

# 最佳化肥培管理策略之 技術建立

郭鴻裕

行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

## 摘要

本文檢討當前農友一些內在及外在因素的施肥問題，並提出一些評估作物營養管理的技術。在地理資訊應用議題，目前主要農田範圍的精度與廣度的資料應用已達其實用價值，透過地理資訊系統瞭解區域農田的養分狀態、養分評估及養分管理策略，可以讓土壤肥料管理者容易瞭解區域的土壤肥培管理措施重點與制定管理政策，並舉例說明應用範例及發展方向。

**關鍵詞：**養分管理策略、農業地理資訊、知識庫

## 作物肥培管理面臨的挑戰

當前針對世界主要穀物作物生產的養分管理是否足以能滿足糧食需求所需，同時又確保環境質量永續標準？歐洲學者的比較指出；不論在美國大農場機械化玉米的種植系統以及亞洲勞動密集型小農灌溉水稻生產系統，兩個系統在滿足糧食安全議題的主要挑戰是：（1）在過去 30 年中，兩個生產系統中沒有可信的證據顯示產量隨作物遺傳潛力有顯著增加；（2）農業產量目前約為可達到潛在產量的 40 - 65 %；（3）養分管理主要依靠的方法不能說明作物對環境的影響效應。由於要滿足未來 30 年的預期糧食需求，必須使平均單產水平達到可達到單位面積產量潛力的 70 - 80 %，因此研究必須尋求開發營養管理方法，以維護產量目標、保護土壤質量並善用自然資源。

## 施肥的實務遭遇問題

在舉辦各鄉鎮 30 場的合理化施肥講習會與 11 場次的田間施肥觀摩會與過去經驗、各地農友調查、提問、交談及田間觀察之可以改進之點，提出檢討。

### 現場施肥之問題

#### 1. 對肥料類別功能與成分不清楚

一般農友承認瞭解肥料包裝上標示說明的平均人數約占出席人數的 10 % - 12 %，對於清楚瞭解氮、磷、鉀三要素的營養功能約為 20 %。所以一般農友的田間施肥量只能是憑藉經驗或口語相傳的傳播而施用，對於合理化施肥達到節約施用、依土壤特性施肥與運用施肥提高作物品質的理想目標有一大段距離，更甚者在某一鄉鎮甚有集體施用硝酸態氮素複合肥料（台肥特複合肥、黑旺特複合肥料）於水田之錯誤情形，在用肥的基本常識推廣急需要積極加強。

#### 2. 施用方法

一般農民年齡老化或兼業情形普遍，農村人力缺乏嚴重，在施肥後掩覆幾已不能達到，肥料因逕流或揮散損失的情形可以預測。水田的全層施肥也因代耕制度而不易與農民施肥配合，一般均以撒施複合肥料於表層，造成大量肥料脫氮的可能。我國因為緩效性肥料缺乏市場、農機發展與市場欠缺、加以農戶擁有面積小，使得肥料占生產成本比率偏低，在施用方法改善空間短期內應無法明顯改善。

#### 3. 施用時期

一般農民對於施肥時期大抵憑據經驗施肥，但水稻農友對於施用穗肥、一追與二追的時期具有概念者多，約有 50 % 農友均能瞭解，應是過去的土壤肥料推廣落實的結果。栽種其它類作物與果樹的農友對於適宜施肥期則無法正確掌握，許多農友的施肥時期大抵以定期施肥（每 2 週），或依季節、收穫後施肥。近年土壤肥料的試驗與推廣經費相對偏低，許多新興作物或長期作物果樹資料均缺乏試驗資料的支持，推廣工作不能落實。

#### 4. 施用量

由農試所植體營養診斷分析結果調查統計資料顯示：氮素濃度偏高者相當普遍，約占調查果園總數的 57 %，磷肥偏高者約占 42 %，鉀肥濃度偏低者占 53 %，鎂素偏

低者占 40%，缺鋅果園約占 33%，缺硼果園約占 37%。最近收集蔬菜農民、合作農場之施肥量後，重新計算 0.1 公頃氮素、磷酐、氧化鉀的施用量，與日本、美國結球萵苣施肥推薦量比較，氮肥超施 30%，磷肥少施 5% 及鉀肥少施 200% - 300%。農民的收入全依賴農產品的收量，在不重視農產品質的市場，過度施肥與偏施氮肥是對應的現象。此外大多數農友不認識肥料成分與肥料含量，自然無法合理施肥，以包數為單位施肥，對於高成分含量的肥料如尿素，無法適應。

