%(FH50A)所繪製之等溫吸附曲線疊圖，由圖中可以觀察到隨著有機物添加的量，吸附量也隨之下降，參照表格 3，最大吸附量也是隨之遞減的。再來看圖 7，為水合鐵礦(FH)加入不同比例的有機物(YHA)，碳鐵比 20%(FH20Y)、40%(FH40Y)及 50%(FH50Y)所繪製之等溫吸附曲線疊圖，由圖中可以觀察到隨著有機物添加的量，並不向 AHA 一樣是隨有機物量而遞減的，在 FH20Y 時下降了許多，最大吸附量掉了約 300 mmol kg⁻¹，之後 FH40Y 升回來一點，而

FH50Y 最大吸附量又掉到了更低 1934.24 mmol kg⁻¹。

表格 3. Freundlich 等溫吸附模組吸附曲線參數及利用 Langmuir 等溫吸附模組所計算之最大吸附量：

Sample	Freundlich Isotherm ($\frac{x}{m} = KC_e^{\frac{1}{n}}$)			Maximum adsorption capacity (mmol kg ⁻¹)
	K	1/n	Rsqr	
FH	2244.89	0.11	0.9946	2325.58
FH20Y	1895.88	0.12	0.9799	2008.03
FH40Y	1959.65	0.12	0.9972	2036.66
FH50Y	1875.00	0.12	0.9955	1934.24
FH00A	2160.27	0.11	0.9958	2237.14
FH20A	2117.30	0.12	0.9943	2207.51
FH40A	2022.21	0.14	0.9892	2159.83
FH50A	1907.64	0.09	0.9908	2070.40

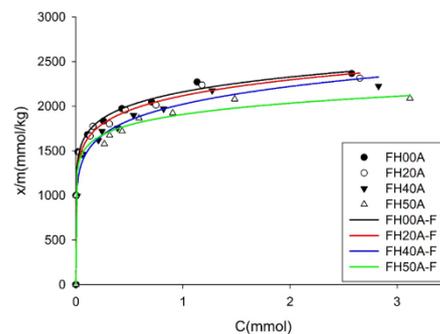


圖 6. 以不同碳鐵比之市售腐植酸共沉澱物吸附磷酸根利用 Freundlich 吸附模組所繪之吸附曲線。

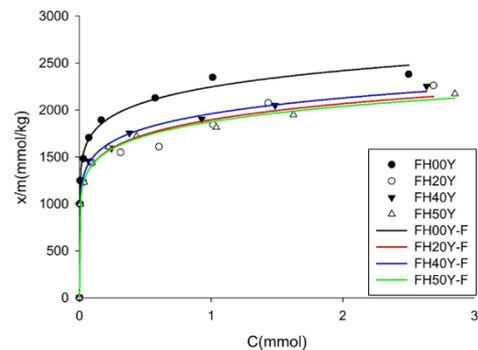


圖 7. 以不同碳鐵比之陽明山腐植酸共沉澱物吸附磷酸根利用 Freundlich 吸附模組所繪之吸附曲線。

討論

本實驗所選用的腐植酸有兩種，經過基本的元素分析，在氧、碳和氮並無明顯差異，在氮元素的分析中發現陽明山腐植酸含氮成分比市售腐植酸還多，接著利用固態核磁共振與傅立葉紅外線光譜分析表面官能基，發現在兩種腐植酸的 FTIR 光譜中，陽明山腐植酸比起市售腐植酸在 1040 及 1025 cm^{-1} 代表的碳氮鍵(C-N)有較強的訊號。在 NMR 光譜中，陽明山腐植酸比起是市售腐植酸在脂肪族官能基多了許多，而脂肪性的碳氮鍵在 FTIR 圖譜中坐落在 1250 到 1020 cm^{-1} ，另外陽明山腐植酸也有 1235 cm^{-1} 的吸收峰，也有可能是碳氮鍵。由 FTIR 以及 NMR 的數據，我們可以確認陽明山腐植酸與市售腐植酸最大差異在於陽明山腐植酸有較多的脂肪性碳氮官能基(C-N stretch, aliphatic amines)。

分析共沉澱物部分，先分析總體成分，看看是否為照設定的碳鐵比，經實驗後證明差異不大；再來是表面元素的分析，發現在表面元素方面碳鐵比不為設定值，與總體碳鐵比不同，碳鐵比大於一，最多有到四點多，氧元素本來在表面官能基就屬於比較高的以外，碳元素為次多。對於表面的官能基，若以鐵為中心原子，它可能接了很多的碳，碳原子在與氮原子形成鍵結，陽明山腐植酸與鐵之共沉澱物表面確實就可能含有很多的碳氮鍵。

在 EXAFS 的數據中，得知有機物確實會讓水鐵礦結構變弱，市售腐植酸與鐵的共沉澱物是隨著有機物比例上升，而鐵氧鍵與鐵鐵鍵的配位數都下降。可是，陽明山腐植酸與鐵的共沉澱物在鐵氧鍵與鐵鐵鍵的配位數卻是先降反升，有明顯的差異。

最後在吸附實驗部分，由等溫吸附經驗式弗羅因德利希方程所繪之吸附曲線發現，市售腐植酸與鐵之共沉澱物在有機物比例上後，吸附磷的量隨之遞減，而在陽明山腐植酸與鐵的共沉澱物又有了不一樣的結果，吸附平衡在碳鐵比為 0.2 時，會先降，到 0.4 時又反升，與 X 光吸收光譜結果有同樣趨勢，再由表面官能基方向去探討，去僅發現水鐵礦的 FTIR 特徵峰剩下 1617 cm^{-1} ，加入磷愈多有增強趨勢，以及長出另外兩個吸收峰 1000 cm^{-1} 和 1100 cm^{-1} ，由 Yuji Arai 等人在 2001 年的文獻中發現，鐵磷鍵(Fe-P)在 1000 cm^{-1} 左右確實有明顯的吸收特徵峰，也可以確定磷確實有吸附到鐵-有機共沉澱物上，此外沒有發現到碳氮鍵的特徵峰，有可能是被鐵磷鍵過強的訊號蓋過。本實驗發現有機物的添加會佔去鐵礦上的吸附位，使得對磷的吸附量下降，而兩種不同的有機源，在成份的不同，使得表面官能基也不同，對於共沉澱物吸附磷的表現也有所不同，這些資訊提供磷在土壤中的研究一個方向，並且補充了磷在自然中的地質化學知識。

參考文獻

- [1] Y.-T. Liu and D. Hesterberg, " Phosphate bonding on noncrystalline Al/Fe-hydroxide coprecipitates," *Environ. Sci. Technol.*, 45, 6283–6289.
- [2] Dzombak, D. A. (1990) Morel, F.M.M. Surface Complexation Modeling. Hydrous Ferric Oxide; Wiley Interscience: New York.
- [3] Khare, N., Hesterberg, D., and Martin, J. D. (2005) XANES investigation of phosphate sorption in single and binary systems of iron and aluminum oxide minerals. *Environ. Sci. Technol.* 39, 2152-2160.
- [4] Murray, G. C. and Hesterberg, D. (2006) Iron and phosphate dissolution during abiotic reduction of ferrihydrite-boehmite mixtures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1318-1327.
- [5] Waychunas, G. A., B. A. Rea, C. C. Fuller, and J. A. Davis. (1993). Surface chemistry of ferrihydrite: Part I. EXAFS studies of the geometry of coprecipitated and adsorbed arsenate. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57:2251-2269.
- [6] McCarthy, J. F.; Zachara, J. M. *Environ. Sci. Technol.* 1989, 23, 496-502.
- [7] Dzombak, D. A. (1990) Morel, F.M.M. Surface Complexation Modeling. Hydrous Ferric Oxide; Wiley Interscience: New York.
- [8] Arai, Yuji and Sparks, D. L. (2001) ATR-FTIR Spectroscopic Investigation on Phosphate Adsorption Mechanisms at the Ferrihydrite-Water Interface. *Journal of Colloid and Interface Science.* 241, 317-326.

苗栗地區土壤磷肥力之作物差異與空間分布

The soil phosphorus fertility variety of crops and space distribution at Miaoli district

蔡正賢*、吳添益

苗栗區農業改良場

*E-mail: tsaijh@mdais.gov.tw

摘要

土壤肥力分析不僅為農田施肥的重要依據，亦是反應長期土壤管理的結果，因此必須正確解讀。本研究針對苗栗 6 種常見作物之土壤磷肥力之差異，經由分析方法、施肥量、各種土壤性質及空間資料的呈現等，釐清影響的因子及正確性。結果顯示，分析方法都有可能造成 6 種作物有效性磷的低估，但是影響不大；施肥量確實對作物土壤之有效性磷含量有影響，但是仍無法完全解釋水芋及草莓等有效性磷含量偏低的原因。交換性鈣對有效性磷無明顯影響，可能是因為苗栗地區土壤為非石灰性土壤有關。有機質含量對草莓、柑橘、葡萄及高接梨的有效性磷有影響，可能是造成這些作物磷的有效性提升的重要原因。作物間土壤磷的有效性差異，亦有可能是耕作實務所造成，與整地難易及磷受黏粒固定的機會有關。最後根據草莓土壤有效性磷的空間分布，證實地域性的差異，亦可能造成有效性磷含量的差異。

關鍵詞：有效性磷、肥力、空間分布。

前言

磷為土壤中較不易移動之養分，磷肥施入土壤後，只有約 1/10 被作物吸收，其餘均殘留土壤。磷在土壤中之反應相當複雜，可被黏粒吸附，或與不定形物及有機物反應，酸性土壤與鐵、鋁結合，鹼性土壤則與鈣結合，形成各種不同型態而溶解度低之化合物，使磷之有效性大為降低。不同土壤之特性可能影響有效性磷含量。

肥料用量亦可能影響土壤有效性磷的含量，由於肥料的總施用量以氮素含量估算，造成土壤養分失衡；養分固定力大的土壤，例如強酸性土壤或黏重之土壤，由於肥效差，可能誘使農民超施肥料，加劇磷的殘留。

作物生產環境包含氣候、土壤性質、坡度、耕犁難易及水分境況等差異，加上長期土壤管理的不同，土壤有效性磷在不同作物間之差異甚為明顯。基於以上種種因素，了解各作物間土壤有效性磷含量的差異甚為複雜，本研究目的為了解苗栗 6 種常見作物之土壤磷肥力之差異與影響因子，並經由空間資料的呈現，釐清是否有地域性的因子，以利於肥力診斷。

材料與方法

一、 土壤性質分析：

土壤風乾過篩後，土壤酸鹼度值以玻璃電極測定（土水比=1:1），有機質含量以固體總有機碳分析儀測定。土壤交換性鉀、鈣、鎂以孟立克 1 號法抽出，用感應耦合電漿原子發射光譜儀測定，土壤有效性磷以 Bray No.1 方法抽取並用鉬藍法測定。陽離子交換能量(CEC)由估計而來，由各種交換性鉀、鈣、鎂、鈉測值轉為當量值後加總(交換性鈉的測值均假設為 50 mg kg^{-1})，再由 pH 測值估計飽和度，並與已知之 CEC 測值(農試所測量)回歸並適度校正。完成分析之資料，分別加上其他欄位，包括作物種類、土地位置等，以利後續應用。

二、 施肥量調查：

施肥推薦量參考作物施肥手冊，農民慣用量以 2009-2012 年本場輔導之合理化施肥示範戶為主體，合計約 30 名農戶。此外 2012 年合理化施肥小組統計數據由農糧署提供。田間調查數據，草莓肥料用量於 2015 年 9 月進行，在大湖及獅潭草莓栽培區，隨機訪問 118 個農戶施肥用量，水芋肥料用量為試驗合作農戶施肥量推估。

三、 空間資料繪圖：

土壤採樣時以 GPS 定位，完成分析後之資料，加上 X、Y 欄位，並由地理資訊系統以點資料呈現。

結果與討論

根據農業統計年報，苗栗地區水稻 1、2 期作面積共 10,301 公頃，柑橘 2,420 公頃，梨 1,491 公頃，為苗栗栽培面積最大的作物，此外葡萄 503 公頃，水芋 483 公頃，草莓 451 公頃，亦為苗栗地區代表性作物。表一為以上 6 種作物農民送驗土壤之有效性磷含量，其中水稻及水芋之有效性磷含量最低，次者依序為草莓、柑橘、葡萄，高接梨土壤之有效性磷含量最高。其中變異較大者有草莓、柑橘及高接梨。以下分別以各種角度，探討各種因子的影響。

一、 分析方法的影響：

根據本場歷年對農地有效性磷的分析，磷肥力過高的土壤(高於 80 mg kg^{-1})約佔 50%，其中酸性土壤(圖一)，或者 CEC 為 $5-8 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 的土壤(圖二)更常出現有效性磷高於 300 mg kg^{-1} 。這可能與實驗方法有關，Bray No.1 分析適用於中等質地與 CEC 的酸性土壤，依據歷年資料，pH 大於 7 的土壤或 CEC 大於 $20 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 的土壤，有效性磷通常較少超過 300 mg kg^{-1} 。

圖三為 6 種作物土壤 pH 分布範圍，水稻、水芋、草莓與葡萄土壤高於

pH 7 的機率較柑橘及高接梨為高，分析方法上的差異可能導致水稻、水芋、草莓與葡萄部分土壤有效性磷含量被低估，其餘 4 種作物被低估的可能較低。再以 CEC 分布範圍來看(圖四)，水稻與水芋分布於為 $5-8 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 的機率很高，且皆低於 $20 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ，因此總結來說，水稻與水芋有效性磷含量可能因為 pH 值而被低估；而草莓與葡萄因土壤分布於高 pH 值，柑橘、葡萄及高接梨分布於高 CEC 值，因此分析方法都有可能造成 6 種作物有效性磷的低估。因此，應該有更重要因素，造成作物有效性磷的差異。

二、 施肥量的影響：

水稻由於磷肥效不明顯，因此農民普遍用量不高。表二為 6 種作物磷肥施用量的評估，其中水稻的施用量最低，可能是水稻有效性磷含量低的原因。但是相反的，水芋即使有效性磷含量高於 60 mg kg^{-1} ，於田間試驗仍發現施用磷肥極有肥效，農民慣用量可能高於 $300 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ，卻仍有較低的有效性磷，因此施用量可能不是水芋有效性磷含量低的原因。類似的情形也發生在草莓，雖然一般認為草莓磷肥力已高，不需多施磷肥，但田間調查發現，超施磷肥的比例甚高，調查中最高的數據甚至達 $1,290 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ，但是草莓的有效性磷含量卻是其他 4 種旱作中最低者，施肥量對有效性磷含量的影響，可能不是最重要的。

