

# 作物之合理化肥培管理

張庚鵬、李艷琪、黃維廷、林毓雯、劉禎祺

行政院農業委員會農業試驗所

## 前 言

台灣耕作土地面積不大，且因漸漸步入開發國家之林，勞工成本高，加上小農制之屬性，因此一般以大型機械操作之大規模農作如糧食作物等，或需密集勞力操作、栽種容易之農作如部份蔬菜、花卉及果樹等，在入關後，先天上勢將無法與許多國家一較長短。參考世界在農作之土地面積、人口、開發程度等各方面與台灣相彷彿，在生產上又已獲致成功而值得吾國學習者莫如荷蘭。荷蘭農作最精髓、能屹立世界農壇長久不衰者即為設施內之精緻栽培。

在設施精緻栽培中，作物之肥培管理通常採用養液栽培。狹義的養液栽培係指在設施溫室內，以養液管路灌溉，完全掌控作物生長所需的所有養分，以不帶（或帶極少量）養分的介質（如水、泥炭土、岩綿、砂等）栽培之方式稱之。廣義的養液栽培乃指不論在露地或設施內，不論栽培介質為何（土壤或任何介質），不論具備灌溉管路與否，凡依作物生長之需要，將溶解性肥料溶於水中，再施於作物（根系或葉面）之施肥方式均稱之。養液肥培管理之所以重要，乃因其能因應氣候、環境、栽培模式、作物特殊需求等因子，於最適當時機充分供應作物生育需求之各種養分，而造成高產與高品質。此正是合理化肥培管理之重要精髓，亦正是台灣明日農業上，進步農友所必需具備之技藝。下面將就作物之合理化肥培管理作詳細的介紹。

## 植物生長必需元素之種類、生理機能及利用外觀營養障礙徵狀進行營養診斷之要領

### (一)必需元素之種類及生理機能

植物生長所必需的元素，到目前為止，被確認的共有 16 種。另有

數種(例如矽、鈉等)則在特定條件下，能促進植物生長，稱為有益元素。這 16 種必需元素為碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鐵、錳、銅、鋅、硼、鉬、氯。其中碳、氫、氧可由空氣和水中取得，另外 13 種元素，在正常情況下，由根自土壤溶液中取得。此 13 種元素若根據植物正常生長所需要之吸收量來區分，可分為下列兩類：

- 1.大量元素：包括氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫等六種元素。其中氮、磷、鉀等 3 種元素，因需要量最大，最容易缺乏，所以最早被應用為肥料，稱肥料三要素。鈣素在一般土壤中含量豐富，只有在強酸性的土壤或退化田中，才有必要施用石灰補充鈣量。鎂素在強酸性土壤(例如紅壤)及砂質土中容易缺乏，須施用鎂質肥料補充。硫素在本省由於三要素等肥料之普遍施用，尚未聽聞缺乏之實例。
- 2.微量元素：包括鐵、錳、銅、鋅、硼、鉬、氯等七種元素。此七種元素植物雖需求量甚微，但在植物生理上卻不可或缺。由於需要量甚微，所以缺乏與過量中毒之間差距很小，在施用微量元素肥料時須注意不可超施。鐵素在土壤中含量豐富，引起缺鐵的原因，多是吸收過多錳或鋅導致鐵的不平衡，及因土壤 pH 值太高使鐵素不能有效化所造成。錳素缺乏多發生在中性及鹼性且富鈣質之土壤；另外，在水份充足的強酸性土壤，則容易發生錳過量之毒害。一般土壤不會缺銅，除非特殊有機質土或砂土，才有發生缺銅的可能。鋅素缺乏常發生於鹼性或石灰質土壤，還有，當氮、磷、鉀肥(尤其磷肥)施用過多時容易誘使鋅素缺乏。硼素在粗質地的酸性土或 pH 值高且富石灰質的土壤中容易缺乏，另在多雨地區，或長期灌溉含硼量低的水，都會使植物缺硼。鉬素缺乏的情形很少見，當土壤 pH 值低於 5.5 及栽種對鉬需求量較多的作物(如花椰菜、菠菜等)時較容易發生。氯素在自然界中普遍存在，尚未有缺氯的報告。