### 5. 綠肥的栽培

綠肥的功能至少可以列舉 10 項以上，但在熱帶臺灣提供有效態氮與累增土壤有機質是不可併行的，因涉及植體組成分變化之故。王世中等曾對臺灣蔗田綠肥肥效進行評估，並引述多國文獻認為栽培綠肥要增進土壤有機質是很難辦到。連深等在本省中南部之試驗亦有類似之結論，並認為栽培田菁而促使玉米增產乃由於田菁根系改善土壤物理性之原因。王等認為臺灣高溫多雨，綠肥分解迅速，即使在乾季施用綠肥可使土壤有機質增加，但隔年一遇雨季，綠肥分解，土壤有機質即殘留甚少。大抵綠肥之效果在提高當作之養分供應，另深根綠肥或可將底層養分汲出於地表土。目前休耕田栽種綠肥，可能以景觀為優先，地方決策者、農友對於栽種綠肥節肥的利益並不熱衷，對於選擇固氮綠肥更少，許多農友認為栽種綠肥會增加水稻倒伏機會，反而不清楚要降低施肥量。再者，綠肥的適宜栽種期不能配合季節與氣候，最常見的例子為冬季栽種太陽麻、雨季栽培大豆等、強酸性土栽培豆科作物等。

### 6. 堆肥之應用

農友對於有機資材的選擇有其經驗，但有機資材之肥效效果一般所指為氮素含量，是由資材之碳氮比所決定，豬、雞糞堆肥及下水道污泥或食品業廢棄物等碳氮比偏低，所以肥效較大，樹皮堆肥、粗糠堆肥等難分解之有機資材肥效低，如果以肥效考慮選用有機資材時，自可分辨清楚；化學性之改良效果主要是以提昇土壤中之鈣、鎂、鉀等鹽基及磷素量而言，豬、雞糞堆肥及下水道污泥之鹽基及磷素含量高，自是考慮選用之對象，但應注意長久施用後對養分平衡及重金屬累積等問題；物理性則是對於土壤之孔隙與保水性為考量，當選擇施用不易分解之有機資材如樹皮堆肥及粗糠類、木屑混合堆肥類等有機資材。但各類堆肥需考慮是否腐熟，以避免施用後產生缺乏氮素問題、有毒氣體（特別是家畜糞尿及污泥）及有害物質（特別是木質類堆肥）等問題，危害作物生長。

如果施用有機肥之目的只是在獲取其養分之供應，則必需考量其經濟性。一般有機質肥料之單位養分價格是化學肥料之 5-20 倍，特殊有機資材更高於此；又養分施入土體後，以配合作物（特別是果樹、瓜果類）生長勢之養分收放控管機制而言，有機質肥料較化學肥料更難操作，是故若施用有機質肥料之目的在求取養分之供應，經濟效益與養分之控管應當考量清楚。

在有機資材之施用量方面，首先需考慮作物之養分需求量及有機資材之分解率（或是元素之有效化率），特別是氮、磷素。施用之有機資材供應之有效養分外，才以化學肥料補足。但是連年施用有機資材，則需考慮殘餘物累積之釋放量。日本之田間試驗資料為例，以低肥效之稻稈堆肥為資材，每年每公頃施用 20 噸之堆肥，前五年大抵為蓄積效果，並無明顯氮素釋出，連用 10 年後約可穩定釋出 5（水田）至 7（旱田）公斤氮素，施用 40 噸堆肥則約為釋出 10 至 15 公斤氮素，施用 80 噸堆肥則約釋出 20 至 30 公斤氮素。因此可以得到結論為施用多量的堆肥並無法成幾何級數的增加氮素釋出，而是以等比例的釋出氮素。

連用一些有機資材必須注意其造成之養分不平衡問題，著者等近年調查臺灣農地之土壤養分狀況，注意到土壤磷之累增相當驚人，有些樣點甚已達影響其它養分吸收之濃度，特別是一些栽培經濟作物之園區。因為農友偏好禽畜糞等高肥效之堆肥故，為了施用達到作物需求之氮肥量之堆肥而使土壤中磷素過多，与其它養分產生拮抗作用並汙染環境。又有些有機資材連用後，造成土體中交換性鈣、鉀鹽基之增加，但鎂素卻不足之養分不平衡問題。又一些禽畜糞堆肥、皮革類為原料製成之堆肥及污泥含有偏高之重金屬成分，長期或大量施用於田間後，會造成土體中重金屬累積問題，汙染農地與作物品質，甚至地下水源等，著者等在南部一些果樹園地調查，發現部分園地土壤因施用大量有機資材造成局部土壤累積高濃度之重金屬已明顯；這些施用有機資材而引發之問題，我們應以更積極的態度處理。