三、 各種土壤性質的影響：

有效性磷含量可能受土壤酸鹼度、有機質含量、土壤黏粒或交換性鈣的影響。將各土壤性質依據測值大小，分為 4 個等級，以了解各等級是否對有效性磷含量造成差異(表三)。交換性鈣等級對 6 種作物的有效性磷均無明顯影響，可能是因為苗栗地區土壤為非石灰性土壤有關。

酸鹼度值對水稻及水芋無明顯影響，但是對其他 4 種作物皆有影響，其中以最低(酸)的等級，有效性磷含量最高。一般認為酸性土壤鐵、鋁對磷的固定能力大，此結果卻完全相反，可能反應苗栗地區酸性土壤是肥料用量過高所造成。

有機質含量對水稻及水芋亦無明顯影響，對其他 4 種作物皆有影響，其中以最高的等級，有效性磷含量最高，這可能顯示腐植質對磷的有效性有提升的作用。

土壤 CEC 除了水稻外，其他 5 種作物皆隨著 CEC 增加，有效磷含量亦增加。土壤 CEC 與黏粒含量有關，理應因為磷的吸附，而降低磷的有效性，卻反而增加磷的有效性。但是以實務來看，黏粒增加會造成耕犁的困難，使土壤翻耕對磷固定的機會降低，如果有機質含量又高，就可能使磷的有效性增加。CEC 高，土壤鹽基飽和度低，土壤酸鹼度低，間接解釋為何土壤酸鹼度低，磷的有效性卻增加。綜合言之，作物間土壤磷的有效性差異，亦可能

受耕作實務所造成。水稻及水芋整地過程，破壞土壤構造，磷受黏粒固定的機會大增，所以有效性磷含量低。而草莓亦常實施整地，可能造成磷的有效性較其他不易整地的旱作低。

四、 空間分布：

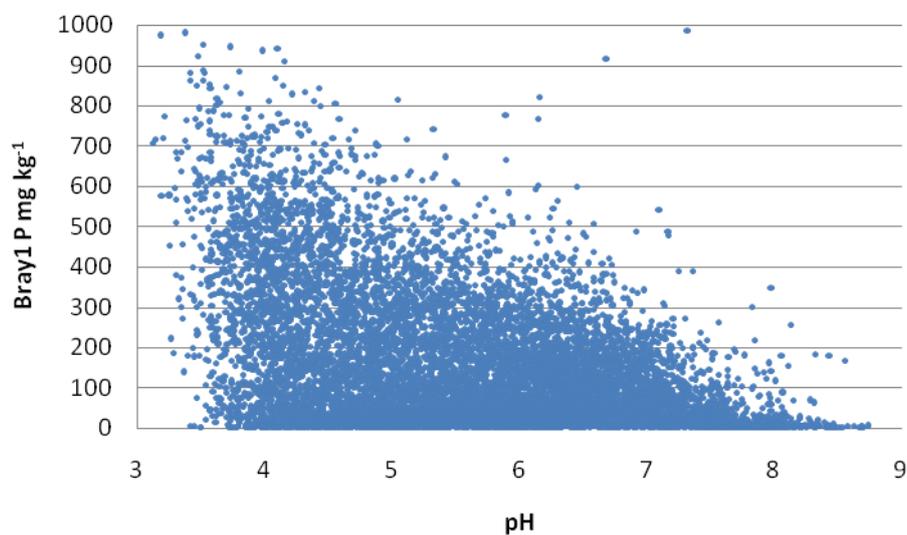
草莓在 6 種作物中是較為關鍵的觀察對象，其一，草莓的水分境況是介於水田與旱田之間，表一顯示草莓土壤鐵的含量已經與水田類似；其二，草莓的栽培地區亦可能分布於傳統的水田到種植果樹的地區，土壤條件不同。圖五顯示大湖草莓栽培區，有效性磷含量的空間分布，含量的高低依序由南而北遞降，而南邊是水系的上游坡地，供水能力較差，水份境況及土壤條件類似果樹，有效性磷含量比較類似其他果樹；北邊是河邊沖積地，供水能力較強，有效性磷含量比較接近水芋及水稻。獅潭鄉的情形則變化不明顯，可能都是位於河邊沖積地。這種地域性的差異，亦可能造成有效性磷含量的差異。

參考文獻

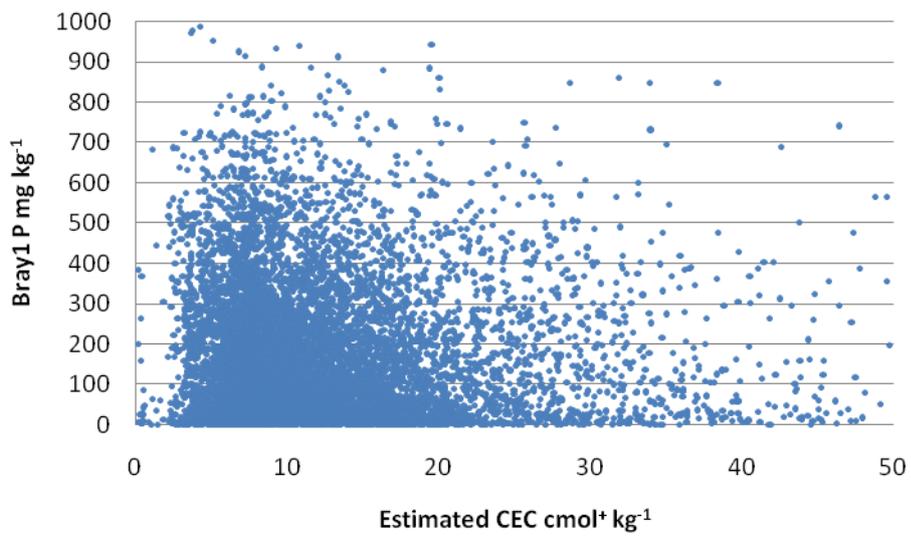
- 郭鴻裕。2015。苗栗地區 6 種土地覆蓋作物與土壤各屬性網格圖資 TWD97。農業試驗所農業化學組。
- Ashokan, P.K., and V, Nair. 1984. Response of taro (*colocasia esculenta* (L.) Schott). To nitrogen and potassium. *J. Root Crops* 10: 59-63.
- Albregts, E. E., and C. M. Howard. 1978. Elemental composition of fresh strawberry fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(3):293-296.
- Chang, C., T. G. Sommerfeldt and T. Entz. 1991. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20:475-480.
- 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.
- Mohankumar, C.R., N. Sadanandan, and P.Saraswathy. 1990. Effect of levels of NPK and time of application of N and K on the yield of taro (*colocasia esculenta* (L.) Schott). *J. Root Crops* 16: 33-38.
- Osorio, N.W., X. Shuai, S. Miyasaka, B. Wang, R. L. Shirey, and W.J. Wigmore. 2003. Nitrogen level and form affect taro growth and nutrition. *HortScience.* 38(1):36-40.

表一、苗栗地區 6 種作物土壤之 Bray 1 磷與其他土壤性質比較

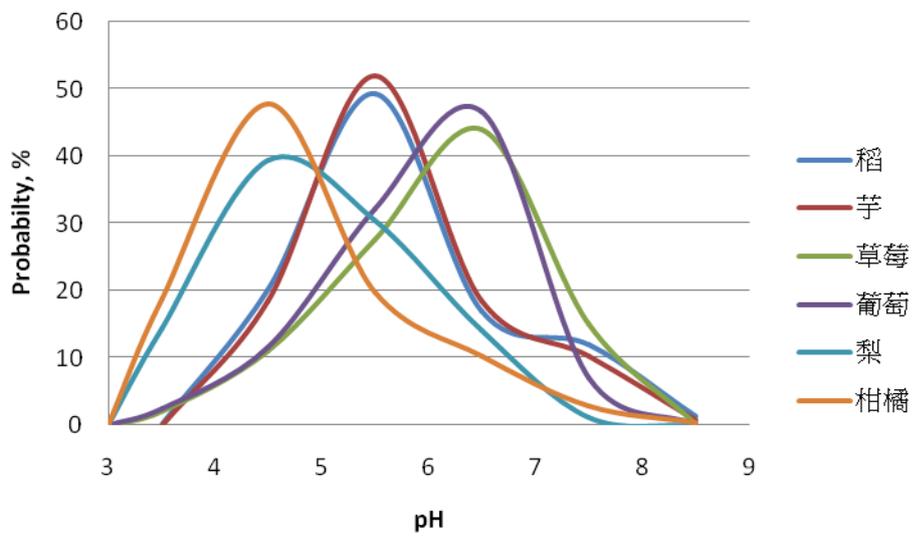
作物		Bray1 磷 mg kg ⁻¹	酸鹼度	有機質 %	CEC cmol ⁺ kg ⁻¹	交換性鈣 -----mg kg ⁻¹ -----	鐵
水稻	Mean	23	5.76	2.39	7.7	1197	806
	S.D.	18	0.91	0.90	2.8	679	342
水芋	Mean	40	5.73	2.15	8.8	1130	1080
	S.D.	27	0.83	0.81	3.1	513	355
草莓	Mean	139	6.05	2.01	11.6	2002	1278
	S.D.	108	0.97	1.11	5.7	1319	470
柑橘	Mean	168	4.82	1.81	13.7	897	335
	S.D.	155	0.94	0.95	7.4	799	283
葡萄	Mean	211	5.94	2.81	14.0	2458	800
	S.D.	122	0.84	1.45	5.9	1237	185
梨	Mean	274	4.98	2.47	15.5	1230	331
	S.D.	183	0.90	1.79	10.0	922	203



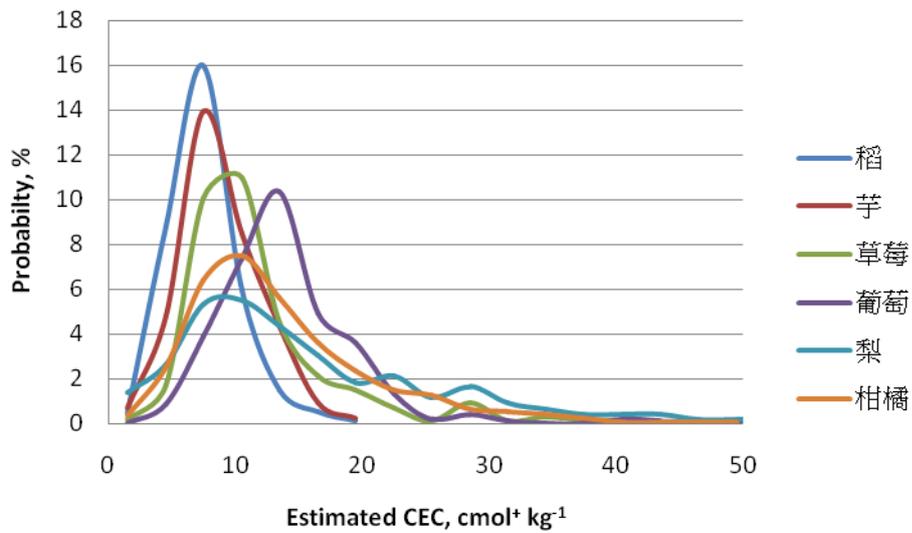
圖一、2002-2015 年苗栗地區農民送驗土壤 Bray1 磷與土壤酸鹼度之散布圖。



圖二、2002-2015 年苗栗地區農民送驗土壤 Bray1 磷與土壤 CEC 之散布圖。



圖三、苗栗地區 6 種作物土壤 pH 分布範圍。



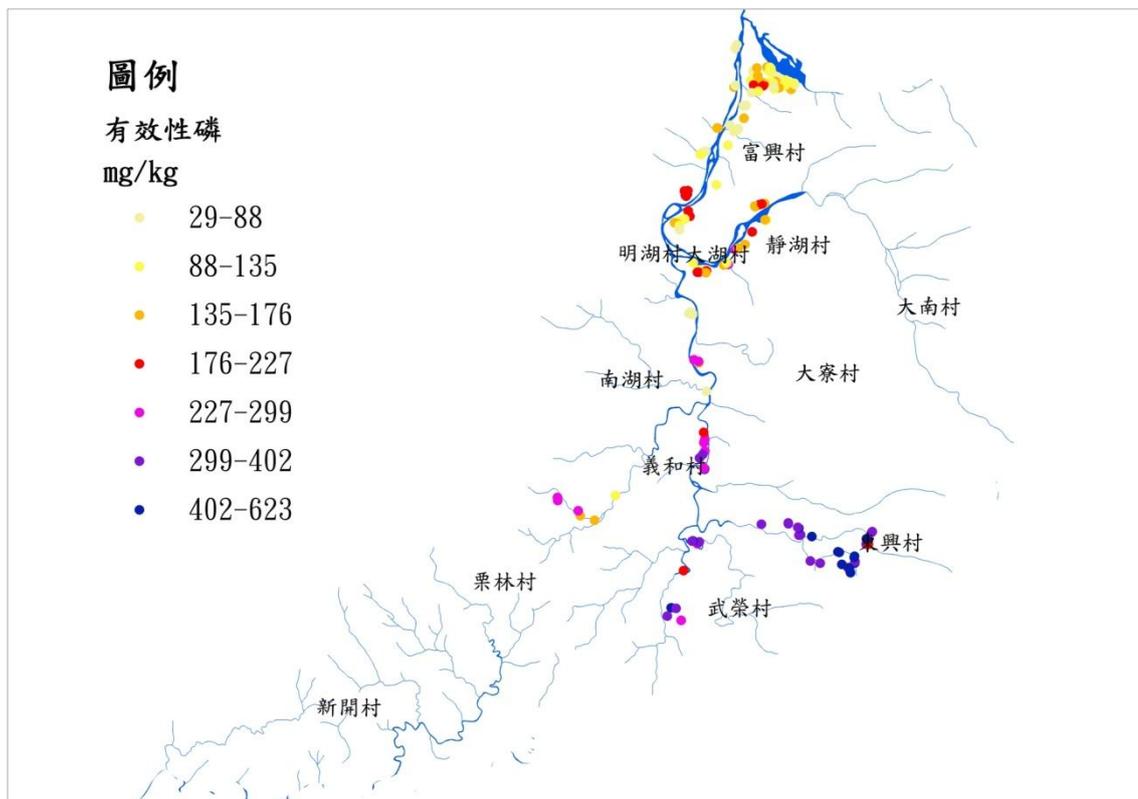
圖四、苗栗地區 6 種作物土壤 CEC 分布範圍。

表二、苗栗地區 6 種作物磷酐施用量評估

作物	施肥推薦量	農民慣用量	2012 年合理化 田間調查	
			施肥小組統計	
磷酐施用量				
-----kg ha ⁻¹ -----				
水稻(1、2 期作)	0-140	187±50	140	—
水芋	100-200	—	—	>300
草莓	150-200	235±30	210	416±329
柑橘	22.5-180	178±111	150-198	—
葡萄(夏果、冬果)	225	312±60	270	—
梨	105-180	199±67	204	—