上述之植物必要元素，不論是大量或微量元素，對植物的正常生長都具有相同重要的地位，並且任何一種營養元素的特殊功能不能被其他元素所代替。各種必要元素在植物的新陳代謝、生長發育和後代繁殖扮演著重要的角色：

碳、氫、氧—構成植物體內水和有機物的主要成份，佔植物體重的大部

分。

氮—植物體內蛋白質、葉綠素、核酸和酵素的組成分。

磷—生命細胞的必要成分，植物用以合成核酸；合成高能磷酸結合物，以儲存、運轉能量，參與糖類之合成及水解等。

鉀—對糖類的運轉及澱粉的合成極為重要，並參與氣孔保衛細胞開合的功能。

鈣—細胞壁的組成分，且可與植物體內有毒的草酸結合，達成解毒的效果。

鎂—葉綠素的組成分，及多種與植物生長有關酵素的活化劑。

硫—三種含硫氨基酸的成分，為蛋白質合成所必需。

鐵—合成葉綠素的觸媒劑，也是呼吸、光合作用及共生固氮作用酵素的活化劑。

錳—合成葉綠素的觸媒及多種與植物生長所需酵素的活化劑。

銅—多種酵素的活化劑及合成維生素 A 所必需。

鋅—植物體內數種酵素系統的重要成分，控制著植物生長調節劑的合成。

硼—使植物體內之分生組織的分化順利進行，及促進碳水化合物轉移。

鉬—使植物體內之硝酸態氮素還原成氨，以合成蛋白質。

氯—幫助光合作用之進行。

## (二)各種要素障礙之徵狀

植物對特定元素之缺乏或過剩，會在外觀，尤其是葉片上出現特別之症狀。由此種症狀可以判斷植物何種養分障礙而採取對策補救。由於此種方法不需儀器，簡單易行，在田間工作不失為一簡易判別植物要素障礙之方法，故為現場工作人員及農民所歡迎。植物要素障礙症狀之判別方法簡單介紹如下：