## 7. 微生物肥料問題

未來的世界資源匱乏，我們對於應用微生物肥料作為糧食生產的主要養分供應來源有一定的期待。但現今在國內微生物肥料市場的產品表現卻讓人大失所望。真正有肥效的生物肥料並不多，顯示微生物肥料管理法制定的問題。大多數的微生物肥料產品表現不如預期，或添加大量的化學元素去抵充微生物肥料的肥效；有規避微生物農

藥管理而在微生物肥料登記上市，顯示微生物肥料管理法應趕快再重新制定，以保護消費者。

## 試驗與推廣之問題

### 1. 推廣之限制

- (1) 目前改良場所土壤肥料人員欠缺，落實土壤肥料推廣是有點捉襟見肘，做了推廣工作，研究計畫無法落實，認真的從事研究計畫則無法落實推廣工作。
- (2) 土壤肥料工作人員之推廣解說教材與農友的吸收有溝壑，因為無法專業與系統的解說，加上目前施肥計算解說略有複雜度與農友年齡層的更替尷尬期，在知識傳播效果是有許多檢討的空間。
- (3) 因為土壤的空間變異與多因子，許多推廣資料只能告知農友是定性、趨勢與方向性的知識，缺少量化的資訊傳播，農民無法立即消化應用。
- (4) 研究與推廣的配合需要再加強。肥料的施用與作物、土壤管理、病蟲害防治及農業機械、產品儲運都有密切關聯，研究上目前沒有緊密配合，推廣上更是無法提出完整的資料；而三要素肥料只有調配比例，並無專一性與土壤空間變異，很難在肥料袋上告知明確的施用量，需要一些專業的計算解決。

### 2. 施肥手冊

- (1) 目前施肥手冊雖提供 50 餘樣的作物施肥推薦量，但是除水稻是分南北區推薦外，受限於過去對土壤性質的瞭解，並無法分區推薦，使得肥料的施用無法完整密合。去年完成新版的施肥手冊已分別由改良場所同仁依據其所轄場域撰寫部分作物的施肥方法，已扭轉過去施肥手冊的缺陷，應持續修正補充未完成的作物施肥方法。
- (2) 施肥推薦量沒有與產量結合，與農民的施肥用量有落差。以水稻為例，施肥手冊以全台單位面積平均產量 6000 公斤 / 公頃估算，但許多地區產量已接近倍增，所以推薦施肥量與農民施用量有一些落差。良質米的需求增加，對於施肥的特殊需求等都是需要再調整施肥推薦量。
- (3) 因為時空變遷，在作物品種的更替、市場與儲運需求、農民作業習慣等種種變化，施肥期、施肥方法及要素比例調整等都有許多改進的必要，但施肥手冊已久未重整，需要再精進。



### 3. 區域土壤特性

- (1) 農業試驗所與各區改良場等單位合作進行農田土壤品質及生產力調查，歷經波折，至 2008 年底已完成全台主要農田 80 萬公頃之土壤採樣，樣品數累計達 60 餘萬個。計畫調查方法以網格取樣，每間隔 250 公尺採一土壤剖面樣本。分析項目包括土壤酸鹼度指標 (pH)、有機質含量、陽離子交換能量、交換性營養元素等十餘項，目前資料量已達 780 萬筆以上。
- (2) 土壤管理組以土壤剖面質地、地理位置、母質與成土因子、排水等 15 類，將平地區土壤分為 103 組，面積大的土壤管理組只有 60 個。一般每鄉鎮只有 3-4 個土壤管理組，配合施肥管理應是可以協助農友省去換算肥料成分與管理之困擾。土壤管理組應用於灌溉、排水、耕犁、作物選擇、作物栽培、病害防治、國土保安（定砂區域）、氮肥管理、施肥方法及土壤改良方法等多項，相當的多樣化。