表三、苗栗地區 6 種作物土壤之 Bray 1 磷於各種土壤性質等級下之差異

作物	等級	酸鹼度	有機質	CEC	交換性鈣
Bray 1 磷					
-----mg kg ⁻¹ -----					
水稻	低	19 a	21 a	15 b	19 a
	中低	21 a	20 a	17 b	16 a
	中高	22 a	17 a	21 ab	19 a
	高	20 a	25 a	29 a	29 a
	F 值	0.158ns	0.775ns	2.92*	2.28ns
水芋	低	35 a	35 a	29 b	32 a
	中低	44 a	36 a	41 ab	39 a
	中高	37 a	42 a	48 a	42 a
	高	42 a	47 a	42 ab	45 a
	F 值	0.943ns	1.36ns	3.13*	1.75ns
草莓	低	132 a	82 b	70 c	98 a
	中低	94 b	110 a	77 c	103 a
	中高	96 b	111 a	103 b	89 a
	高	76 b	94 ab	140 a	102 a
	F 值	8.40***	2.88*	17.9***	0.553ns
柑橘	低	292 a	72 d	99 c	172 a
	中低	168 b	137 c	123 c	175 a
	中高	113 c	207 b	172 b	165 a
	高	104 c	257 a	275 a	161 a
	F 值	64.6***	53.7***	51.3***	0.267ns
葡萄	低	289 a	142 c	138 c	206 a
	中低	212 b	199 b	186 b	211 a
	中高	187 bc	226 b	207 b	199 a
	高	156 c	270 a	304 a	222 a
	F 值	22.6***	20.3***	40.4***	0.587ns
梨	低	362 a	141 d	183 c	259 a
	中低	269 b	249 c	221 c	268 a
	中高	257 bc	294 b	288 b	260 a
	高	213 c	401 a	393 a	301 a
	F 值	12.8***	48.4***	31.6***	1.19ns



圖五、大湖草莓田土壤 Bray1 磷含量空間分布。



圖六、獅潭草莓田土壤 Bray1 磷含量空間分布。

高屏地區木瓜作物土壤有效性磷含量動態探討

張耀聰

高雄區農業改良場助理研究員

摘要

本研究探討高屏地區木瓜作物土壤有效性磷含量動態變化，在土壤有效性磷動態變化方面，各地區依栽培習慣、產期調整及土壤性質進行不同的施肥管理策略依試驗結果可知土壤有效性 P 與 O.M、K、Cu、Zn、Na 與 E.C 成極顯著正相關性。而植體 P 含量變化與 N、Ca、Mg、Mn、Fe 及 Zn 具有極顯著正相關性，而植體 P 含量變化方面依月份不同，從 3 月起植體磷含量濃度隨溫度升高變化而逐漸上升至 9 月後，植體磷含量才隨月份下降。

關鍵字：木瓜、有效性磷、土壤肥力、植體營養

前言

木瓜原名番木瓜 (*Carica papaya* Linn)，屬番木瓜科 (Caricaceae)，番木瓜屬 (*Carica*) 為淺根性植物，原產於中美洲東部低地，為半草本熱帶果樹，並早於十七世紀由西印度群島傳入亞洲，清朝末年再由中國大陸引進台灣，自西元 1907 年逐漸普遍栽培及食用 (王德男, 1995)。依據農糧署 2014 年統計資料顯示，台灣木瓜栽植總面積約 2,450 公頃，年產量約 115,779 公噸，產值接近 33.3 億元，高屏及台南為主要產區，其中高屏地區約佔總栽植面積之 40%，主要的栽培品種為台農 2 號 (Tainung No.2)，約佔木瓜總栽植面積之 90%，且網室木瓜市場拍賣價格穩定，年平均價格均維持在 30 元/公斤左右 (農糧署, 2014)。

由於木瓜為可週年供果之作物，一般幼苗田間定植約 2~3 個月後，即可開花結幼果，直至 7~8 個月後果實成熟即可採果，往後即不斷的開花結果，因此土壤需不斷的提供養分，以達到作物生長需求。而農民為求豐產，往往不惜成本施用重肥，進而造成田間土壤鹽分累積與 pH 值快速下降，反而不利於作物養分吸收與生長。三要素當中，磷肥的有效性扮演作物不斷開花之重要角色。化學肥料中以磷肥 (過磷酸鈣) 銷售單價最為便宜，因此農民普遍施用過磷酸鈣肥料進行作物磷肥養分之補充，但土壤對磷的固定能力非常強，其存在形式主要為無機磷及有機磷。一般而言，在強酸性土壤中，施入土壤之磷肥僅 5~25% 會被當季植物利用 (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。因此栽種木瓜產量高低與否，磷肥的有效性即成為木瓜果實生產之重要限制因子。

本研究探討高屏地區網室木瓜園內，土壤有效性磷含量動態變化情形，以 2011~2014 年間高屏地區木瓜重要產區內，選擇管理良好之木瓜果園進行調查監測，以了解土壤磷肥有效性之變化，藉以提供農民適當之田間施肥管理方式。

材料與方法

一、試驗地點及供試品種：

本研究土壤定期採樣地點於屏東縣新埤鄉、長治鄉、里港鄉、高樹鄉及高雄市美濃區、六龜區共 6 個地區共計 28 個田區，木瓜品種為台農 2 號木瓜並以白色 32 目網室木瓜果園為試驗地點，而每公頃栽培株數為 1600~1800 株，並以畦面敷蓋銀黑色塑膠布（厚度 0.035 mm），分為單畦單行及單畦雙行模式栽培。調查時間自 2011 年 1 月至 2014 年 12 月共計 4 年，每個木瓜田區於每月固定時間進行表土及底土採樣，並同時採取植體葉片以進行後續分析。

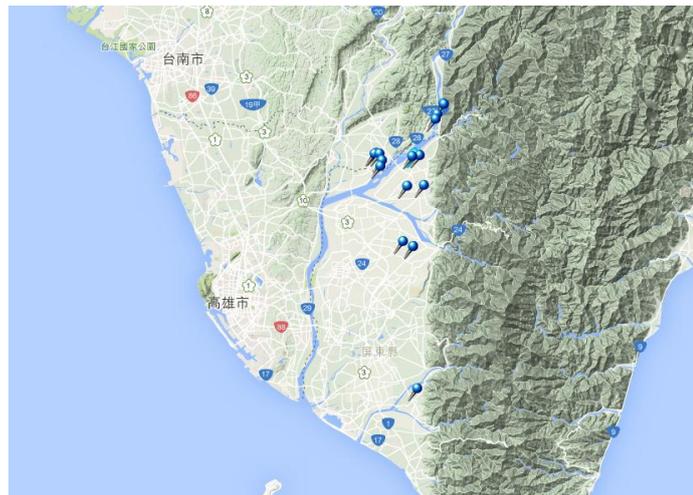


圖 1.木瓜調查田區相對位置圖

二、土壤及植體採樣：

2011~2014 年間，高屏地區木瓜土壤及植體採區域分別為：1.六龜木瓜果園共 4 個樣點 GPS 之 TM2 座標 212031/2533190；211977/2533214；211966/2533231 及 212006/2533177，主要為坪頂埔系（Ptp3A），土壤質地屬於砂質壤土。2.美濃木瓜果園共 9 個樣點 GPS 之 TM2 座標 201557/2526087；201557/2526086；201558/2526081；201558/2526053；201557/2526047；201556/2526042；201556/2526026；201556/2526020 及 201555/2526014，主要土系為下水埔-內六寮系壤質砂土至壤土（Sp-N1 2-5）。3.高樹木瓜果園共 6 個樣點 GPS 之 TM2 座標 206762/2520617；206763/2520619；206785/2520612；207515/2525660；207512/2525655 及

207507/2525650，主要土系為下水埔系砂土土層較淺少漂石相 (Sp0II△) 及下水埔系粉質壤土 (Sp4)。4.長治木瓜果園共 3 個樣點 GPS 之 TM2 座標 206051/2509492; 206047/2509490 及 206041/2509486，主要土系為雜地(ML)。5.里港木瓜果園共 3 個樣點 GPS 之 TM2 座標 202219/2524034；202184/2524016 及 202117/2523977，主要土系為下水埔系極細砂土 (Sp3)。6.新埤木瓜果園 3 個樣點 GPS 之 TM2 座標為 208191/2486163; 208196/2486092 及 208196/2486141，主要土系為雜地 (ML)。以上田區每月固定進行土壤採樣，調查土壤表、底土 (表土 0~15 cm，底土 15~30 cm) 肥力變化情形；植體採樣部分，亦為每月定期進行葉片採樣，藉以分析植體營養變化情形，以了解土壤有效磷養分動態之變化。

三、土壤及植體分析：

(一)、土壤分析

- 1.pH 值：水土比 1:1，以 pH meter 測定(Mcleanm, 1982)。
- 2.有機質含量 (以 OM 表示)：以比色法測定(Bowman et al.,1991)。
- 3.K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 及 Na 測定：以 ICP-AES 測定(Cooper, 1975; Cope and Evans, 1985)。
- 4.P 的測定：以 Bray No.1 測定(Murphy and Riley, 1962)。
- 5.電導度 (electric conductivity; 以 EC 表示)測定：水土比 1:5，以 EC meter CM-25R 儀器測定。

(二)、植體分析

葉片取回後，以自來水洗淨其灰塵及殘留藥劑，葉片置入 70°C 烘箱內，3 天後磨碎裝瓶備用。葉片養分分析先秤取樣品 0.2 克以硫酸分解後，測定各營養要素。以下列方式測定(張淑賢，1981):

- 1.N 測定:採用 Kjeldahl 法。
- 2.P 的測定:以鉬黃法(Bray No.1)測定。
- 3.K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 及 Na 測定:以感應偶合電漿原子吸收光譜儀測定。

四、統計分析

利用 Windows PASW Statistics 18 統計數據，經 ANOVA (Analysis of Variance) 測驗其顯著性，再以鄧肯氏多變域檢定法 (Duncan's Multiple Range Test) 進行處理間平均值檢定，在 $p \leq 0.05$ 時視為顯著。採用 Pearson 相關性分析，了解養分變動間之相關性。

結果與討論

一、高屏地區木瓜果園土壤有效性磷變化情形

將高屏地區 6 個鄉鎮調查之木瓜果園土壤肥力分析後，進行 Pearson 相關性分析，由表 1 結果可得知，土壤有效性 P 與 pH 值及 Mn 成極顯著負相關，並與 O.M、K、Cu、Zn、Na 與 E.C 成極顯著正相關性。農民普遍選擇禽畜糞堆肥進行土壤有機質之補充，而禽畜糞堆肥中除有了磷肥含量較高之外，Cu、Zn 及 Na 相對亦會提升，因此其與土壤中有效性磷成正相關性，此外農民種植木瓜追肥普遍施用複合肥料，因此當磷肥有效性提升時，相對複合肥料中亦增加土壤鉀肥含量。

表1. 高屏地區木瓜果園土壤肥力與磷之相關性分析

相關	pH	O.M	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	E.C
表土 P	-0.155**	0.284**	0.124**	0.063*	-0.017	0.097**	-0.154**	0.204**	0.252**	0.089**	0.101**
底土 P	-0.153**	0.135**	0.102**	0.019	-0.027	0.057*	-0.111**	0.129**	0.164**	0.086**	0.093**

* statistically significant ($p \leq 0.05$); ** statistically very significant ($p \leq 0.01$)

另外在各地區磷肥有效性含量變化方面，於高雄區域調查顯示（圖 2），六龜地區磷肥有效性平均於 1 月份施用量最高，主要六龜地區靠近山區，冬季期間氣溫相較為低，木瓜於低溫 14°C 以下幾乎停滯生長，因此農民施用較大量磷肥以提高作物根系吸收，並試圖藉由磷肥促進根系發育，使木瓜作物於冬季期間亦能生長。而美濃地區分別於 2、6、9 及 11 月間，土壤磷肥有效性較高，主要 2 月氣溫仍舊低溫增加磷肥施用，期望促進作物根系發展，另外於 6 月份，氣溫相對較高，木瓜畸形花頻率大增，相對正常果結實數量較少，農民希望開花正常而增加磷肥施用，另於 9 月期間雨季稍緩或經由颱風過後，植株部分受損，而提高磷肥施用量，另外於 11 月份木瓜多數均為授粉不良之畸形果，為求作物花性正常，而加強磷肥施用。

在屏東地區調查結果圖 2 顯示，里港地區土壤磷肥有效性主要在 4 月及 6 月份間較高，該地區木瓜多數配合產期調節，調整木瓜首批採收季節於 10 月以後，以獲得較佳之收穫單價，因此將木瓜定植於 3~4 月間，此時土壤中磷肥有效性較高，主要為基肥中施用大量過磷酸鈣所致，而 6 月份磷肥有效性較高原因同美濃地區原因。長治地區主要木瓜果園均為雜地（ML），土壤保肥能力較差，因此施肥頻率為 2 個月施用一次，但於 6~8 月期間，主要受到雨季影響，農民鮮少施肥於地表，因此可明顯觀察磷肥有效性，則逐月下降，直至 9 月份後，雨季稍停，農民再次進行土壤肥力補充，因此土壤磷肥有效性再次回升。高樹地區農民於 3 月份亦進行木瓜產期調節，進行木瓜幼苗定植，因此過磷酸鈣肥料大量施用於基肥階段，致使土壤中磷肥有效性較

高，並普遍於 6 月份再次補充肥料，藉以降低作物夏季畸形花之發生，並提供正常花授粉結果。而新埤地區主要木瓜栽培區域亦為雜地，此區域土壤磷肥有效性相對變化幅度較小，主要於 9 月及 11 月進行雨季後補充及減緩授粉不良果實發生。

