

有機栽培之土壤肥力建構與作物生長

陳吉村 博士

行政院農業委員會花蓮區農業改良場

前言

植物必須的營養元素有碳、氫、氧、氮、磷、鉀，鈣、鎂、硫、鐵、錳、硼、銅、鋁、氯等 16 種，其中碳、氫、氧可由空氣與水供應，其餘養分則主要來自土壤礦物、土壤有機質與人為添加的肥料。

有機栽培是一種強調以不污染環境、不破壞生態及提供消費者健康與安全農產品為訴求的農業生產方式。在肥培管理上，有機栽培強調土壤肥力的保育，以便土壤所含的養分能發揮最大的效果，從營養元素在土壤中的供應型態來看，土壤中之營養元素通常以礦物態、有機態、交換態及可溶解態等幾種型式存在，其中氮、磷及硫等元素則大部分是以有機態的形式存在，而包含在有機物中的養分有一部份是很容易分解而被植物利用的，有一些甚至可以不經過分解就可以直接供給植物吸收，因此其有效性是非常高的。尤其有機栽培強調的就是施用大量的有機質肥料，使土壤中的營養元素以有機態的形式存在。因此，有機栽培之農產品具有比化學栽培更均衡的營養、有較好的口感及味道、礦物質含量較多等優點，所以有機栽培是一種兼具環境永續發展及生產健康安全農業產品的一種栽培方式，值得大力推廣。

有機栽培之土壤肥力建構

一、改善土壤環境與保養土壤

影響作物生產之環境因素很多，可分氣候與土壤兩方面，若不談氣候因素，則作物生產主要受土壤環境影響。所以要使作物有效生產，首先應造就良好的土壤環境，也就是使土壤物理性、化學性與生物性相互調和，讓作物能有效利用土壤養分發揮其潛能。台灣土壤的問題，一般以強酸土、排水不良、土壤密質、有機質缺乏、

鹽分過高、重金屬污染等六大問題為主。因此有機栽培之土壤肥力建構首先就要解決這些問題，如此才能孕育生產力高的土壤，以促進生產。

台灣的土壤問題

| 項目 | 意義 | 造成原因 | 影響 | 對策 |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| 強酸土 | pH < 5.5。 | 洗滌作用。 鹽基流失。 硫酸鹽產生。 酸性肥料。 有機物分解酸雨(水)帶入。 | 鐵、鋁、錳毒害。 鉀、鈣、鎂等缺乏。 微生物活動受阻。 | 施用天然石灰物質。 |
| 排水不良 | 灰斑在 40~90 公分深之位置。 | 地下水位高。 質地不均。 犁底層。 | 根系通氣不良。 | 選擇作物。 暗管排水。 作畦。 深層耕犁。 |
| 有機質缺乏 | 有機質 < 2%。 | 自然環境。 集約耕作。 少綠肥作物。 有機肥補充少。 | 喪失有機質及對土壤物性及生物性之許多優點。 | 補充有機肥。 綠肥作物。 休耕。 草生栽培。 |
| 土壤壓實 | 總體密度 > 1.2 g/cm ³ 。 | 機械壓實。 浸水耕犁。 自然環境生成。 | 限制根系生長。 | 深耕。 施用有機肥。 |
| 鹽化土壤 | 土壤水飽和抽出液電解度 > 4 mmhos/cm | 海水倒灌。 蒸發量 > 降雨。 施肥不當。 排水不良。 廢水污染。 | 妨礙植物吸收水及養分。 | 選擇作物。 洗鹽。 注意灌溉水品質。 |
| 土壤污染 | 多指八大有害重金屬污染。 | 主要為水，其次為空氣、廢棄物、農業資材等。 | 作物毒害引起人體病症。 | 阻絕污染源。 慎選作物。 |

其次，有機栽培的土壤肥力建構應重視土壤保養；沒有上述缺點的土壤，因人類長年在田地中種植作物，導致土壤物理相、化學相及生物相的變劣，其中以土壤養分的減少及有機物質的降低最為嚴重，可藉休閒、施用有機質肥料、種植綠肥作物及設計輪作制度等來維持土壤肥力。

二、講求肥培技術

改善土壤環境給予作物適當的生長條件，雖然可使土壤所含的養分為作物充分利用，但肥料仍是作物生產不可或缺的物质；有機栽培所用的有機物質和天然礦石一般為緩效性，同時因其來源不同使植物養分含量及分解速率有所差異，施用時宜針對作物配合土壤性質在「適當時期」以「適當的量」施在「適當之位置」才能生效，否則不是沒有效果，便是產生毒害，或造成環境污染。