### 4. 資料應用

- (1) 農試所主持並與各區農改場合作之農業科技計畫平地耕地農田土壤調查工作發現，在已完成調查區之農田表層土壤磷在中等或高含量者約佔全部面積的 80 % 以上，相較於民國 56 年之全省性土壤調查報告指出，農田表層土壤磷在中等或高含量者只佔全部面積的 55 % 左右，顯然這三十餘年來臺灣地區表層土壤磷含量持續之累積中。即使過去在桃園台地紅壤農田土壤幾乎全面缺磷之狀況，在目前之調查資料也很少發現水稻缺磷之現象；土壤磷累積現象在中部與南部地區農田相當明顯，特別是果樹、蔬菜、花卉等園地，但離島澎湖、金門地區仍有接近 80 % 的面積磷含量屬於低或極低等級含量。
- (2) 農業試驗所在完成網格式土壤調查的地區建立了 8 種農田管理主題圖，包括土壤酸鹼度分布圖，在水田施肥的應用上可決定使用尿素或硫銨做為氮肥的主要來源，例如在土壤 pH 值大於 7.5 的農田，應該使用硫銨，藉由硫銨的微酸性來避免氨揮散的損失，而在 pH 值小於 7 的農田中可以使用尿素，避免常年硫酸根的累積加速土壤酸化。另外在果園或旱田中，土壤 pH 值也會影響微量元素的有效性。第二為土壤有機質分布圖，土壤有機質具有增加土壤團粒構造、改善土壤物理性，進而使土壤鬆軟及穩定土壤，而促進通氣及排水等功能。此外，土壤有機質還具有增加土壤保水能力、緩慢釋出營養元素、螯合微量營養元素、提高營養元素溶解度、

增加土壤緩衝能力等作用，在土壤有機質偏低的農田可以考慮施用有機質肥料或栽種綠肥，以提高土壤有機質，改善土壤物理性質。土壤中的鈣鎂元素，除了考量其含量外，還需要考慮鈣鎂間的平衡關係，部分果樹如葡萄、蜜棗等對鎂有特別需求性，缺乏時會有澀味，影響品質風味，但氣候也會影響鎂的效率，所以除了在含量低的地區施用白雲石粉等含鎂肥料外，也可在葉片發現有初期缺乏徵狀時，施用硫酸鎂來預防品質變差。

- (3) 磷和鉀是作物除氮肥外需求量較高的營養元素，由調查所得的資料中，可以大致了解地區性的土壤肥力高低，進一步推測施肥後肥效的明顯程度。在微量元素方面，硼在 pH 值太高或太低、土壤質地過砂或過黏、土壤水分過高或過低的旱作中均容易出現缺乏，應該注意補充。pH 高的土壤，如黏板岩沖積土，容易出現鋅缺乏的現象，而一般認為有機質肥料是最佳之肥料，但經農試所與各縣市政府之抽樣調查資料顯示，部分市售有機質肥料，尤其是禽畜糞堆肥之重金屬（銅、鋅）含量偏高，導致土壤重金屬含量超過自然背景含量範圍，影響作物生產和消費者健康問題不容忽視，除應加強有機質肥料品質管制，宣導農民選擇品質優良的肥料也是政府和業者應有的責任。另外利用耕地土壤調查所產生的土壤圖，由母質、形成方式、排水等級和土壤質地等性質歸納產生的土壤管理組圖，則提供了土壤物理性的管理對策依據，例如：在粗質地的農田中，應採取少量多次施肥的方式，以減少肥料流失，降低施肥對整體生態環境的衝擊。

## 社經與政策面之問題

### 1. 肥料價格

政府採行低肥料價格政策是為了照顧弱勢農民，也為了避免農產品價格之波動；但是低肥料價格使得農友不珍惜肥料，合適的肥料價格平衡點是決策者難以抉擇之處。農民的反應是如果只要農產品價格可以提高，肥料漲價倒也不在意，更是讓決策者難以提高肥料價格以誘導農友節約用肥行為。

### 2. 專業諮詢

許多專業與研究的成果與社經、施政方向無法配合，例如：酸性土壤改良提高肥效、農業機械整地與施肥配合、研究改良資訊有效傳遞、土壤與植體營養診斷的推行

等因涉及層面廣，或推行的急迫性等，都沒有辦法推行，施政效果難免打折。又如：農民使用肥料的習慣，在單質肥料與複合肥料推行優劣點之改進，是以土壤改良為優先或以補助有機質肥料為優先，氮素肥以尿素為優先或農民喜好硫銨的多施用量感覺等等，都是專業與決策需要協調之處。農產廢棄物及禽畜廢棄物之再利用也都有政策協調之問題存在，有待解決。

### 3. 肥料廠配合

種種資訊已顯明指出農田施肥不均衡的問題，近年水稻轉為旱作以及農民栽種經濟作物為主，土壤轉為氧化狀態，使得磷素有效性降低，加以旱作需要施用大量磷肥，是為表土磷素含量增加迅速。又目前農民施肥偏用複合肥料與有機質肥料，導致大部分地區土壤磷素含量很高，施用磷肥而無肥效。肥料製造廠應配合現場需求調整三要素配方比例而降低肥料成本。