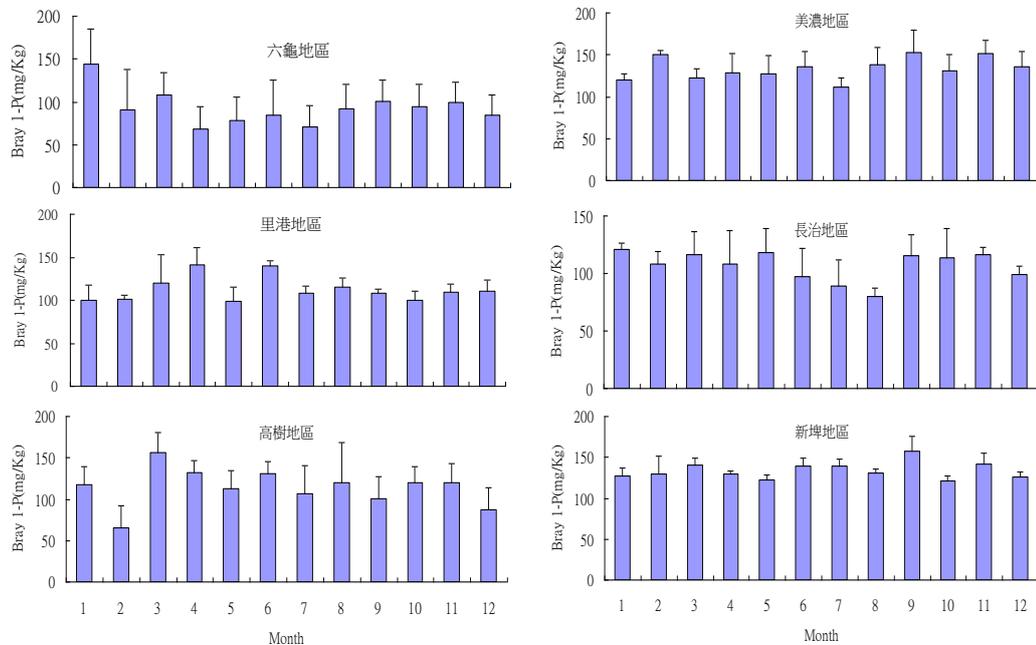


圖 2.高屏地區不同鄉鎮木瓜果園表土有效性磷變化情形

二、高屏地區不同木瓜果園植體磷含量變化情形

經由各地區木瓜植體分析統計後，進行 Pearson 相關相關性分析，由表 2 結果可得知，植體 P 含量與 N、Ca、Mg、Mn、Fe 及 Zn 具有極顯著正相關性，顯示植體 P 濃度含量越高，N、Ca、Mg、Mn、Fe 及 Zn 的含量亦相對增加。

在各地區木瓜植體磷含量變化方面，於高雄區域分析結果顯示（圖 3），六龜地區植體磷含量於 3 月份濃度最低，8 月份濃度最高。而美濃地區則於 6 月間，植體磷含量最高，其主因氣溫較高，多數農民增加葉面磷肥施用，以提升木瓜花性正常，並藉以提升植體後續植株正常開花。此外屏東地區的里港木瓜植體養分分析，亦出現 6 月份有最高之磷養分含量，其次於 10 月份植體磷含量相較為高，主要為雨季過後農民為提高木瓜著果，增加葉部磷肥施用所致。長治地區木瓜植體磷肥含量變化，則於 5 月份開始氣溫升高而逐漸提升，至 9 月份後則逐漸下降，當氣溫升高時植體對 N 的吸收能力增加，並由表 2 可知，植體 N 與 P 的濃度成正相關性，因此氣溫升高對於 N 與 P 的養分吸收成正比。另外在高樹地區亦有相同的趨勢，植體 P 養分濃度於 4 月份起明顯隨溫度升高至 9 月份開始下降，此植體養分磷肥濃度趨勢與長治地區

相近，此外在新埤地區之木瓜直提磷肥養分濃度亦有相同趨勢，在 5 月份植體磷養分濃度隨氣溫而逐漸升高至 9 月份後則逐漸下降。此外，當土壤溫度達 30°C 左右，土壤中的硝化細菌將開始活躍，有利於有機物的分解，因而使土壤中氮素釋出（古明宣，2007），利於木瓜對於氮素養分之吸收，尤其在 7~10 月間，土壤溫度常有高過 30°C 以上，因此植體氮素養分濃度吸收較佳也相對提升植體磷含量濃度。

表 2.高屏地區不同木瓜果園植體養分間相關性分析

相 關	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Na
N	1.00									
P	0.72**	1.00								
K	-0.05	-0.04	1.00							
Ca	0.93**	0.68**	-0.06	1.00						
Mg	0.71**	0.54**	-0.06	0.72**	1.00					
Mn	0.42**	0.36**	-0.04	0.37**	0.35**	1.00				
Fe	0.82**	0.54**	-0.09	0.84**	0.64**	0.49**	1.00			
Cu	-0.01	0.19*	0.01	-0.04	0.18*	-0.10	-0.04	1.00		
Zn	0.60**	0.57**	-0.04	0.55**	0.40**	0.52**	0.63**	0.24**	1.00	
Na	0.19*	0.11	-0.08	0.20*	0.22**	0.14	0.20*	0.07	0.15	1.00

* statistically significant ($p \leq 0.05$); ** statistically very significant ($p \leq 0.01$)

就作物生長而言，土壤養分的有效性對作物植體營養吸收具有相當複雜的關連性，因為所有作物的生化反應都與營養有關，因此也可視為直接反應，而土壤肥力有效性的改變，將影響作物植株高度、乾物重、葉片數、生長速率和花、果形成之生長發育及許多生理機能（Cooper, 1975）。由本研究觀察得知，木瓜果園內土壤磷肥有效性，隨著不同地區農民生產管理模式之改變，將有所不同，並也影響到植體內磷含量之變動性，但亦可從本試驗中發現（圖 4），高屏地區木瓜植體磷養分濃度變化，在 6 月份農民普遍預防畸形花大量產生，因此加強了磷肥之施用使的植體養分磷含量的提升，此外從圖 4 亦可發現，木瓜植體磷含量，從 3 月份起隨氣溫升高至 9 月份後才有逐漸下降趨勢，約可初步了解植體磷養分濃度變化趨勢。亦可藉由圖 4 了解高屏地區木瓜植體磷養分濃度變動情形，以利後續試驗參考應用。

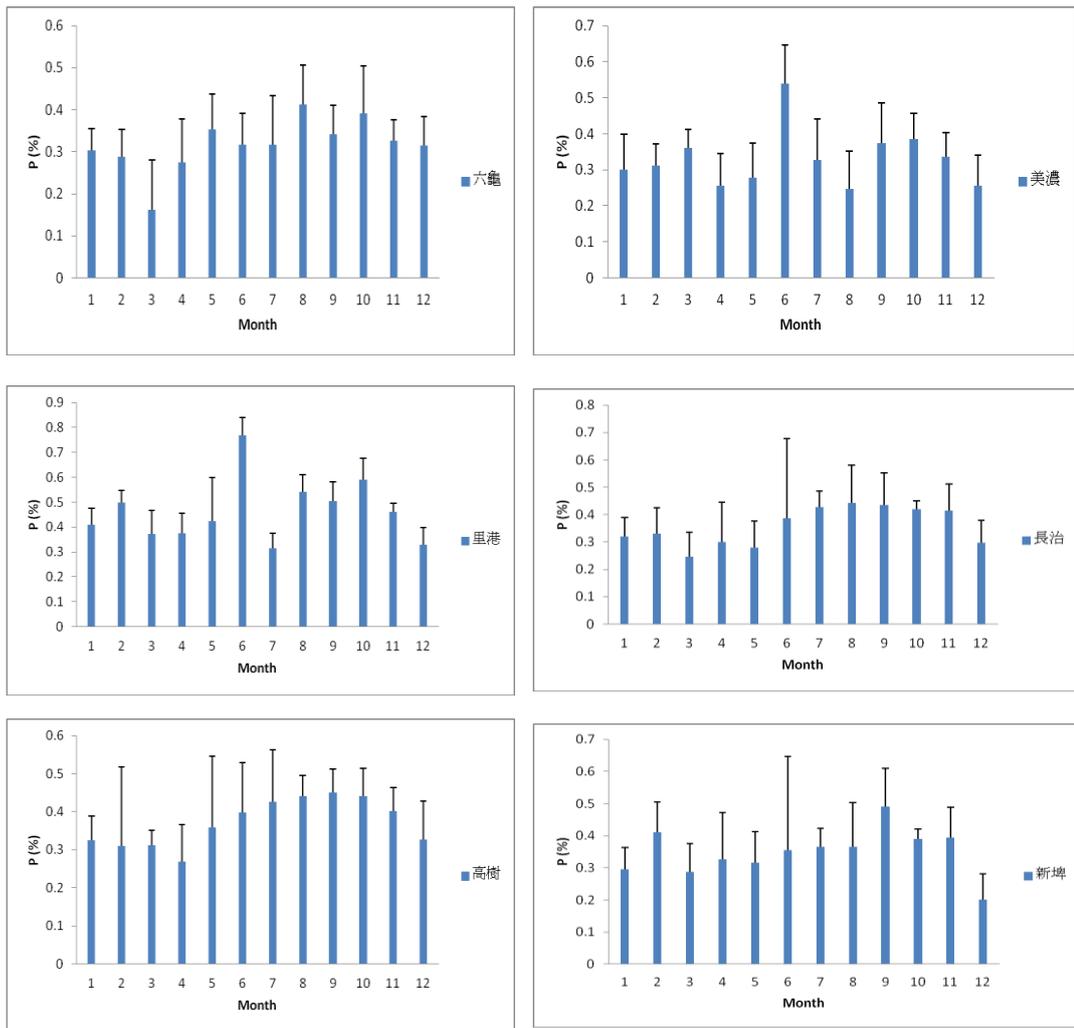


圖 3、高屏地區不同鄉鎮木瓜植體磷含量變化情形

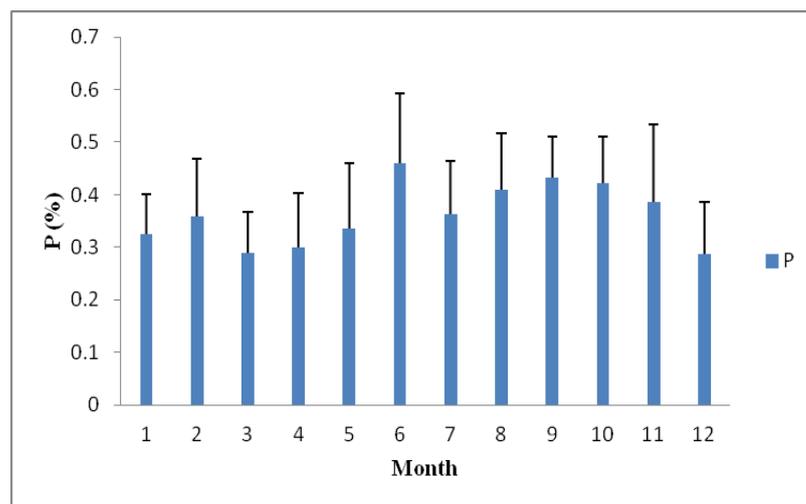


圖 4、高屏地區木瓜植體磷含量變化情形

結論

本研究探討高屏地區木瓜作物土壤有效性磷含量動態變化，在土壤有效性磷動態變化方面，各地區依栽培習慣、產期調整及土壤性質進行不同的施肥管理策略依試驗結果可知土壤有效性 P 與 O.M、K、Cu、Zn、Na 與 E.C 成極顯著正相關性。而植體 P 含量變化與 N、Ca、Mg、Mn、Fe 及 Zn 具有極顯著正相關性，而植體 P 含量變化方面依月份不同，一般於 3 月起隨溫度升高變化而逐漸上升至 9 月後，植體磷含量則隨月份下降。

參考文獻

- 王德男. 1995. 番木瓜. 農家要覽. p.109-116. 農委會/豐年社.
- 古明萱. 2007. 作物田間技術. 農業推廣手冊40. 國立屏東科技大學農業推廣委員會.
- 行政院農業委員會. 2014. 103年農業統計年報. 台北.台灣.
- 張明聰. 1996. 台灣熱帶地區木瓜產業經營及展望. 台灣熱帶地區果樹經營管理研討會專刊. p.357-371.
- 張淑賢. 1981. 本省現行植物分析法.作物需肥診斷技術. 台灣省農業試驗所特刊13號. p.53-59.
- 郭魁士. 1997. 土壤學 (修訂八版). 中國書局印行. p.801.
- Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley and Sons, New York. 547pp.
- Bowman, R. A., W. D. Guenzi, and D. J. Savory 1991. Spectroscopic method for estimation of soil organic matter. Soil Science Society of American Journal 55(2): 563-566.
- Cooper, A. J. 1975. Root temperature and plant growth. C. A. B. Research Review NO. 4
- Cope, J. T. and C. E. Evans. 1985. Soil testing. Advances in Soil Sci.1:201-228.
- Flore, J. A. and A. N. Lakso. 1989. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. Hort. Rev. 11:111-157.
- Mclean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In Page et al., (eds) Methods of Soil Analysis, Part 2(2nd ed.). p.199-224.
- Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27:31-36.
- Naksone, H. Y. and R. E. Paull. 1998. Papaya. In: H. Y. and R. E. Paull. Edit. Tropical Fruits. CAB INTERNATIONAL Press, Wallingford. UK. pp. 239-269.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommer. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page et al., (eds) "Methods of Soil Analysis", Part 2 (2nd ed.)

pp.383-411.

Tisdale, S. L., W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. p.189–248. Macmillan Pub. New York.

Poovaiah, B. W., G.M. Glenn and A. S. N. Reddy. 1988. Calcium and fruit softening: Physiology and biochemistry. *Hort. Rev.* 10:107-152.

Spies, B. and P. Woodgate. 2004. *Salinity Mapping Methods in the Australian Context*. Technical Report, Results of a review facilitated by the Academy of Science and the Academy of Technological Science & Engineering. p.146.

Starck, Z., A. Siwec and D. Chotuj. 1994. Distribution of calcium in tomato plants in response to heat stress and plant growth regulators. *Plant and Soil*. 167:143-148.