### 1. 要素缺乏

各種元素在植物體內之功能及移動性難易各有不同，故其缺乏徵狀在植物體呈現之部位各也有差異。若依各種元素在植物體內之移

動性難易來區分，可分為下列三類：

(1)在植物體內移動性中等之要素，缺乏症狀發生於全株葉片者；如氮、磷、硫、鉬等。

氮—生長緩慢，發育不良，全株葉片黃化，老葉有較嚴重之傾向。

磷—葉片變小，葉色暗綠，成熟遲延，很多作物莖葉並呈現紫紅色。

硫—生長減緩，成熟遲延，全株葉片黃化，幼葉有較嚴重之傾向。

鉬—缺乏徵狀與缺氮相似，有些植物葉片有捲曲、葉緣燒焦、斑狀萎黃等徵狀。

(2)容易在植物體內移動性之要素，缺乏症狀發生於下方成熟葉者；如鉀、鎂等。

鉀—生長緩慢，莖幹瘦小，抗惡劣環境能力差，成熟葉葉尖及葉緣焦黃乾枯。

鎂—老葉葉脈間部分引起黃化(有些植物葉緣亦黃化)，與葉脈周圍之綠色成明顯對比。

(3)不易在植物體內移動性之要素，缺乏症狀顯著於新葉者；又依其頂端組織枯死與否分為列兩類：

A. 新葉變形，莖的頂端組織易枯死；如鈣、硼等。鈣—初期葉色呈不正常之暗綠，繼而新葉彎曲，葉尖白化、褐變枯死。果菜類之蕃茄尻腐、白菜及芹菜之心腐皆因缺鈣引起。

硼—新葉變厚、變脆、變黃、捲曲、凋萎和壞死，生長點之生長停止、死亡，果實或根莖部位有凸狀隆起或壞死斑點、中心部分黑變或褐變等。

B. 通常莖的頂端組織不枯死，如鐵、錳、銅、鋅等。鐵—老葉維持正常而新葉則變黃至白色。

錳—與缺鐵徵狀類似，但葉脈周邊殘留之綠色較缺鐵者明顯。某些蔬菜如蕃茄、甘藍、等缺錳時由則老葉先發生黃化徵狀。

銅—生長受阻，幼葉黃白化、葉片捲曲等。

鋅—莖長度變短，新葉變小、變窄、叢生，葉色灰綠，葉脈

間發生斑黃化等。

## 2. 要素過量產生毒害

導致要素過量的原因有二種；一種是人為因素，例如施肥過量等。第二種是自然因素，例如特殊的地形、土壤、氣候條件等。下面簡單介紹幾種要素過量產生毒害的徵狀：

氮過量—輕微時枝葉生長過度繁茂，葉色濃綠；嚴重時葉片變小、變厚、變濃綠，生育非常緩慢。

錳過量—蔬菜類作物錳過量常導致全株葉片之葉尖及葉緣黃化、燒焦、捲曲等。

硼過量—蔬菜類作物硼過量與錳過量之徵狀甚為相似。

鐵過量—鐵過剩之徵狀，最初小棕色斑點出現於下方葉片的尖端及葉肉，漸擴及上部葉片，嚴重時整株葉片呈暗棕色。

### (三) 由外觀診斷要素障礙之步驟

由外觀診斷要素障礙時，應先注意避免與病蟲害、藥害及其他因子(如缺水)混淆；特別是某些毒素病的症狀，與要素障礙之徵狀甚為相似，容易導致錯誤的結論。而後，應儘量依循下列之步驟，詳細的調查及謹慎的分析研判，以免作出錯誤的判斷：

#### 1. 現地調查

調查時期應儘量配合徵狀的發生時期。例如蔬菜作物缺鐵之黃化，常因高溫時期栽種於鹼性土壤，當高溫條件消失時缺乏徵狀即緩解或消失。故若不能把握正確的調查期，易導致混淆的研判。

#### 2. 聽聞徵狀發生的經過：

(1) 如係最近才發生，而過去沒有，很可能與病蟲害有關。如發生已久，並且在同一地區普遍發生則可能與要素障礙有關。

(2) 若發生多年，但在乾旱之年特別顯著，則有缺硼之可能。如其發生在潮濕之年顯著，則可能與錳過多之毒害有關。

(3) 調查農家的施肥管理情形，如發生多年，但只限於部份農田，則可能與農家之肥培管理有關。例如石灰施用過多可能導致硼、鋅缺乏，磷肥施用過多可能導致鋅缺乏，鉀施用過多可能導致鎂缺

乏等。

- 3.土壤及地形調查：土壤如屬鹼性則可能與鋅、鐵、錳等元素缺乏有關，若屬酸性則可能與鎂、鈣、鉬等的缺乏，鐵、錳的過剩有關。另外，土壤剖面形態及排水情形亦應注意；鹼性水田土壤排水不良易缺鉀、缺鋅，酸性水田土壤排水不良易導致鐵之過剩毒害。
- 4.徵狀觀察與判斷：應就發生要素障礙植物之葉片、果實等作詳細的觀察及記錄，並與各要素障礙之徵狀圖鑑比對，再作出可能性的判斷。值得注意的是，由外觀症狀診斷要素障礙必須十分謹慎，不可驟下結論。一者不同植物、不同品種間的元素障礙徵狀常有差異，容易發生混淆；再者田間發生的要素障礙常見不是單一元素之障礙，而是多種元素障礙之複合徵狀；因此，很難就外觀即作出肯定性的判斷。
- 5.植物體及土壤分析

當外觀症狀診斷沒有十分把握時，即應配合進行植物體及土壤之分析。所得分析資料再與上述現地調查之記錄參考比對，作出進一步之確認。若懷疑仍然存在，或者想更進一步在田間進行實地改良，即應進行下列之步驟。

#### 6.盆栽及田間試驗

盆栽試驗乃使用問題土壤以盆栽栽培，使植物要素障礙症狀重現，並依據第5項所得之資料，加上若干處理，以觀察其改良效果。盆栽試驗簡易、方便，其結果可作為田間實地改良之重要參考。但若田間之要素障礙已相當嚴重，需作緊急之補救，亦可參照盆栽之試驗方法，直接進行田間試驗。

### (四)本省易發生要素障礙之土壤

植物之發生要素障礙與否，主要由土壤之要素供應狀況決定。而土壤之要素供應情形，主要由三項因素決定；第一是成土因子：例如石灰質土易缺乏鋅、錳、鐵、硼等，紅壤易缺乏鎂、硼、鉬等。第二是土壤酸鹼度值(pH值)：土壤pH值對植物生長之影響很大，而其對營養要素的影響方面主要在要素的有效性。例如根據土壤調查，彰化的粘板岩沖積土含有效錳甚高，而南投的紅壤地區含有效錳甚低；但後者在潮溼