## 問題之解決

1. 對於其它類作物則無法瞭解施用期的掌握，與近年土壤肥料的試驗與推廣經費相對偏低有關，及對於許多新興作物或長期作物果樹資料缺乏試驗資料的支持之故。
2. 應針對傳統果園施肥往往忽視氣候、果樹生長期、生育特性、肥力監控及栽植土壤特性之缺點，應用土壤調查與植體分析營養診斷資訊，規劃果園之精緻合理化肥培管理模式，輔導農友落實果園合理化肥培。
3. 當前之土壤管理組缺乏專業化知識、定量化資料與普及化應用，仍有待土壤肥料人員努力。
4. 日本政府在『原油等價格高騰對策』中，即提出『廢肥與土壤蓄積肥成分活用』、『減肥方法明確化-地域施肥基準』、『土壤分析資料應用』、『土壤診斷重點實施』、『作物及肥料成本降低方針之整備與推進』、『低成分肥料-土壤磷過多問題』、『地域土壤診斷的強化』、『施肥效率技術引進』、『地域未利用、低利用資源的活用促進』等，有一些措施與目前觀察之現象相互呼應，是值得我國逐一檢討與參考。
5. 肥料之施用涉及層面廣，是一個團隊的工作。正確的決策是成功的要素，但決策如無正確知識與資料輔佐，將事倍功半。農友的施肥知識推廣也是需要加強，這是改良場所責無旁貸之工作。



## 土壤元素含量與養分管理 – 鎂元素為例

植物營養元素之功能，綜括如下：(1) 成為植物組織之成分。(2) 成為某種化學反應之催化劑或引導物。(3) 影響植物體內之氧化還原作用。(4) 協助植物體內酸之調節。(5) 影響植物體內之滲透性。(6) 影響其他元素進入植物體內。(7) 供給植物根部一個更適宜的環境以幫助植物生長。因此作物營養元素缺一則嚴重影響作物之生長。

鎂是作物生長的必需元素，其在植物體內的主要生理功能如下：(1) 鎂是葉綠素的組成元素，約占葉綠素分子質量的 2.7%，對維持葉綠素結構具有重要的作用；缺鎂時，不僅作物葉片合成葉綠素受阻，而且植物缺鎂可使葉綠體結構破壞，嚴重影響作物葉片的光合作用，還會造成蛋白質氮占總氮量的比率降低、醣與澱粉含量減少等，而使作物品質下降。(2) 鎂是多種酶的活化劑或構成元素，並參與體內碳水化合物、脂肪和類脂、蛋白質和核酸等物質的轉化與促進維生素 A 與維生素 C 的合成。(3) 鎂在植物細胞質代謝過程中，是中和有機酸、磷酸脂的磷醯基團以及核酸的酸性時所必需的，具有穩定細胞質的 pH 值。

鎂在植物體中是較易移動的元素，在作物生長初期，鎂大多數存於葉片中，到結實期則轉移至種子中，故作物種子含鎂較多，莖葉含量次之，而存於根系最少。因此，若作物缺鎂徵狀首先出現於老葉。

交換性鎂含量通常與作物鎂吸收量有密切相關，林家棻 (農試所年報, 1985) 評估水田土壤交換性鎂之含量在 3.99 cmol (+)/kg 土以上，可影響水稻對氮肥之效應。又雖一般資料認為酸性且粗質地土之交換性鎂絕對低限值為 0.2 cmol (+)/kg 土，但一般熱帶地區交換性鎂低於 0.5 cmol (+)/kg 土有缺鎂徵狀；部分資料顯示認為交換性鎂在 4.0 cmol (+)/kg 土方足夠。又如以日本地力增進標準評之，則已調查區砂頁岩沖積土、片岩沖積土、紅壤及非石灰性板岩沖積土之土壤交換性鎂含量顯然不足，有待提昇或對於鎂元素管理應加以注意。

## 土壤不缺鈣的條件

(1) 土壤 pH > 6 以上；或 (2) 土壤 pH < 6 時且土壤水分充足時，鈣鎂比值在 2-8 間對產量不影響，或鈣飽和度 ((交換性鈣 / CEC) \* 100) 在 32 - 68 % 及鎂飽和度 ((交換性鎂 / CEC) \* 100) 在 12 - 35 % 時對產量不影響，但 (3) 土壤 pH < 6 時且土壤水分不足時，鈣鎂