**Soil available phosphorus dynamics of Papaya (*Carica papaya*
L.cv. Tainung No.2) in Kaohsiung and Pingtung**

Yao-Tsung Chang

Abstract

The research focused on the soil available phosphorus dynamics of papaya in Kaohsiung and Pingtung. People from different districts apply different fertilization management strategy. According to the result, the soil available phosphorus level is positively related to K, Cu, Zn, Na, O.M and E.C, and plant phosphorus level is positively related to N, Ca, Mg, Mn, Fe and Zn. The plant phosphorus concentration changes with month. It increased from March to September, and then decreased with temperature.

Key words: Papaya, Soil phosphorus, Soil fertilization, Plant nutrient

Assistant Researcher, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA.

微生物肥料在香瓜生育之應用研究

黃瑞彰^{1,*}、彭瑞菊¹、黃圓滿¹、黃秀雯²、林國詞²、鄭安秀³

行政院農業委員會臺南區農業改良場 副研究員¹

行政院農業委員會臺南區農業改良場 助理研究員²

行政院農業委員會臺南區農業改良場 研究員兼課長³

*E-mail: jchuang@mail.tndais.gov.tw

摘要

本試驗瞭解接種菌根菌對香瓜感染及苗期生育健化情形，香瓜穴盤菌根苗之田間栽培試驗，首先藉由採土樣分析土壤肥力及檢測根瘤線蟲密度，以確保土壤性狀適合栽培香瓜，並根據分析結果改善及調整施肥量。香瓜採用設施直立式栽培，施用適當肥料為基肥後整地作畦，種植時選用適合瓜類之栽培介質，並於示範區介質中拌入菌根菌，生育期間示範區進行溶磷菌處理，以強壯植株根系，幫助磷肥的吸收。試驗結果顯示示範區透過接種微生物肥料處理，可促進養分吸收，降低鈉離子吸收，與對照組比較，總產量增加 25~43%，糖度無差異，顯示接種菌根菌可提升香瓜之耐鹽性。同時示範區與對照區比較，根瘤線蟲數每 100 克土壤，減少 48~118 隻，降低黑點根腐病發生，每分地增進 48,990~63,020 收入。

關鍵詞：生物性肥料，菌根菌，溶磷菌，香瓜，土傳性病害

前言

自然界中存在豐富之微生物資源，常將此種資源，利用在農作物生產，如將有益微生物接種在種子或施用在幼苗、土壤上，可增加植物營養要素之供應、提高土壤中養分之有效性、增進根系之生長與養分之吸收、保護根系及增進抗逆境能力等，均可稱之為「微生物肥料」應用（王和黃，1994；楊，1990）。

土壤微生物是自然界中推動各種元素循環之最基層的生物。近年來，隨著生物技術的崛起，土壤微生物所扮演的角色日趨重要，目前國內已研發應用推廣之微生物肥料有根瘤菌、溶磷菌及叢枝菌根菌等，根據試驗調查，豆類接種根瘤菌或瓜類作物育苗接種菌根菌之微生物肥料，皆可提高土壤營養分之供應及有效性，替代部份化學肥料，非但可節省肥料投入之成本，提高單位面積產量，增加農民收益，且可充分運用微生物資源，減緩農業生產對自然生態平衡及環境之衝擊（黃和林，2009；楊，1990）。

台灣地區高經濟果樹如木瓜、鳳梨與蓮霧及蔬果作物如胡瓜、苦瓜、西

瓜、洋香瓜、番茄與甜椒等，均為高磷肥需求之作物，一般農民栽植慣用大量的化學肥料，磷肥大部分因被土壤固定結合或流失，不但栽培成本提高，亦可能造成地下水污染，若能利用菌根菌及溶磷菌等微生物肥料，可促進幼苗與植株之生長，提高移植成活率，減少肥料用量，增進作物之產量品質，達到合理化施肥之目標（黃等，2009）。

叢枝菌根菌(arbuscular mycorrhizal fungi, A M F) 屬於接合菌綱 (Zygomycetes)、繡球菌目(Glomales)，是一種存在土壤中能與90%陸地植物根部形成共生關係的有益真菌（Smith and Read，1997）。叢枝菌根菌能促進作物生長與增加產量，可視為是一種生物性肥料（Azcon a n d El-Atrash，1997；黃等，2010，2011），尤其在一些逆境環境下菌根效果更為明顯（Al-karaki，2001；Nzanza *et al.*，2012）。

香瓜(Cucumis melo var. makuwa Makino)又名東方甜瓜、薄皮甜瓜，為甜瓜 (melon) 之一種。依據農業統計年報調查資料顯示，香瓜近 3 年全臺栽培面積約為 2,000 公頃，香瓜在臺南區農業改良場轄區佔總栽培面積 44.8 %，近年來香瓜栽培技術不斷改進，使得果實品質大幅提昇，導致香瓜價格攀高，栽培面積也日益增加。但是香瓜生產過程也出現不少問題。就土壤方面而言為栽培地長年連作，使得連作障礙相當嚴重，影響植株正常發育。此外病蟲危害也較為嚴重，尤其黑點根腐病 (*Monosporacus cannonballus*) 與根瘤線蟲(*Medoidogyne incognita*)常造成植株提早萎凋，影響果實品質。本計畫擬探討香瓜合理肥培管理技術與微生物肥料使用，對香瓜土傳性真菌病害抗病性與降低生理病害發生的評估，以降低肥料及農藥的施用，達到健康台灣、優質農業的目標。

材料與方法

一、試驗地點：嘉義縣太保市楊萬福及水上鄉呂世能示範田區

二、供試美濃瓜品種：嘉玉品種，楊萬福示範田區 101 年 7 月 3 日育苗，7 月 16 日定植，呂世能示範田區 102 年 4 月 15 日育苗，4 月 29 日定植。

三、試驗處理：

(一) 接種菌根菌對香瓜育苗之影響

取美濃瓜種子播種於 104 格 (3×3×4 cm³) 穴盤中，育苗介質為 Favorit: 蛭石 (v/v;1:1)；叢枝菌種為 *Glomus mosseae* 菌種，不接種為對照組。每穴處理接種量為 2 g 孢子土 (約100 spores /g)，混合於介質，育苗二週後，每處理取 5 株苗檢測感染率。

(二) 微生物肥料對香瓜生育田間栽培試驗

種植前先行採取土壤分析，進行施肥量調整，香瓜施肥量依據作物施肥手冊，施肥量（公斤/公頃）：氮 150-180，磷酐 90-120，氧化鉀 100-150。種植前先行採取土壤分析，進行施肥量調整，惟兩田區土壤導電度高，且鈉含量偏高，進行鹽分逆境生長試驗。示範區苗為菌根苗，且於生育期灌注溶磷菌（*Bacillus spp.*）2 次，每次 200 ml（ 10^8 CFU/ml 以上）；對照區為無微生物肥料處理，調查項目包括植株生長勢及果實產量與品質分析。

表一、香瓜試驗土壤成分

Table 1. Impact of orient melon inoculated with AMF on soil content.

處理	EC (dS/m) (1:5)	pH (1:5)	OM (g kg^{-1})	Bray-1 P (mg kg^{-1})	Ex-K (mg kg^{-1})	Ex-Ca (mg kg^{-1})	Ex-Mg (mg kg^{-1})	Ex-Na (mg kg^{-1})
太保 試區	1.14	6.49	1.9	135	123	3,058	521	391
水上 試區	1.51	7.48	3.10	244	382	3,462	528	348

(三) 分析方法

1. 土壤分析導電度(EC)、pH、有機質含量及N、P、K、Ca及Mg測定：

土壤導電度以土：水=1：5作成懸浮體，過濾後，以導電度計(US597型)測定。pH值以土：水=1：5，平衡一小時後以玻璃電極法測定。有機質以總有機碳分析儀(TOC)測定。土壤磷以Bray No.1抽出，鉀、鈣及鎂以Mehlich No. 3抽出後用感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP)測定。

2. 植體分析：植體分析方法(Miller, 1998)

植體經 70 °C 烘乾 48 hr。以磨碎機（榮聰牌 RT-04，1200 W，25,000 RPM）將樣品磨碎，養分總量分析，氮為烘乾粉碎後直接以元素分析儀 (Elementar vario EL III) 進行測定，磷、鉀、鈣、鎂為取烘乾植體經濕式分解後，磷以鉬藍法測定，鉀、鈣、鎂及鈉以感應電漿水譜儀 (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrophotometer, ICP; JY ULTIMA 2) 測定之並以標準溶液校正。

3. 菌根感染率檢測

香瓜菌根苗根洗淨以 2.5 % (w/v) KOH軟化，再以 0.05 % 酸性品紅 (fuchsin) 進行染色。染色後再以格子線法求其感染率（吳和林，1998）。

4. 榨汁率與糖度檢測

取約 300 g 重果肉，榨汁後，果汁如為 260 g，則榨汁率(%)= $260/300 \times 100 = 86.67\%$ ，糖度的檢測：取汁液滴入以手持式糖度計（廠牌：Master，日本製）直接檢測。

5. 香瓜土傳性病害調查。

- (1) 線蟲蟲口數調查：將根圈土壤樣品，經充分攪拌拌勻後，依改良柏門氏漏斗分離法 (Modified Baermann funnel method)，土壤樣品秤取 100 g，置於有衛生紙的 60 孔目的篩網上，再將篩網置放於直徑 14 cm 的小漏斗中，下接一橡皮管，橡皮管末端接指形管，加水至水稍蓋滿土壤，靜置清水中 24 小時後，收集下方指形管中的線蟲懸浮液，倒入培養皿檢測根瘤線蟲二齡幼蟲蟲口數（黃等，1972）。
- (2) 黑點根腐病調查：將田間疑似罹病株，採取根部帶回實驗室，以蒸餾水洗淨，以解剖顯微鏡鏡檢，計算罹病率。

結果與討論

一、接種菌根菌對香瓜育苗之影響

香瓜根系菌根菌的感染率介於 63.8~72.9 % (表四及五)，菌根香瓜苗均有較佳生長勢 (圖 1)。甜瓜菌根苗移植後更加旺盛，建議累積更多苗乾物質，使它們更耐移植。亦建議苗乾物質增加 1%，增加生根 30%；建議菌根增加植物根重量與營養吸收和更好移植後的效應是正相關，表示更大植物的生長。許多學者指出菌根植物增加 RDW/SDW 的比例，表現出這些真菌高度的效率。這表明菌根苗一個更好的逆境指標值和支持移植的更好條件，因為他們提供植物株高與莖粗之間更好的平衡 (Santander and Olave, 2012)。



圖 1. 接種菌根菌可促進洋香瓜幼苗生長(左)

Fig. 1. The inoculation of AMF with orient melon improves seedlings growth.

二、微生物肥料對香瓜生育田間栽培試驗

菌根菌可從根毛侵入根部，並將菌絲伸出根外，菌絲可分解土壤中的有機物，並吸收無機養分、低分子有機物和水，促進生長，提昇移植存活率，增加產量與品質（楊，1990；吳和林1998；Nzanza et al.,2012）。香瓜栽培已經在台南及高雄地區應用菌根菌接種，獲得良好成效（程等，1993；2001；楊，2004；黃等，2009b），菌根植株能促進根群發育，增加根部對磷肥等要素之吸收能力，促進植株生長，與對照比較可提早七天開花結果與採收，並提高果品品質。

甜瓜幼苗接種處理菌根 *G. intraradices* 產生光合產物移動下降，菌根真菌產生一個光合產物向根部的基性移動。此移動過程中主要產生由真菌和植物之間的營養交換，真菌菌絲增加根系有效性，並提供植物根外的營養物質，植物傳送碳水化合物向根，提供真菌成長和發育的基質。菌根的根系越大，真菌基質的需求更大，產生更大的光合產物移動（Christian and Olave, 2012），此可能為接種菌根菌果實之甜度並無提升原因。

兩試區土壤分析結果顯示土壤導電度偏高，且交換性鈉含量亦較高。調查接種菌根菌對香瓜生長與果實產量品質之影響，顯示太保試區葉片除鉀濃度接菌植株較高外，氮、磷與鈣濃度則無差異，鎂濃度則接菌植株較低，水上試區接菌植株葉片有較高鉀與鈣濃度，氮、磷與鎂濃度則無差異，兩試區接菌植株較低接菌植株葉片鈉離子濃度降低，表示接菌處理可降低鈉離子吸收(表二)，可促進香瓜生長勢(表三)；接菌處理有較佳產量，提昇 25~43 %，果汁率與糖度則無顯著差異(表四)，顯示接種菌根菌可提升香瓜之耐鹽性。

上述兩試區葉片營養元素濃度雖沒有顯著差異，可能為香瓜接種菌根菌生長勢明顯增加，導致葉片養分稀釋作用，濃度分析沒有明顯差異。另從土壤分析資料顯示水上試區土壤導電度(EC)較高，但卻有較高產量，是否[因有機質含量高，可增加土壤緩衝性，降低高導電度影響，有待進一步研究。

叢枝菌根菌是植物健康和植物生長中最有效根圈的構成要素。菌根真菌是一種植物根系和一些真菌以連續的方式相互共生的生活，已被確定這種共生的增加植物對環境逆境和栽培逆境因素等的抗性，瓜類接種菌根菌有一些大量與微量元素比未接種高（Sensoy et al., 2013）。在本研究中，香瓜接種菌根菌鉀濃度亦同樣有改善效果。總之，菌根菌可以促進甜瓜生長勢，提昇果實產量。

表二、微生物肥料對香瓜葉片元素濃度之影響

Table 2. Leaves mineral elements concentration of orient melon plants inoculated with biofertilizer.

處理		N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Na (g kg ⁻¹)
太保	對照區	22 a	2.8 a	20 b	69 a	15 a	1.48 a
試區	示範區	22 a	3.0 a	29 a	70 a	14 b	0.63 b
水上	對照區	20 a	1.7 a	30 b	60 b	17 a	1.33 a
試區	示範區	22 a	1.7 a	40 a	69 a	18 a	0.54 b

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

表三、香瓜接種微生物肥料定植四週後植株生長情形

Table 3. Lists growth conditions and infection rates of orient melon plants inoculated with biofertilizer over 4 weeks.

處理		AMF colonization Rate (%)	Plant height (cm)	Number of leaves
太保試區	對照區	nd b	112 b	19 b
	示範區	63.8 a	137 a	22 a
水上試區	對照區	0 b	148 b	24 a
	示範區	72.9 a	159 a	25 a

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

表四、接種微生物肥料對香瓜產量與品質影響

Table 4. Impact of biofertilizer inoculation on orient melons yield and quality.