之年某些植物易發生錳毒害，前者卻偶有缺錳之情形發生。此乃由於 pH 值高低對土壤錳之有效性影響極大之故。第三是施肥情形：例如差不多所有土壤，對供應植物氮、磷、鉀等要素的需求均感不足，但由於三要素肥料的普遍施用，一般在田間甚少看見這三種要素的缺乏。下面介紹幾種本省較易發生要素障礙之土壤，以供參考：

**鎂缺乏**—植物之鎂素缺乏在本省可說甚為常見，但並非所有鎂素缺乏土壤施用鎂質肥料均能得到有效改良。通常強酸性土壤(例如紅壤)及坡地土壤缺鎂之情形最為嚴重，但若欲施用之鎂質肥料有顯著之產量回應，一般而言，土壤之交換性鎂須在 50ppm 以下。

**鈣缺乏**—通常發生在強酸性、鈣含量低的土壤，尤其在高溫的夏季。

**硼缺乏**—本省東部縱谷的片岩石灰岩混合沖積土、紅壤、彰化及宜蘭的粘板岩沖積土等的土壤有效硼含量較低，當氣候特殊或栽種需硼素較多的植物時，易有缺硼徵狀發生。

**鋅缺乏**—易缺鋅的土壤，在東部有海濱火山灰質土壤，花蓮之片岩石灰岩混合沖積土已因施用鋅肥得到改善；西部鋅含量較低的土壤為嘉南、雲林、彰化的砂頁岩及粘板岩沖積土。

**鐵缺乏**—易發生於石灰質土壤、沿海之鹽分地及 pH 值較高的粘板岩沖積土。

**氮過量**—土壤之氮過量主要由於施用過量的氮肥所致。梗軟弱，易致倒伏。

**錳過量**—強酸性、尤其 pH 值低於 4.0 以下之土壤，由於錳的溶解度很高，在潮溼之年易發生錳吸收過量之毒害。

## 作物之合理化肥培管理

所謂合理化肥培管理，簡單的說，就是讓所施用之肥料達成最高效率的生產量的肥培管理方式稱之。但是，要達成這種目標可不容易。首先，得先明瞭栽植土壤（或介質）之理化性質，然後，按所栽種蔬菜作物之特性（長、短期採收，品種差異等），參酌不同生育時期（苗期、營養生長期、生殖生長期等）、氣候（光照強弱、溫濕度高低等）、栽培

方法（設施或露地栽培、灌溉方法等）等因子之影響，以適當比率、適當量之肥料，適時以最佳的施用方法施用。接著，以一套簡單而實用的方法來進行肥力監控也是必須的，當栽培環境（如大量雨水沖淋等）或作物生育條件（如大量採收果實等）發生變化時，可以隨時掌握土壤肥力變動情形，而給予適當的肥料補充，使作物能達到高產量及高品質之生產目標。

由上述可知，影響肥培管理的因子眾多，並且各因子間通常都環環相扣。只要其中有一個環扣鬆掉了，就有可能讓整個作物生產遭受到嚴重的負面影響。因此，在栽種作物之前，先擬定一套完整的施肥計畫是必須的。唯有針對現場實際的需求，將肥料的種類、施用量、施用法進行適當的調整，才能真正達成合理化之肥培管理。以下將對影響肥培管理的重要因子作進一步的介紹：

### (一)栽培基質

無論栽培基質為土壤或其他介質（如泥炭土、岩綿、水等），其物理（如質地、團粒結構、孔隙度等）及化學（如酸鹼度、有機質、要素含量等）性質均與肥培管理息息相關。在擬定肥培管理流程時，基質之理化性質常被列為最優先考量之因子。下面簡單列舉幾個較典型的基質理化性質影響肥培管理事例，以供參考：