此外，為維護土壤理化及生物性質與養分之供應，施用的有機物質最好能妥善調配易分解型（如雞糞、豆粕...等）與難分解型（如樹皮、稻草...等）兩類有機肥料；其他如堆肥之腐熟度、重金屬含量、有害酚類化合物和其他有害因子等在肥培時也應注意。

各種有機質肥料養分含量

| 有機質肥料(堆肥) | 全氮% | 磷酐% | 氧化鉀% |
|-----------|-----|------|------|
| 雞糞 | 3.1 | 6.7 | 3.3 |
| 豬糞 | 3.8 | 12.4 | 1.2 |
| 牛糞 | 1.4 | 1.9 | 0.9 |
| 卵雞糞+鋸屑 | 1.9 | 3.7 | 2.4 |
| 肉雞糞+鋸屑 | 4.0 | 4.8 | 2.8 |
| 稻蒿+雞糞 | 2.1 | 1.0 | 2.5 |
| 稻蒿+豆粕 | 2.6 | 0.3 | 2.6 |
| 豬糞+鋸屑 | 2.2 | 3.3 | 1.5 |
| 豬糞+稻殼 | 2.3 | 3.7 | 1.2 |
| 牛糞+鋸屑 | 1.7 | 1.8 | 2.0 |
| 牛糞+稻草 | 2.2 | 2.2 | 2.3 |
| 牛糞+稻殼 | 1.4 | 5.6 | 1.9 |
| 牛糞+乾秣 | 2.3 | 1.4 | 2.2 |
| 樹皮堆肥 | 1.6 | 0.9 | 0.5 |
| 都市圾垃及堆肥 | 2.0 | 1.3 | 1.4 |

台灣有機質肥料之一般使用量

| 有機質肥料 | 使用量（公噸／公頃） |
|-------|------------|
| 一般堆肥 | 10 ~ 30 |
| 垃圾堆肥 | 10 ~ 20 |
| 牛糞 | 10 ~ 30 |
| 豬糞 | 5 ~ 10 |
| 純雞糞 | 2 ~ 6 |
| 穀殼雞糞 | 4 ~ 12 |
| 豆粉 | 1.5 ~ 3 |
| 穀殼 | 10 ~ 20 |
| 米糠 | 1.5 ~ 3 |
| 骨粉 | 0.5 ~ 1 |

三、適當的輪作與間作

不同種類的作物可以先後接替種植，叫作「輪作」，輪作可以避免連作障礙。在主要作物兩旁栽種其他作物，可以減少病原和害蟲攻擊主要作物，叫作「間作」，間作具分攤病蟲害的效應，為有機栽培的一種技巧。

要輪作前，應先進行曬土，利用太陽光進行殺菌，減少病蟲害的發生。水稻與旱作或蔬菜都是很好的輪作組合，可以減少很多因連作而產生的病蟲害，例如容易感染線蟲的作物可與萬壽菊、草決明、玉米、水稻等禾本科作物輪作或間作，容易感染鐮刀菌的作物可與青蔥、韭菜、大蒜等輪作或間作。

蔬菜的連作、輪作關係

| | |
|---------|---|
| 可以連作的蔬菜 | 小白菜、萵苣、茼蒿、蔥、胡蘿蔔、菠菜、韭菜 |
| 不宜連作的蔬菜 | 茄子、蕃茄、青椒、馬鈴薯、豌豆、扁豆、四季豆、甘藍、白菜、蘿蔔、胡瓜、扁蒲、絲瓜 |
| 可以輪作的蔬菜 | 蘿蔔→茄子 黃瓜→蔥→扁豆 蘿蔔→菠菜→黃瓜 茄子→蘿蔔→菠菜 甘藍→甜菜→萵苣→蘿蔔 |

四、綠肥作物

綠肥是將整個綠色植物當作直接肥料，一般以豆科作物為常用的綠肥，如田菁、太陽麻、虎瓜豆、紫雲英、大豆等綠肥作物；另也有用油菜、蘿蔔等非豆科植物當作綠肥作物；另外近年來更推廣具景觀及補充肥力效果之景觀綠肥。豆科綠肥因可與根瘤菌共生固定空氣中的氮素，故可增加土壤氮素的來源。綠肥作物無論豆科及非豆科，均具有保存土壤營養的功效，因綠肥能將土壤中之營養吸收到綠肥植體中暫時保存，在分解時再釋放出營養分，並提高磷素及微量元素之有效性。

在台灣的農業生產中，從長期土壤保養的觀點來看，雖然每年不能種一次綠肥，但至少每隔兩年或三年應種一次綠肥，尤其進行有機栽培之農地，綠肥的種植是保持土壤肥力必要的耕作技巧。一般栽培的綠肥作物，其效果大致可歸納成下列幾點：