處理		Yields (kg/0.1ha)	Juice extraction ratios (%)	Total soluble solids (°Brix)
太保試區	對照區	832 b	82.2 a	13.2 a
	示範區	1,194 a	82.9 a	13.3 a
水上試區	對照區	1,180 b	81.5 a	14.9 a
	示範區	1,474 a	82.3 a	15.1 a

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

三、香瓜土傳性病害調查

Hussey 與 Roncadori (1977) 報告內生菌根植株受根腐線蟲 (*Pratylenchus brachyurus*) 為害亦較非內生菌根植株輕微，然而線蟲之繁殖不因接種囊叢枝內生菌根菌而受影響。

程等 (2001) 表示線蟲阻礙根群發育與植株生長，但是囊叢枝內生菌根菌不影響根瘤線蟲之發育與根瘤之形成，惟當根部感染囊叢枝內生菌根菌形成囊叢枝內生菌根 (Vesicular-arbuscular mycorrhizae) 時，這一部位的根段，就可減少根瘤線蟲侵害機會。由組織透化及切片觀察，形成菌根的部位從未發現根瘤線蟲侵入，其對根瘤線蟲具有相剋之現象，可能是由於感染點 (Infection site) 之先行佔據，而減少根瘤線蟲侵入機會。又因菌根植物根群發育比非菌根植株茂盛，有補償被線蟲為害之根部，維持較多正常有功能之根部，幫助植物吸收營養，減少線蟲所造成之傷害。

菌根植物較耐病害，其耐病的生理機制是由於可增進植物對磷肥之吸收，產生酵素、生長素、細胞分裂素和維生素等，促進根系生長，增加宿主植物對病害之承受力。其原因亦可由物理、化學與生物三個觀點來討論，以物理性而言，菌根菌絲生長蔓延於根內細胞、細胞間隙及根外，對於外來線蟲或病原菌而言，是很好之屏障。菌根一般較非菌根木質化，尤其中柱組織更明顯，可將病菌限制於皮層組織。故有報導指出，菌根可阻止 *Fusarium oxysporum* 侵害番茄維管束。以化學性觀點而言，菌根之細胞常受菌根菌影響產生或分泌某些化學物質如精氨酸，該類物質如同植物殺菌素，可減少 *Thielaviopsis basicola* 厚膜孢子 (chlamydospore) 之產生，幫助植物抵禦外來病原 (王，2007)。

本試驗接種微生物處理導致植株根圍附近線蟲蟲口數降低(表五),是否因接菌減少線蟲侵入為害阻斷其食物來源,有待進一步研究。

試驗亦顯示接種微生物處理降低香瓜黑點根腐病發生率(表六、圖2與3),由此結果表示香瓜接種微生物肥料,可促進植物生長勢,降低土傳性病害發生。

表五. 香瓜接種微生物肥料對線蟲二齡幼蟲蟲口數影響

Table 5. Nematode number of orient melon plants inoculated with biofertilizer.

處理	Root-knot nematode	
	1 (numbers/100 g soils)	Root-knot nematode 2 (numbers/100 g soils)
對照區	162 a	68 a
示範區	44 b	20 b

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

表六、接種微生物肥料於田間防治香瓜黑點根腐病(水上試區)

Table 6. Root rot of orient melon plants inoculated with biofertilizers.

處理	罹病株率 (%)		
	6月13日	6月20日	6月26日
對照區	0.23	8.30	20.3
示範區	0.15	1.30	4.70



圖 2. 示範區植株生長狀況

Fig. 2. Growth conditions of orient melon plants inoculated with biofertilizer



圖 3. 對照區植株生長狀況

Fig. 3. Growth conditions of orient melon plants non-inoculated with biofertilizer

四、叢枝菌根菌應用效益評估

建立優質的棲地環境、營造最佳生長環境為生產優質農產品必備的要素，而依耕地狀況建立耕作模式，可降低土壤侵蝕作用與肥料流失。台南區農業改良場配合推動健康管理工工作，加強微生物肥料之推廣使用，其成效已於作物生產中獲得驗證。因此，如能依土壤特性調整施肥料，並適當利用廉價自然資源培育土壤中有益微生物，對維護土壤肥力，替代部分化學肥料，舒減化學肥料不當使用對環境之衝擊，將有助於農業永續發展。本試驗結果顯示接種菌根菌可增加香瓜每分地 48,990 ~63,020 元收入 (表七)。

表七、接種微生物肥料對香瓜生產成本分析

Table 7. Impact of biofertilizer inoculation on orient melons production costs.

處理		菌根菌 (元/0.1ha)	溶磷菌 (元/0.1ha)	產量 (kg/0.1ha)	收入 (元/0.1ha)
太保 試區	對照區	0	0	1,180	123,519
	示範區	2,000	1,600	1,474	177,100

水上 試區	對照區	0	0	1,180	271,400
	示範區	2,000	1,600	1,474	339,020
微生物肥料效益 (元/0.1ha)		備註：每公斤平均單價 230 元 太保試區 對照區：230×537=123,510 元 示範區：230×770=177,100 元 水上試區 對照區：230×1,180=271,400 元 示範區：230×147,4=339,020 元 示範區使用菌根菌 4 公斤×500 元=2,000 元；溶磷菌 4 公 斤×400 元=1,600 元，灌注工資 1,000 元，生物肥料共使 用 4,600 元 接菌每分地效益 177,100－123,510－4,600=48,990 元(太保試區) 339,020－271,400－4,600=63,020 元(水上試區)			

結論

設施甜瓜合理化施肥是依照土壤條件、植株生育情形及肥料特性實施，可節省肥料用量，提高肥料利用效率，而提升農產品質，並且避免過量施肥所造成土壤酸化、鹽化及水源環境污染等問題。示範田區是根據臺南區農業改良場土壤檢驗分析結果，推薦施肥量，進行施肥管理，並配合微生物肥料（菌根菌與溶磷菌）使用，資料結果顯示可促進植株磷、鉀肥吸收，提昇耐逆境能力，提昇果實產量與品質。

許多學者指出叢枝菌根菌可提高寄主植物鹽忍受性，促進生長，本試驗結果亦有類似情形，結果顯示促進植株生長；進行產量調查，資料顯示示範區產量明顯高於對照區，提昇果實品質，亦可降低土傳性病害發生，增加農友收益。

誌 謝

感謝嘉義縣太保市場萬福與水上鄉呂世能兩位班長協助田間管理與研究助理施惠淇小姐協助試驗記錄工作，及土壤肥料與植物保護研究室同仁協助各項檢測分析，使得本試驗得以圓滿執行完成。

參考文獻

- 1.王均琍 2007 菌根菌應用於經濟果樹之栽培 農業生技產業季刊 12:43-48。
- 2.古德業、黃伯恩 1994 生物肥料在永續農業上之應用及展望 微生物肥料之開發與利用研討會專刊 pp.1-4 台灣省農業試驗所嘉義分所
- 3.吳繼光、林素楨 1998 囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊 台灣省農業試驗所 pp.54。
- 4.莊明富、程永雄 1999 泥炭苔對叢枝菌根菌繁殖之影響。中華農學研究。48(4)：64~70.
- 5.程永雄、杜金池、鄭安秀、陳紹崇 1991 內生菌根菌在洋香瓜栽培上之應用台灣農業 27:53-55。
- 6.程永雄、莊明富、蔡東纂 2001 洋香瓜囊叢枝內生菌根菌與根瘤線蟲之互關係 植物病理學會刊 10：19-26。
- 7.黃瑞彰、林晉卿 2009 微生物在蔬果生產之應用 生物科技產學論壇—生物製劑專刊 國立中興大學生物科技發展中心編印 pp.17-24。
- 8.黃瑞彰、林晉卿、江汶錦、林經偉、卓家榮 2009 微生物在瓜果類作物生產之應用 台南區農業專訊 70：13-17。
- 9.黃瑞彰、林晉卿、陳紹崇 2010 內生菌根菌在洋香瓜生產之應用研究 臺南區農業改良場研究彙報 55：44-52。
- 10.黃瑞彰 江汶錦 林經偉 卓家榮 2011 菌根菌的特性及田間應用技術 臺南區農業專訊 75：14-19。
- 11.黃炤雄、蔡雲鵬、林奕耀、杜金池、黃修斌 1972 臺灣植物寄生線蟲 中研院植物研究所專刊第一號 p. 61。
- 12.楊秋忠 1990 微生物肥料的種類及其應用品質 農藥世界 81：33-35。
- 13.鄭安秀、黃圓滿、黃瑞彰、陳昇寬、彭瑞菊 2009 洋香瓜安全生產管理 台南區農業改良場技術專刊 98-3(NO.137) pp.25。
- 14.Al-Karaki, G. N, R. Hammad, and M. Rusan. 2001. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress.Mycorrhiza 11：43-47.
15. Christian S.* and J. Olave. 2012. Effect of symbiosis in the production of melon seedlings with arbuscular mycorrhizal fungi. IDESIA (Chile) Mayo-Agosto 30(2): 75-83
16. Hussey, R. S., and Roncadori, R. W. 1977 Interactions of *Pratylenchus*

- brachyurus* and an endomycorrhizal fungus on cotton. J. Nematol. 9 : 270-271
17. Nzanza, B., Marais, D., Soundy, P., 2012. Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to nursery inoculation with *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Acta. Agr. Scand. B-S P. 62, 209–215.
 18. Sensoy, S., Bicer, S. and Unsal, H. 2013. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Affect Seedling Growth of Melon Hybrid Cultivars. International Journal Agriculture & Biology. 15 (2):392-394
 19. Smith, S.E. and D.J.Read.1997.Mycorrhizal symbiosis,2nd ed.London,Uk:Acadeemic Press.pp.605.Smith, G. S. and R. W. Roncadori. 1986 Responses of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi at four soil temperatures and their effects on cotton growth. NewPhytol. 104 : 89-95.

Research on application of biofertilizers to the growth of orient melons

Jui-Chang Huang¹., J. C. Peng¹., Y. M Huang¹., H. W. Huang²., G. C. Lin³ and A. X. Zheng³

Associate Horticulturist, Tainan DARES., COA., Executive Yuan¹

Assistant Horticulturist, Tainan DARES., COA., Executive Yuan²

Researcher and Head of Division of Crop Environment, Tainan DARE ., COA.,

Executive Yuan³

*E-mail: jchuang@mail.tndais.gov.tw

Abstract

The purpose of the plan this year was to develop the practices of rational use of fertilizers for oriental melon cultivated in plastic greenhouse and evaluate the effective of biofertilizers on oriental melon. Cantaloupe facilities of vertical cultivation, application of appropriate fertilizer as a starter after the entire bedding, grow selection suitable for cultivation of melons media and inoculated with mycorrhiza in demonstration area, phosphate solubilizing bacteria treatment demonstration zone for growing period, with strong root and promote the absorption of phosphate fertilizer. Demonstration areas through inoculation can promote nutrient absorption, reduced sodium ion uptake, compared with the control group, yields increased 25~43%, total soluble solids not difference. If the plants were inoculated, Na⁺ concentration was decreased, It means that inoculated may disturb absorption of Na⁺. Demonstration areas compared with control districts, numbers of nematodes per 100 g soil to reduce 48~118 and reduce black root rot, increasing benefits of 48,990~63,020 NT per 0.1 ha.

Keyword: Biofertilizer; Mycorrhiza; Phosphorus-solubilizing bacteria; Oriental melon; Soil-born disease

宜花地區農友磷肥施用習慣及改善對策

徐仲禹^{1,*}、倪禮豐¹、鄒宗廷²

¹ 行政院農業委員會花蓮區農業改良場

² 行政院農業委員會農糧署東區分署

*E-mail: pudding726@hdares.gov.tw

摘要

大多農田土壤中的磷含量足以供應作物生長，卻多數被固定形成無效的磷肥，而使作物無法有效吸收利用，農友持續投入過量的磷肥，惡性循環下，土壤往往累積過量的磷肥，嚴重者甚至造成微量元素的缺乏。本研究探討宜蘭花蓮地區農友送至本場分析的農田土壤性質，發現推動合理化施肥後，整體農田土壤磷含量偏高的比例有逐年減少的情形，但不可忽視的是，土壤磷含量偏高的比例仍佔 50 % 以上，且多以長期性作物如果樹為主。因此，本場日後在輔導農友磷肥合理化施用，除建議農友減少施磷肥外，更應由改善土壤酸鹼度、提高磷肥有效性等改善對策著手。

關鍵詞：宜蘭、花蓮、磷肥施用、改善對策

前言

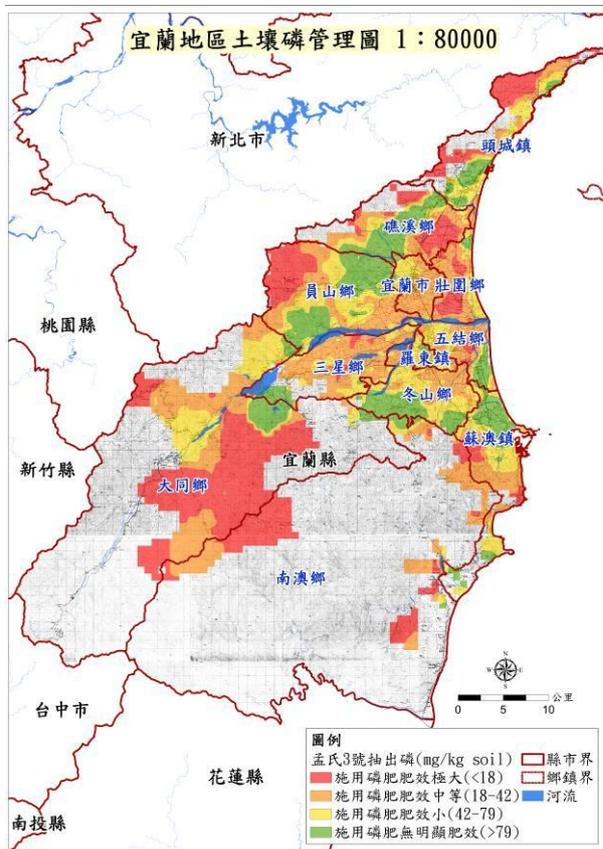
作物生長所需的磷需仰賴磷肥的施用，而磷在土壤中幾乎不會流失，其中卻僅有少部分可被作物吸收利用。大多數的磷存在於有機質當中，或是與鋁、鐵、鈣、鎂等金屬離子形成化合物後沉澱，屬於無效的磷肥。因此縱使土壤中總磷量高，農友仍施用過量磷肥，土壤持續累積大量無效的磷肥。