1. 在粗質地土壤（如砂質土、石礫地等）栽種作物，由於土壤之保水保肥力均弱，施肥方式宜採用少量多施；若一次施用多量的肥料，不僅易造成肥傷，且肥料也易大量流失。
2. 粉質粒含量高、團粒結構不佳之土壤容易在大雨襲打或高水位淹灌後，土壤表層結成一層硬皮。當結皮現象發生時，施於土表的肥料就不易為作物所吸收，根系也易因通氣不良而生育不佳。因此，在作物栽種前，即宜預作處理；或在土表覆蓋一層有機質（如稻草、蔗粕等）以防大雨直接沖擊；或加入大量有機質與土壤混拌，以改善土粒之團聚性；或採窄畦、低水位淹灌之方式；皆有助於防止土壤結皮現象之發生。
3. 部份地區土壤中要素含量不均衡，易引起栽種作物之要素缺乏或過剩毒害。例如在強酸性紅壤易發生缺鎂及錳毒害；在石灰黏板岩沖



積土（如濁水溪流域）因土壤 pH 值高，易發生鐵、錳、鋅、硼等元素之缺乏。栽種作物前，即應預作防備。

4. 採用無土養液栽培作物時，其介質不同，則供液方式及養液之要素組成亦應不同。例如以椰子殼、蛇木屑等栽種作物，由於介質質地粗，給液宜以噴灌方式；若以泥炭土、岩綿等為介質，則可以選用滴灌或噴灌。若以泥炭土栽植作物，由於介質錳鐵比過高，初期應多供給鐵而少給錳，以防缺鐵現象發生。若以岩綿為介質，由於介質 pH 值高，栽植初期應多供給鐵、錳以防缺乏。

## (二)生育特性

蔬菜作物的種類繁多，其生育特性也不盡相同，肥培管理自應針對不同之生育特性作必要之調整。以下將針對幾種重要的生育特性及其肥培管理之重點作簡單之介紹：

1. 生育時期：簡單分為苗期、營養生長期、生殖生長期（蔬果作物等）。苗期栽培僅須少量肥料，肥料過量易致生育不良或肥傷。營養生長期當以較高比率之氮肥為主，以生產足量的枝條及葉面積。生殖生長期則應適度將氮肥降低，提高鉀肥，因此時若氮素過多，枝葉繁茂將對果實不利。
2. 採收期區別：蔬菜作物若依採收期長短，可區分為短期及長期作物。短期作物如葉菜類等，其採收期常集中在一小段時間內；長期作物如果菜類等，其採收期可維持數月以上。短期作物之肥培管理著重於基肥之使用，追肥只用於輔助不足。長期作物因須長期維持植株之生育旺盛，而基肥僅能維持一段時間，因此追肥之使用技術相當重要。由於經年採收，其氣候因子變化較大，肥培管理也須要相應調整，此點在第（三）項中將再作說明。
3. 品種：不同品種常須搭配不同之肥培管理。以番茄為例，大粒種之農友 301 系列、亞蔬系列（四、五號）及小粒種聖女，在高溫條件下栽培，其因缺鈣造成尻腐病之嚴重程度依序為：農友 301、亞蔬、聖女。因此，在鈣素之管理上亦須有所區別。

## (三)氣候因子

氣候因子對作物的影響是相當鉅大的，蔬菜作物自然也不例外。除

了生理方面的影響，在營養上，氣候因子也扮演著相當重要的角色。氣候對作物的影響一般主要的因子為光照、溫度，露地栽培者尚有雨量等。光照及溫度影響作物對營養要素的吸收及利用率，水分（如雨水，灌溉水等）使加入的肥料溶解，如此才能為作物的根系吸收及利用。

一般說來，高溫高光照的條件下，氮素的吸收及利用特別的快，因此作物常呈現新生枝葉繁茂的景象；此時，可能導致巨量元素如鈣的缺乏（鈣素在高溫、通氣不良的條件下，吸收率降低）及鉀的潛在性缺乏（鉀量不充足時，在艷陽下易致全株葉片軟垂），或微量元素如鐵的缺乏。而在低溫低光照時，作物的生育速度緩慢，此時，應提供較高濃度的氮肥及磷肥（磷素在低溫時，被吸收率大幅降低），以促進作物的生長。