比值在 3 以下對產量會影響，需補充鈣，鈣鎂比值在 8 以上時對產量會影響，需補充鎂肥。

## 園藝作物缺鎂的土壤條件

(1) 交換性鎂在小於 0.8 cmol (+)/kg 時缺鎂；在交換性鎂大於 0.8 cmol (+)/kg 時缺鎂，為交換性鉀鎂比大於 0.4 或交換性鈣鎂比大於 7；或 (2) 大豆、小麥、苜蓿在鎂飽和度在 10 % 以下施用鎂肥有效；或 (3) 交換性鎂在 6 % 以下，施用鎂肥絕對有效；或 (4) 柑橘在土壤鎂飽和度 8 - 15 % 時會缺鎂，如果施用高鉀肥時，交換性鎂飽和度在 6 - 15 % 會缺鎂；(5) 柑橘苗在交換性鎂飽和度 5 % 以下會顯現缺鎂徵狀。柑橘交換性鎂飽和度 4 - 7 % 顯現缺鎂徵狀；(6) 葡萄蔓在正常鉀肥施用狀態，土壤交換性鎂 4 - 7 % 會顯缺鎂徵狀。

## 作物養分需求的評估工具應用 - 以 QUEFTS 的應用為例

在許多熱帶地區，農作物大多仍依賴土壤養分，養分的可利用性是土地評估研究中要考慮的主要土地質量之一。土壤質量通常被評定為低，中或高（糧農組織，1976 年），但是這些詞的含義很少以定量的形式給出，應隨時代需要提供定量資訊的評估系統。有一應用程式 QUEFTS 適合評估土壤潛在的養分供應。

該過程包括 4 個連續的步驟。首先，計算氮，磷和鉀的潛在供應量，如果假設沒有其他養分及其他生長限制因子，則應用 0-20 公分土壤層的化學性質與作物可以吸收的最大養分之間的關係限制產量。在步驟 2 中，考慮到其他兩種營養素的潛在供給，根據每種營養素的潛在供給來計算每種營養素的實際攝取量。步驟 3 包括根據氮，磷和鉀的實際攝入量，確定三個產量範圍。接下來步驟 4，將這些產量範圍成對組合，對營養物對估算的產量進行平均以獲得最終產量估算值。

QUEFTS 估算作物生產的平衡養分需求，對於確定最佳肥料施用方案以提高作物產量和養分利用效率至關重要。收集多年特定作物種植地區的田間試驗數據，以評估特定作物產量與養分吸收之間的關係，並估算氮素，磷和鉀的需求量。使用熱帶土壤肥力的定量評估（QUEFTS）模型確定大豆的目標產量，QUEFTS 模型預測了平衡養分吸收的線性 - 拋物線 - 高原曲線，目標產量從 3.0 噸增加到 6.0 噸  $\text{ha}^{-1}$ ，線性部分一直持續到產

量達到潛在產量的 60 - 70 % 為止。QUEFTS 模型可以適當地估計作物在一定產量下的養分吸收，並有助於制定用於作物生產的肥料推薦策略。

## 如何利用土壤資訊定性與定量調整施肥策略 – 水稻施肥為例

在水田施肥的應用上可決定使用尿素或硫銨做為氮肥的主要來源，例如在土壤 pH 值大於 7.5 的農田，應該使用硫銨，藉由硫銨的微酸性來避免氨揮散的損失，而在 pH 值小於 7 的農田中可以使用尿素，避免常年硫酸根的累積加速土壤酸化。

土壤有機質在水稻生產扮演角色並未清楚，但在一定土壤有機質含量以下，土壤有機質含量對於水稻生產是正面效應。日本 Kumazawa (1982) 認為施用有機質資材後，改善土壤構造，有利於水稻淺層根系的發展，水稻淺層根系與水稻產量有密切關係。土壤有機質分解對於養分提供，特別是氮素養分供應，約提供 50 - 75 % 的水稻吸收全氮量 (Broadbent 1978)；在日本高產 (> 6 t/ha) 水稻須依賴穩定的土壤有機質供應氮素，並非施用有機質對於水稻增產均有效用，施用的有機資材若在排水不良的環境下不能分解，且造成厭氣環境下，反而對水稻根系生長不利，而產量下降。施用有機質資材或綠肥施用，應當配合土壤資訊之排水等級資訊，有利於整體土壤營養管理方法與策略擬定。

以水田鉀肥的推薦量知識法則建立為例，如表 1，本表利用土壤資料庫的交換性鉀、陽離子交換能量、土類、土壤質地、排水與水稻鉀肥試驗完成水稻鉀肥施用量的建議。整理各地區的水稻鉀肥試驗資料所得對土壤鉀需求量的評量，並將土壤資料庫各地區土壤交換性鉀含量與陽離子交換能量換算為土壤鉀飽和度，並考量土類、土壤質地、排水等特殊狀況，配合水稻的分布圖，可以產製水稻鉀肥推薦量。臺灣地區土壤鉀含量一般不缺，1983 年林家棻水稻鉀肥肥效試驗報告已指出鉀肥的增產量有限，施用鉀肥推薦量與不施鉀肥的產量差異幾乎在 5 % 影響範圍內。