- (一)增加土壤養分含量，提高養分有效性。
- (二)增加土壤有機質含量。
- (三)兼具覆土及山坡地水土保持功能。
- (四)防止休耕農田雜草叢生。
- (五)可當作人類蔬食用及禽畜飼料。
- (六)冬季綠肥可提供蜜源及美化景觀。
- (七)紓解冬季蔬菜過剩壓力。
- (八)配合休耕及發展觀光休閒產業

五、微生物肥料

微生物肥料，是指含有某種活微生物或酵素的固體或液體製劑，將其施用在種子、幼苗或土壤上，可加強營養成份之有效性，或補充土壤中有益微生物數量，使土壤維持良好生態環境的一種肥料。

微生物肥料根據其作用，基本上可分為固氮菌(包括共生、協生及非共生固氮菌)、溶磷菌(包括真菌、放線菌及細菌類)、溶矽菌、菌根菌、促進作物生長之根圈微生物、分解菌、鐵物質生產菌、有機聚合物生產菌、複合微生物肥料、堆肥用微生物肥料等。微生物肥料主要的功能為：

- (1)固氮作用：固氮根瘤菌包括共生、協生及非共生固氮根瘤菌，可以將空氣中的氮素固定為氨，轉變成植物可利用的氮化合物，此作用是直接增加土壤的氮素來源，並能替代或減少化學氮肥的施用。
- (2)溶解作用：土壤中存有許多植物不能利用的結合型營養元素，如磷、鈣、鐵等，需靠根圈之溶解菌溶解後才能被利用。因此，溶解結合型營養元素的菌可以做為提供植物營養再利用的功能，並可替代或減少化學肥料的施用，例如菌根菌。
- (3)增進根系營養吸收及生長的作用：微生物肥料中有增進根系營養吸收及生長的菌，如菌根菌即具有增加根系吸收能力及表面積，即可減少化學肥料的施用，提高土壤中營養元素的供應效率。

六、堆肥

所謂有機堆肥化處理就是堆積有機物的殘渣，經由微生物的繁衍使有機物分解、發酵至完全腐熟，形成鬆軟、深色並具有泥土芳香的有機肥，其直接施用於土壤，不會危害作物，並有利於作物的生長。

有機質肥料與化學肥料的不同，在於化學肥料是化學合成的，具速效性肥效，但容易流失，若長期施用則易破壞土壤的活性，致生產力降低；有機質肥料是自然產物，具緩慢釋放的性質，較持續長久，不致對土壤造成鹽害，可增加土壤的有機質，恢復土地的生命力，增進土壤的活性及促進作物生長。

有機栽培與作物生長

一、從土壤養分供應來看有機栽培

傳統的植物營養學認為植物必須的營養元素有碳、氫、氧、氮、磷、鉀，鈣、鎂、硫、鐵、錳、硼、銅、鋁、氯等 16 種需要量較多的元素，因此這 16 種營養元素在植物生長及生理作用所扮演的角色也被研究的較為清楚。但是，透過近代更精密的儀器分析則可以在植物體內檢測出包含上述 16 種營養元素以外超過 70 種以上的礦物元素，幾乎自然界存在的元素在植物體內都能找到，雖然這些元素的含量很低，但對植物或人類而言都是不可缺少的。

從基本的植物營養學資料就可以看出，大量元素如氮、磷、鉀，鈣、鎂、硫在植物體所佔的比率很大，可以達到 0.1~1.5%的水準，而鐵、錳、銅、鋅、鉬、氯、硼等微量元素所佔的比率則非常低，其差異甚至達到百萬倍之多，更遑論其他更微量的元素，因為其含量很低，常在儀器偵測的極限範圍之外，因此也就很難釐清其所扮演的腳色及所需要的量。以對人體有益的硒元素為例，根據美國的資料指出，新鮮蒜頭硒的含量在蔬菜類中最高，可達 0.276 mg/kg，而一般蔬菜平均硒的含量僅為 0.01 mg/kg 左右，其含量比微量元素更低，因此更難掌握。

因為有機栽培強調的就是施用大量的有機質肥料，使土壤中的營養元素以有機態的形式存在。一般而言，土壤中常見營養元素的有機型態有三種：

- (一)一般有機物：即動植物殘體遺留於土壤中的有機物。
- (二)腐植質：一般有機物在土壤經過反應後所形成之結構較為複雜的物質。
- (三)有機錯合物：營養元素與有機質以錯化合物之型態結合的狀態。