依據花蓮區農業改良場（以下簡稱本場）調查及訪問結果，農友普遍認為作物無法吸收土壤中的養分，只能靠施肥補充，甚少農友會認為應由改善土壤性質著手，甚至是設法提高土壤中養分的有效性。本研究分析轄區內農田土壤磷含量的分布情形、農友購買肥料的習慣、農友磷肥施肥習慣等，並提供改善對策，以期農友更有效率利用土壤中的磷肥。

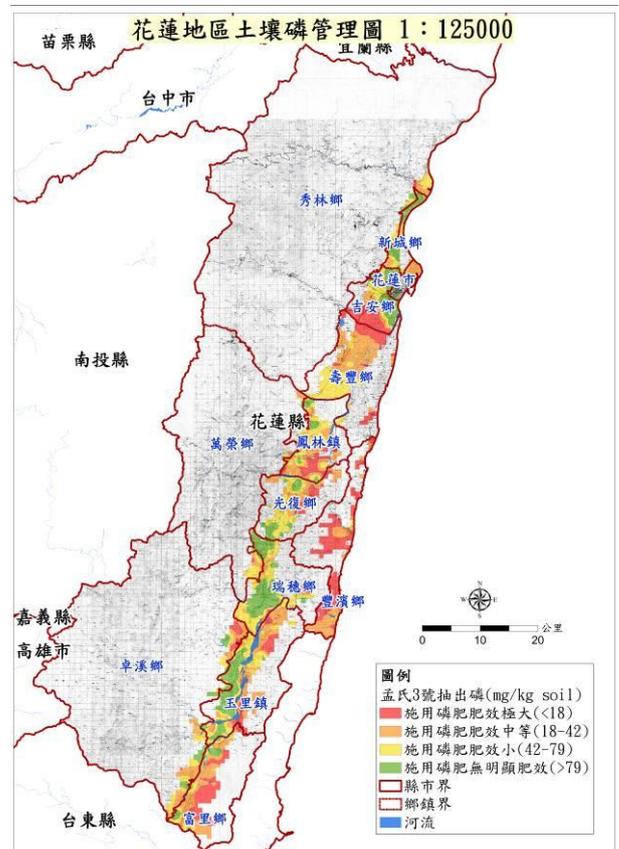
宜蘭花蓮地區土壤磷含量分布

依據農業試驗所歷年調查結果，宜蘭地區大同鄉、員山鄉山區、礁溪鄉及頭城鎮部分區域農田土壤磷含量普遍低於 18 mg/kg (孟氏 3 號抽出磷)，花蓮地區則以吉安鄉、豐濱鄉、富里鄉少部分區域農田土壤磷含量偏低。於上述施用磷肥可有效提升農田地力以及作物產量、品質；宜蘭縣礁溪鄉、冬山

鄉，花蓮縣吉安鄉北邊、瑞穗鄉、玉里鎮等則屬土壤磷含量偏高地區。觀察宜蘭、花蓮地區土壤磷含量分布情形，土壤磷含量變異大且無規律可循，可能與作物種類及其長年施用複合肥料，造成土壤磷累積有關。



圖一、宜蘭地區土壤磷含量分布情形
Fig. 1. Distribution of soil-P content in Yilan area.



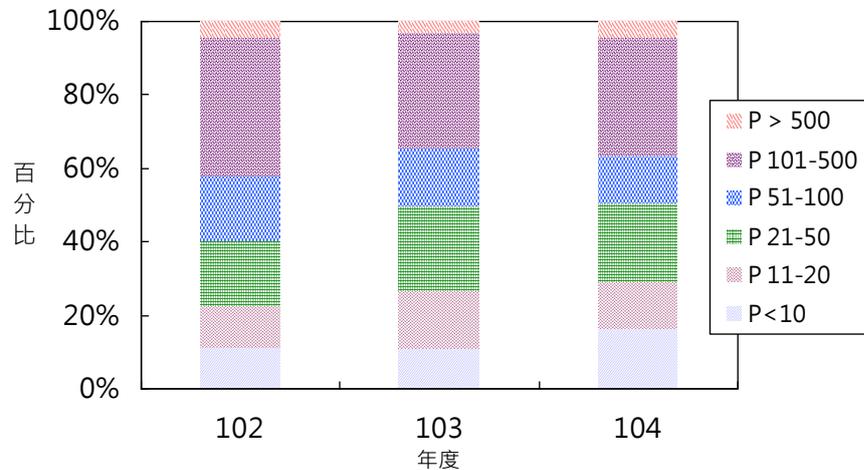
圖二、花蓮地區土壤磷含量分布情形
Fig. 2. Distribution of soil-P content in Hualien area.

農田土壤分析結果及農友磷肥施用習慣

整理本場 102 至 104 年 10 月底止為民服務分析農田土壤樣品的數據，將土壤磷含量分為低於 10 mg kg^{-1} 、11 至 20 mg kg^{-1} (適宜範圍)、21 至 50 mg kg^{-1} (略高)、51 至 100 mg kg^{-1} (偏高)、101 至 500 mg kg^{-1} (極高)，以及高於 500 mg kg^{-1} (異常) 等六種等級。結果顯示宜蘭花蓮地區農田土壤磷含量有逐漸趨於正常的情形，102 年度土壤磷含量超過 50 mg kg^{-1} 之比例為 59.8%，103 年度為 50.2%，104 年度為 49.5%，顯示土壤磷含量超過 50 mg kg^{-1} 之比例有逐年降低的趨勢。

即便如此，土壤磷含量偏高的農田仍佔了大多數。以 104 年度為例，土壤磷含量低於 10 mg kg^{-1} 之樣品數佔 1629 件樣品中的 16.3%，11 至 20 mg kg^{-1} 之樣品數佔 12.7%，21 至 50 mg kg^{-1} 佔 21.5%、51 至 100 mg kg^{-1} 佔 12.8%、

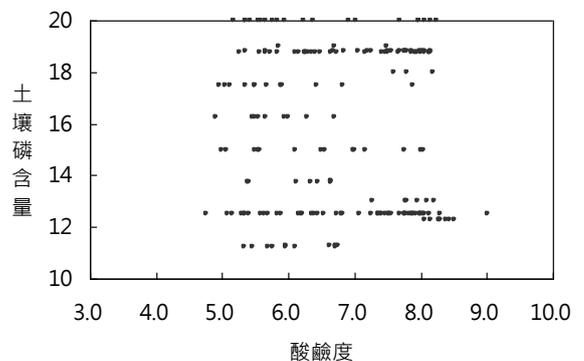
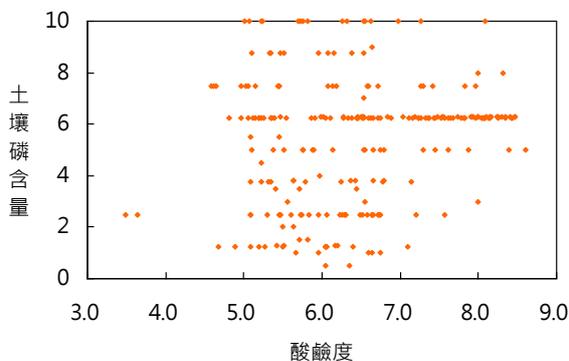
101 至 500 mg kg⁻¹ 佔 32.4 %，以及高於 500 mg kg⁻¹ 佔 4.3 %，其中比例最高者為土壤磷含量 101 至 500 mg kg⁻¹。



圖三、宜蘭花蓮地區 102 至 104 年度農田土壤磷含量比例

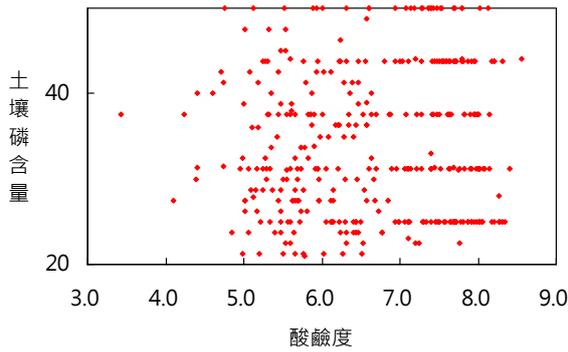
Fig. 3. Proportion of soil-P content in 2013-2015 in Yilan and Hualien area.

統計農田土壤磷含量介於 101 至 500 mg kg⁻¹ 之間的作物別，其中 55.1 % 為果樹，包括轄區內重要果樹，文旦、高接梨，又以柑橘類所佔比例最高。推測係因農友種植果樹等長期性作物時，可能因不易感受植株對養分的吸收效果，而施用高於其實際需要量的肥料。此外，有 21.6 % 為蔬菜，品項相當多樣，包括青蔥、甘藍、龍鬚菜、芋頭，亦以轄區內重要蔬菜為主。再者為種植品項複雜之農地佔 12.5 %，例如同一塊農地上種植品項包括黃豆、白甘蔗、薑黃、檸檬等四種生長、栽培管理截然不同的作物，農友可能無法針對個別作物進行不同的肥培管理，選擇以同一種肥料統一管理，因此本場會加強輔導農友應將每項作物分開來採取土壤樣品，以方便本場針對不同種類的作物給予土壤改良及施肥的建議。



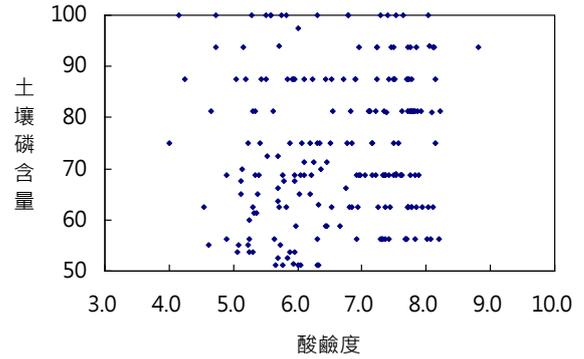
圖四、土壤酸鹼度與磷含量 (低於 10 mg kg^{-1}) 之關係圖 (以 104 年數據為例)

Fig. 4. Relationship between soil-pH and soil-P (under 10 mg kg^{-1}) (the data of 2015 as example)



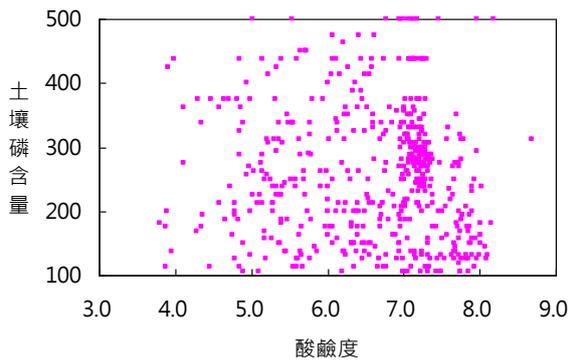
圖五、土壤酸鹼度與磷含量 (11 至 20 mg kg^{-1}) 之關係圖 (以 104 年數據為例)

Fig. 5. Relationship between soil-pH and soil-P (11-20 mg kg^{-1}) (the data of 2015 as example)



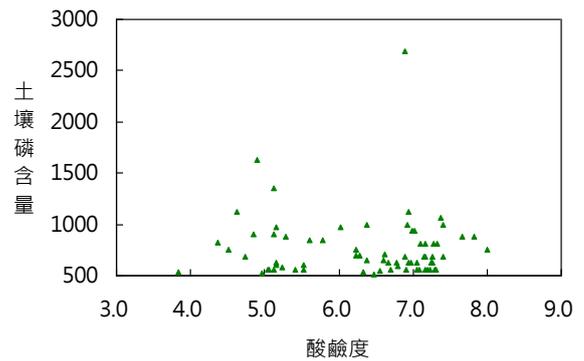
圖六、土壤酸鹼度與磷含量 (21 至 50 mg kg^{-1}) 之關係圖 (以 104 年數據為例)

Fig. 6. Relationship between soil-pH and soil-P (21-50 mg kg^{-1}) (the data of 2015 as example)



圖七、土壤酸鹼度與磷含量 (51 至 100 mg kg^{-1}) 之關係圖 (以 104 年數據為例)

Fig. 7. Relationship between soil-pH and soil-P (51-100 mg kg^{-1}) (the data of 2015 as example)



圖八、土壤酸鹼度與磷含量 (101 至 500 mg kg^{-1}) 之關係圖 (以 104 年數據為例)

Fig. 8. Relationship between soil-pH and soil-P (101-500 mg kg^{-1}) (the data of 2015 as example)

圖九、土壤酸鹼度與磷含量 (高於 500 mg kg^{-1}) 之關係圖 (以 104 年數據為例)

Fig. 9. Relationship between soil-pH and soil-P (over 500 mg kg^{-1}) (the data of 2015 as example)

表一、本場農友土壤分析結果表 (以 104 年度為例)

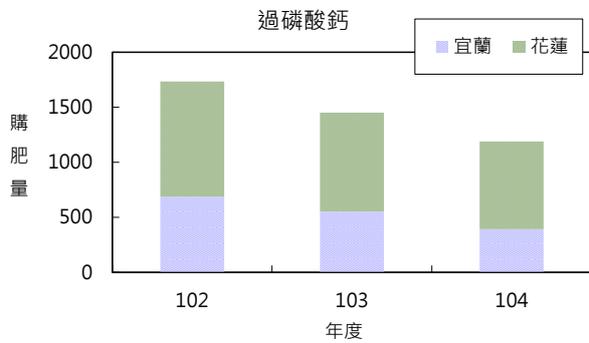
Table 1. Table of soil properties analyzed by HDARES (the data of 2015 as example)