孟立克 3 號抽出磷小於 28 kg/ha 時，水稻會缺磷 (Luisanna 試驗場標準)。秈稻對磷的需求比粳稻為高 (IRRI 2000)。依據土壤肥力分析資料轉換表 P Bray No.1/mehlich's No.3 = 1.06，可以換算為 Bray No.1 的土壤診斷標準並推估水稻磷施肥推薦量。水稻缺鋅依 IRRI 的施肥推薦標準，酸性土如含 0.1 N HCl 可抽態鋅 2 ppm 以下，則作物將有缺鋅可能。在土壤酸鹼度大於 7 以上，而且有機碳大於 1.5 % (有機質約為 2.6 %) 則會在土壤溶液產生大量  $\text{HCO}_3^-$ ，造成水稻缺鋅，特別在高溫環境下 (IRRI 2000)。交換性鎂鈣

表 1. 水稻鉀肥推薦量

農業環境管理專家系統之肥力管理知識庫建立 --- 水稻					
資料項目	推論 (應用資料庫) 項目	規範	結論	問題 / 致因	對策 / 方法
肥培管理   鉀肥管理	肥力資料庫 --- 交換性鉀 (NH <sub>4</sub> -K)	1. 小於 0.2 meq/100g 土之交換性鉀	鉀低保持力 (Sanchez & Buol 1985)。	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。 3. 鈣、鎂元素拮抗。 4. 淺土或透水性高剖面且多雨區或經常灌溉。	1. 施用含鉀肥料，維持土壤交換性鉀飽合度大於 3%。 2. A=0.025，如果土壤為紅壤且土壤表層質地為” 坩質黏壤土” 或” 黏土” ； A=0.02，如果土壤為其它土壤，則氧化鉀肥施用量 (公斤 / 公頃) / 期作 KFERT = (A - NH <sub>4</sub> -K/CEC) *CEC*47*21.6； 如果 KFERT 為負值 0-30，則建議本期作暫時不施鉀肥或僅施用 1 包鉀肥，如果 KFERT 為小於負 30 以下，則在未來的二期作可暫不施鉀肥。 3. 土壤排水等級為” 不良” 及” 浸水” 者，依 KFERT 值再加 30 公斤 / 公頃氧化鉀 (連深，1987 作物施肥手冊；林慶喜，1985 花蓮地區作物營養缺乏及其防治)。 4. 上述計算之施用量分為基肥 20%，一期作插秧後 15 天，二期作插秧後 10 天 30%，一期作插秧後 30 天，二期作插秧後 20 天 30%，幼穗形成期 (一期作插秧後 52 天，二期作插秧後 45 天) 20% 施用 (連深，1987 作物施肥手冊)。
	土壤資料庫 --- 土壤形成 - 紅壤排水等級 - 良好土壤質地 - 坩質黏壤土及黏土	2. 表層 5 公分內之砂粒與坩粒部分小於 10% 之可風化礦物；或排水良好紅壤。	鉀供應力低 (Sanchez & Buol 1985)	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。 3. 淺土或透水性高剖面且多雨區或經常灌溉。	5. 增加鉀肥施用量，少量多施鉀肥；選用緩效性肥料。
	肥力資料庫 --- 相當於交換性鉀 (NH <sub>4</sub> -K) <0.21 meq/100g	3. 交換性 10 mg K <sub>2</sub> O/100g soil 是日本的水稻鉀肥力之臨界點	土壤鉀不足 (Jisuke Takahasi -The mineral nutrition of the rice plant 1967)	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。 3. 砂質土 / 缺鉀。	6. 增加鉀肥施用量，計算方法如前所述。
	肥力資料庫 --- 相當於交換性鉀 (NH <sub>4</sub> -K) <0.25 meq/100g	4. 交換性 12 mg K <sub>2</sub> O/100g soil 是水稻缺鉀可能存在	土壤鉀不足 (Ogohara 1960- The mineral nutrition of the rice plant 1967)	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。	