水分是作物生長所不可或缺的元素。正常說來，只要溶氧量充足，水分愈多，作物生育愈旺盛。在營養上，水分是營養要素（肥料）溶解的必要溶劑，只有溶於水的營養要素才能為作物吸收利用。在設施栽培中，水分常可藉由所設置的管路供應；但在粗放的露地栽培中，水分常由灌溉溝渠或雨水提供。值得注意的是，雨水提供的水分量由於難以掌控，常易發生肥料大量流失的現象，是故如何預防及補救亦為肥培管理的重要項目之一。

#### (四)肥料之選擇

肥料的種類可說五花八門。以種類區分，有化學肥料、有機肥料、微生物肥料；以性質區分，有單質肥料、複合肥料、綜合性肥料；以釋放速率區分，有速效性肥料、緩效性肥料。在眾多肥料種類裏，應該挑選何種肥料施用？何種肥料最能達成高產、高品質的目的？在抉擇肥料的種類之前，下列三個原則是必須先明瞭的：

1. 已知作物生長所必需的營養要素有巨量元素：氮、磷、鉀、鈣、鎂、矽，微量元素鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼，及碳、氫、氧（可由空氣及水中取得）。肥料之使用（不論選用任何種類、性質之肥料），其主要目的均在適時、適量地補充作物所不足的營養要素。
2. 除了少數含有毒害物質（如有害重金屬、酚酸等）之肥料外，肥料無所謂優劣，只有各具不同性質之差異而已。例如，化學肥料要素

成份含量高、速效，不當使用易致肥傷。有機肥料含有廣泛之營養要素，緩效，在部份問題土壤中多施且可改良理化性，但肥效低且難以精確掌控要素比率。

3. 肥料之選擇，務須考量所栽種作物之生育特性、栽種基質之理化性及氣候因子之影響。在作物生育特性方面，例如栽培短期內採收的葉菜，選用有機肥或化學肥均能達成效益；若栽培長期採收的茄子，則速效性追肥的選用即顯得重要。在栽種基質之理化性方面，如栽種基質為極粗（如砂土、石礫地等）或極細（如重黏土）質地之土壤，多施用有機質肥料以改善理化性質實為良策。在氣候因子之影響方面，例如在高溫高陽的季節栽種作物，氮素易致過剩，若選用一般有機質肥料，宜添加鉀肥含量高的化學肥或有機肥。

考量上述三項原則後，再依肥料之價格，及個人現有的設備與操作習慣，即可選出適合於個人使用之肥料。

### (五)肥力監控

為了讓所栽培作物能達成高產、高品質之目的，恆定地維持基質中適當的要素比率及要素量（即最佳肥力）是必須的。然則，肥力如何監控呢？一般說來，最精確的肥力監控方式為，定期（且為短期，須能顧及生育過程中的變因）採取基質及植體樣本，進行要素分析，如此即可精確地測知基質及植體中之要素比率及含量。可惜的是，要素分析常須昂貴的儀器及需耗去相當多的時間、人力，因此此法常礙滯難行。依據筆者多年的田間經驗，應用簡單的EC（電導度）測定法似為一較可行之肥力監控法。由於基質的EC測定容易（僅須取一份基質，加入五份純水攪拌後即可由電導度計測定），而經由電導度值即可粗略得知基質中之要素總量。

但此等肥力監控法須特別注意二項原則；第一：得先建立EC值與肥力之關係式，如基質EC值為某數值時，氮、磷、鉀等要素之濃度為若何，升高或降低時，各要素之濃度又變化若何，如此，吾人即可直接由基質之EC值來判斷要素之總量，並定出適當肥力之EC值範圍。第二：由於基質之EC值僅表示基質中要素之總量，並無法表示各要素之比率；因此，當所使用的肥料多樣化（不同肥料之要素比率不同）時，

或作物栽培環境有變動（如大雨使基質中之氮肥大量釋出）時，即使其EC值相同，由於要素比率不同，對於作物而言，應有不同的肥力意義界定。

## 結 語

施肥在栽種作物上既然扮演如此重要的角色，因此，在栽種作物前先擬定一套合理的肥培管理辦法是絕對必要的。而養液肥培管理技術乃是跳脫傳統之施肥模式，將高溶解性化學肥料操作得更得心應手的一種施肥技術，通常應用於具高經濟作物之精緻栽培。故維持適當而穩定之土壤肥力及高肥料利用率，乃是促使作物達成高產量及高品質之最佳方法。