編號	樣品名稱	作物別	酸鹼度	電導度	有機質	磷	鉀	鈣	鎂
單位				mS/cm	%	mg kg ⁻¹			
S104001	花梗育 136 表	水稻	7.8	0.27	2.6	81	24	4815	127
S104001	花梗育 136 底	水稻	7.8	0.36	2.2	94	14=	4706	119
S104002	1	香蕉	7.7	0.34	1.5	275	59	5449	75
S104002	2	青菜	8.0	0.14	2.6	156	27	5030	117
S104002	3	絲瓜,青菜	8.0	0.15	1.8	500	83	4514	80
S104003	區品 表	水稻	7.3	0.26	2.1	100	26	1211	128
S104003	區品 表	水稻	7.4	0.25	1.8	81	18	1294	78
S104007	蔡順福	咖啡	8.0	0.12	0.8	163	13	4468	68
S104008	表 1	文旦	6.7	0.14	2.4	175	367	1547	339
S104008	底 1	文旦	6.7	0.13	1.9	125	347	1637	407
S104008	表 2	文旦	6.5	0.30	3.3	150	374	3008	364
S104008	底 2	文旦	6.4	0.23	4.2	138	346	1363	397
S104008	表 3	文旦	6.4	0.11	3.2	25	197	1425	470
S104008	底 3	文旦	6.7	0.12	3.6	59	235	2083	523

農友購肥情形

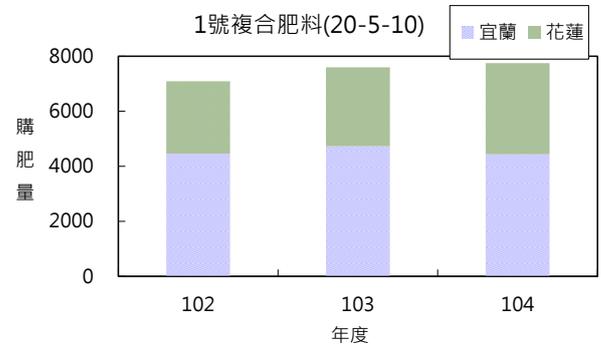
本研究為探討農友購肥情形，統計近三年宜蘭、花蓮兩縣受化學肥料價差末端補貼之肥料的購買量，並為利本研究比較，104 年度 11 與 12 月之購肥數據以 102 年度及 103 年度同期之購肥量平均值作預估。

圖十為近三年宜花地區農友過磷酸鈣 (0-18-0) 購買量，單位為噸，結果顯示近三年農友購買過磷酸鈣的量大幅下降，由 102 年度 1,734 噸，降至 104 年度為 1,188 噸，特 1 號複合肥料的購買量亦有小幅度下降 (圖十五)，其他複合肥料如 1 號、5 號、39 號、43 號、特 4 號、特 5 號，以及特 43 號之購肥量皆為增加 (圖十一等)。依據上述肥料之磷酐含量乘以其個別之購肥量，例如，102 年度 1 號複合肥料之購肥量為 9,200.825 噸，乘以其磷酐含量 5%，則 9,200.825 噸之磷酐量為 460.04 噸。計算後可統計，102 年度總磷酐量為 2,760.466 噸，103 年度為 2,876.844 噸，104 年度則預估將達 3,006.570 噸 (圖十九)，這顯示農友施用之總磷量幾無大幅變化。近年化學肥料價差末端補貼之肥料價格波動相當小，推測可能的原因之一為，原本偏好施用過磷酸鈣等單質肥料，改為偏好施用複合肥料，目的可能為省工。



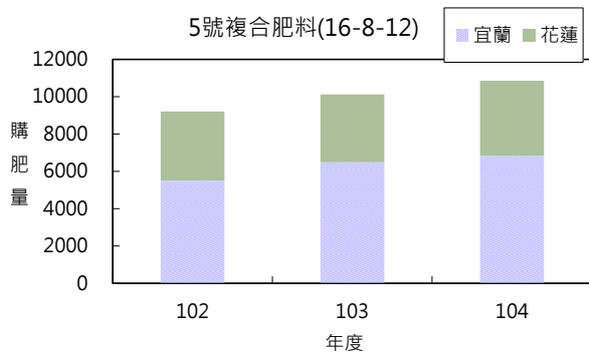
圖十、近三年宜花地區農友過磷酸鈣 (0-18-0) 購買量 (單位：噸)

Fig. 10. The amounts of **superphosphate** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



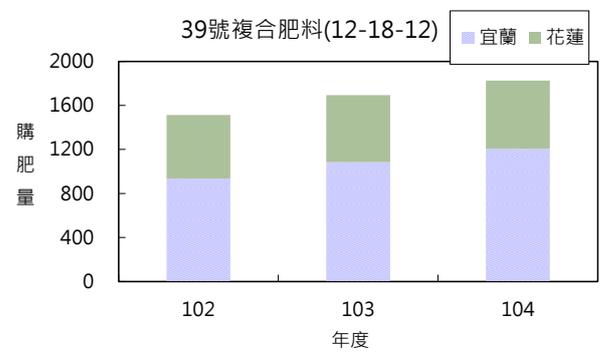
圖十一、近三年宜花地區農友 1 號複合肥料 (20-5-10) 購買量 (單位：噸)

Fig. 11. The amounts of **#1 compound fertilizer** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



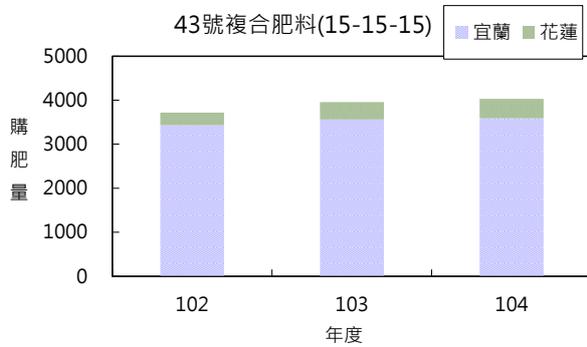
圖十二、近三年宜花地區農友 5 號複合肥料 (16-8-12) 購買量 (單位：噸)

Fig. 12. The amounts of **#5 compound fertilizer** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



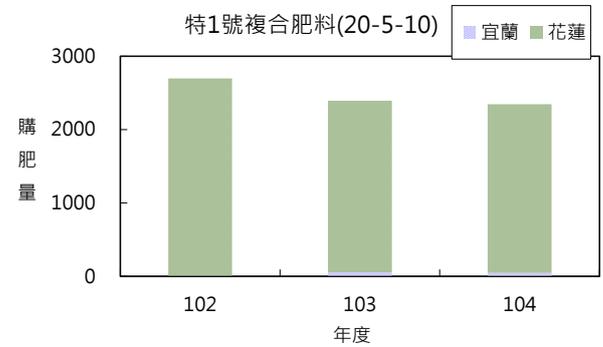
圖十三、近三年宜花地區農友 39 號複合肥料 (12-18-12) 購買量(單位：噸)

Fig. 13. The amounts of **#39 compound fertilizer** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



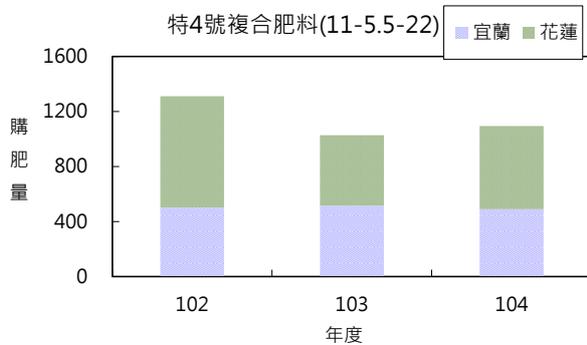
圖十四、近三年宜花地區農友 43 號複合肥料 (15-15-15) 購買量 (單位：噸)

Fig. 14. The amounts of **#43 compound fertilizer** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



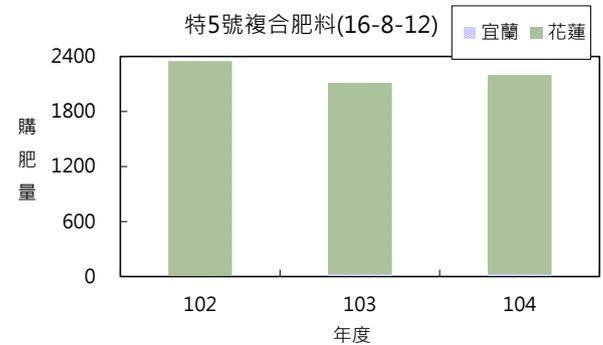
圖十五、近三年宜花地區農友特 1 號複合肥料 (20-5-10) 購買量 (單位：噸)

Fig. 15. The amounts of **#1 compound fertilizer (Nitrophosphate)** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



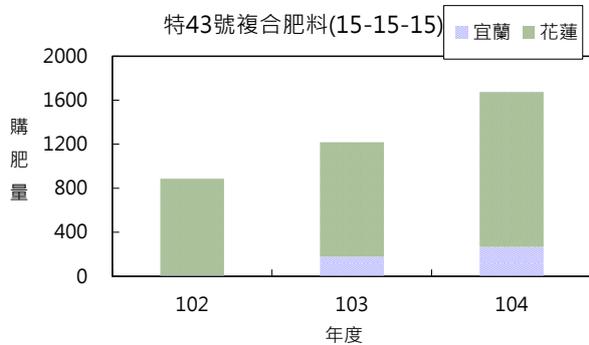
圖十六、近三年宜花地區農友特 4 號複合肥料 (11-5.5-22) 購買量 (單位：噸)

Fig. 16. The amounts of **#4 compound fertilizer (Nitrophosphate)** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



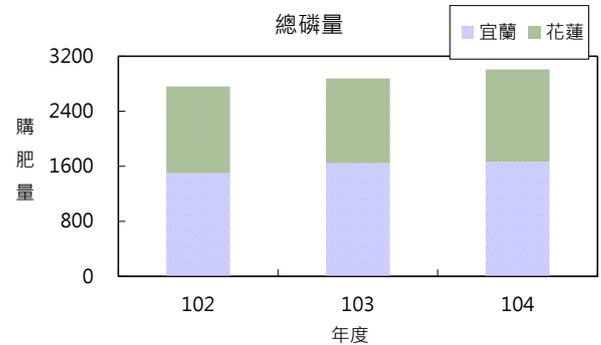
圖十七、近三年宜花地區農友特 5 號複合肥料 (16-8-12) 購買量 (單位：噸)

Fig. 17. The amounts of **#5 compound fertilizer (Nitrophosphate)** purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



圖十八、近三年宜花地區農友特 43 號複合肥料 (15-15-15) 購買量 (單位：噸)

Fig. 18. The amounts of #43 compound fertilizer (Nitrophosphate) purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)



圖十九、近三年宜花地區農友購肥量之總磷量

Fig. 19. The amounts of total phosphate fertilizer purchased by farmers in Yilan and Hualien area in recent 3 years. (Unit: Tons)

表二、104 年 11 月農友購買肥料之價格表 (單位：元/包(40kg))

Table 2. Prices table of fertilizers purchased by farmers in November, 2015. (Unit: NT dollars/ 40 kg)

肥料種類 (N-P-K)	97 年 5 月 30 日 農友購肥價格	104 年 11 月 農友負擔價	肥料價格趨勢
過磷酸鈣(粉狀) (0-18-0)	153	144	較 97 年便宜 9 元
過磷酸鈣(粒狀) (0-18-0)	185	176	較 97 年便宜 9 元
1 號複肥 (20-5-10)	284	295	較 97 年多負擔 11 元
5 號複肥 (16-8-12)	299	284	較 97 年便宜 15 元
39 號複肥 (12-18-12)	385	361	較 97 年便宜 24 元
43 號複肥 (15-15-15)	420	408	較 97 年便宜 12 元
特 1 號複肥 (20-5-10)	290	315	較 97 年多負擔 25 元
特 4 號複肥 (11-5.5-22)	302	314	較 97 年多負擔 12 元
特 5 號複肥 (16-8-12)	299	312	較 97 年多負擔 13 元
特 43 號複肥 (15-15-15)	420	396	較 97 年便宜 24 元

附註：農友實際購肥價=農友負擔價+運費及管銷費用(經銷點)。

附註 2：本表修改自行政院農業委員會公告「104 年 11 月份肥料漲幅價差政府補貼分攤明細表」。

改善對策

依據本研究調查、整理農友分析數據後顯示，經過多年推動合理化施肥政策，農田土壤磷含量有逐漸趨於合理之範圍，但仍有大部分是屬於土壤磷含量超過 50 mg kg^{-1} ，後續應可針對其他土壤性質進行更深入之探討，例如，土壤有機質含量與磷肥施用的關係等。

目前本場針對農友送樣之土壤磷含量，僅區分為低於 10 mg kg^{-1} (土壤磷含量偏低)、 $10\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$ (土壤磷含量正常)、 $21\text{-}50 \text{ mg kg}^{-1}$ (土壤磷含量偏高)，以及高於 50 mg kg^{-1} (土壤磷含量極高) 等四種級距。並分別給予增加施用磷肥、按照正常施肥量施用、減少施用磷肥，以及減少施用磷肥並提高磷肥有效性等土壤，尚未依據其他土壤性質給予進一步之建議。

實際上，土壤中的磷及其形態深受土壤酸鹼度影響，酸性土壤以磷與鐵、鋁之氧化物為主，鹼性土壤則以磷酸鈣類的化合物，中性土壤多吸附於矽酸鹽黏土礦物表面。其中吸附形態的有效性最高，其次為磷酸鈣類的化合物，有效性最低者為磷與鐵、鋁之氧化物，這即表示酸性土壤中磷的有效性是最差的。因此在建議上，酸性土壤若磷含量偏高，當務之急應進行土壤改良，例如施用石灰、苦土石灰增加土壤中磷的有效性。除此之外，可適時搭配微生物肥料，當土壤肥力分析結果顯示土壤有效磷偏高時，建議可於土壤中灌施溶磷菌，可部分甚至完全取代磷肥的施用。推廣實務上常遭遇到的問題是，農友不知何處可購得溶磷菌？該於何時施用？以及不小心與農藥、化學肥料一同施用而使其失去活性。此外，由於微生物肥料活性高時效果較佳，亦應積極輔導農友定期施用，例如果樹於開花至果實肥大期間，每個月施用一次，以維持其效果。

在需要施用磷肥之農地，因省時省工的緣故，農友多選擇將肥料灑施於土壤表面，對於在土壤中移動性差的磷而言，效果會大打折扣，故應加強輔導農友施用磷肥時接近根系條施或深施，以增加作物吸收磷肥的效果。而宜花地區因高溫多濕，土壤中有機質分解速度快，許多農田土壤有機質含量低於 1.0% ，故亦可建議農友適度補充土壤有機質含量至 2.0% 以上， 5.0% 以下，使磷肥存於有機質中，避免被土壤中鐵、鋁、鈣、鎂固定，增加作物吸收利用磷肥的機會。