比大於 1 也會產生缺鋅的現象，除在東部蛇紋石發育土壤外，一般土壤不易產生此現象。

林 (1982) 之土壤肥力能限調查發現臺灣地區土壤有效性矽含量與土壤 pH 有密切關係，土壤 pH 在 6.0 以下之多數樣本有效性矽含量未超過 90 mg/kg，在 5.0 以下者，多未超過 40 mg/kg。依土壤肥力能限分類調查之分析結果，顯示二氧化矽低於 40 mg/kg 者，約佔 45 %。根據農試所連 (1977) 之報告：土壤有效性矽含量低於 40 mg/kg，施用矽肥水稻多可獲得增產，但桃園紅壤地區在 90 mg/kg 以下仍可獲得增產。全台各大土類之土壤有效態矽含量依序如下：黑土 > 安山岩土壤 > 東岸母岩沖積土，其有效態矽含量皆大於 150 mg/kg，臺灣黏土 > 砂頁岩沖積土 > 黏板岩沖積土 > 砂頁岩板岩混合沖積土 > 紅壤 > 片岩沖積土，其土壤有效態矽含量皆低於 90 mg/kg 以下。雖然土壤資料庫沒有土壤有效性矽的分析資料，但由土壤 pH 與土類分布的資料也可以推薦水稻是否應當施用矽酸資材。

利用地理資訊系統展示各地區農田土壤肥力狀態外，也提供鄉鎮主要產業肥培管理使用及管理的建議，如：施肥推薦量估算、耕作應注意事項提醒等功能。近期內的發展，結合各項農業空間資料庫，朝向建立農業管理系統的主要功能及技術原理系統，以獲得生產前之設計、生產過程管理和收穫後的分析等決策，包括確定產量及品質目標、播種前生產策略規劃、預測適宜生育期、量化動態生育指標、生產效益分析和系統維護等主要功能。確定產量和品質目標是作物生產管理的第一前提，根據各地區的光照、溫度、水分和土壤條件，確定其對作物產量的潛力；然後再根據當地作物平均產量與光、溫、水土生產潛力之間的差距、施肥量、水分管理和生產技術水準（包括優良品種的選用、栽培技術措施和防病治蟲水準）等為農戶制定切實可行的產量目標及生產結構。

## 結語

要實現以營養管理方法維護產量目標、保護土壤質量並善用自然資源這些目標，將須要針對每個相關技術，動態和空間規模量身定制新穎策略，以進行更精確的植物養分管理。在糧食的營養管理策略必須結合土壤化學、作物生理學、植物營養、分子生物學和資訊技術方面的改進。未來以田間為導向的植物營養研究必須更具策略性、跨領域和定量的性質；需要以微觀到中觀尺度的系統方法，以便把作物養分需求之間的相互作用以及對動態環境條件的影響，更加定量地瞭解作物對養分的效應。



## 參考文獻

1. 林家棻。1982。民國七十一年台灣省農業試驗所年報。台灣省農業試驗所。台中霧峰。
2. 連深。1977。民國六十五年台灣省農業試驗所年報。台灣省農業試驗所。台中霧峰。
3. 郭鴻裕。1993。台灣地區農田地力增進初步調查報告。台灣省農業試驗所特刊第 42 號。台灣省農業試驗所。台中霧峰。99 頁。
4. 郭鴻裕。2011。農業與地理資訊系統。農業地理資訊系統建置與應用研討會。行政院農業委員會農業試驗所。台中霧峰。
5. Janssen B.H., F.C.T. Guiking, D. van der Eijk, E.M.A. Smaling, J. Wolf and H. van Reuler. 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma.*, 46 (1990) 299-318.
6. Dobermann A, Witt C, Dawe D, editors. 2004. Increasing productivity of intensive rice systems through site-specific nutrient management. Enfield, N.H. (USA) and Los Banos (Philippines): Science Publishers, Inc., and International Rice Research Institute (IRRI). 410 p.
7. Zhang, X., Davidson, E. A., Zou, T., Lassaletta, L., Quan, Z., Li, T., & Zhang, W. (2020). Quantifying nutrient budgets for sustainable nutrient management. *Global Biogeochemical Cycles*, 34, e2018GB006060. <https://doi.org/10.1029/2018GB006060>

## **Techniques for Establishment Best Practices of Crops Fertilization Management**

Hornng-Yuh Guo

Division of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, COA

### **Abstract**

This article reviews the current fertilization problems of some internal and external factors of farmers, and proposes some techniques for evaluating crop nutrition management. On the topic of geographic information application, the current application of data on the accuracy and breadth of the main farmland has reached its practical value. A picture of the current situation of fertilizer usage in Taiwan and the techniques how to evaluate crop nutrition management are given. Combined the Geographic Information System (GIS) that integrate information about many soil properties and best management practices for fertilization can provide farmers to make nutrient management even reaching the aims of site-specific management. This paper is given some examples to discuss the tool relating to BMPs for fertilization and the further research priorities.

**Key Words:** Nutrient management strategy, Agricultural geographic information, Knowledge base