其中以錯合物型態存在的營養元素，因不需經過有機物的分解，且可透過錯合物的溶解及解離等方式使營養元素直接脫離配位基而直接被植物吸收，因此其有效性較高。

微量元素如鐵、錳、銅、鋅等微量元素在土壤中與有機物均能形成錯化合物，以銅為例，有機態銅約佔銅總量的 20~50%，營養元素的錯合反應能使一些較難溶解的固態轉化成可溶態，並增加這些元素在土壤中的可移動性，提高這些營養元素的有效性，不過錯合反應也會使一些元素變的更難溶解，因此不可不慎。

以養分之供應而言，碳、氫、氧等大量元素可藉由空氣與水的供應而獲得補充，但其餘的養分則必須依賴土壤礦物、土壤有機質與人為添加的肥料來補充。以現代的科學技術而言，我們提供給植物的養分尚停留在僅能注重氮、磷、鉀、鈣、鎂等幾種大量營養元素補充的層面，而硫、鐵、錳、硼、銅、鉬、氯等微量元素的用量及施用時機仍是人類目前尚無法完全掌控的，更遑論其他需要量更低的硒、鍺等元素的供應，尤其這些極微量元素若使用過多常會造成毒害，因此也就更難掌握其使用量及施用時機，也就無法適時適量的提供植物的需要。

過去因為栽培技術較差，種植頻率及密度也較低，植物受限於氮、磷、鉀等大量營養元素的缺乏，因此生長速度較慢，所以產量也較低，但也因為植物生長及吸收較為緩慢，因此土壤才能透過風化及溶解等物理機制釋放出足夠的微量元素來供作物吸收，最後達到土壤營養供應速率與作物生長速度相平衡的狀態，使植物能維持正常且健康的生

長，這是一種很微妙的自然平衡機制，以現在人類的科學能力實在很難達到如此完美的控制。所以如尼羅河等每年的氾濫或是以燃燒森林利用自然界養分的栽培方式才能獲的健康及高產的食物，也才能造就人類的文明。

可是現在的農業生產為求管理方便與增加產量，因此以提高大量元素的用量及連續栽培單一作物為手段，強迫土壤提供高於其負荷能力的養分供給，過量的氮、磷、鉀肥使作物進入奢侈生長的階段，雖然沒有立即的異常或病徵出現，但在礦物質養分來不及補充而作物又要快速生長的狀況下，植物細胞來不及充實微量元素及代謝產物，因此只能以較少的材料及水分來填充植物細胞的空隙，所以雖然表面上產量獲得提升，但作物整體的營養卻不平衡，導致作物整體的營養價值下降、缺乏好的風味及不耐儲存。人類在食用這些農產品後，雖然得到飽足感卻無法獲得完整的營養，現代人文明病如此猖獗或許這也是一個重要的原因吧。

從營養元素在土壤中的供應型態來看，包含在有機物中的養分有一部份是很容易分解而被植物利用的。例如以錯合物型態存在的營養元素，因不需經過有機物的分解，而且可以透過錯合物的溶解及解離等方式，使營養元素直接脫離配位基而直接被植物吸收，因此其有效性較高。另外一部分存在有機物中的養分則必須透過微生物分解才能釋放出來而被植物所利用，因此有機物的養分是一種速效及緩效兼具的養分供應者。而有機栽培強調建構優良的土壤環境，以施用有機質肥料來增加土壤有機質的含量，以便土壤所含的營養元素能以有機的型態存在而有效發揮，並從有機質中獲得大量的微量元素，使植物在吸收各種營養元素時能透過植物與土壤的自然機制而達到供需平衡。

另外，有機栽培因土壤經過有系統的建構，因此通常土層較深、土壤較鬆軟、通氣及排水良好，這對植物根系伸展及發育有極大的幫助，深而廣的根系可以快速吸收更多的養分供給植物生長，充分的供給氧氣可幫助養分吸收，這些都是有機栽培與化學栽培不同之處。

二、從植物生長來看有機栽培

新鮮植物之水分含量約 70~95%，扣除水分後所剩餘的部份即為乾物質，其中有機質佔植物體乾重的 90~95%，礦物質僅佔 5~10%。植物體中主要的有機質為蛋白質和其他含氮化合物、脂肪、澱粉、纖維素和果膠等，它們主要是由碳、氫、氧及氮所組成。碳、氫、氧三種元素為所有生命所必須，在植物體中約佔乾重的 90%以上，它們在植物

體中主要的作用有以下兩個：

(一)構成植物體全部有機化合物的主要成分及參與生長及發育的各種代謝過程，例如構成植物細胞壁成分的纖維素、半纖維素、幾丁質和木質素等都是由碳、氫、氧等元素所構成，而其他參與代謝反應的蛋白質、核酸、糖類、脂肪和有機酸中的成分大部分也都是由碳、氫、氧所構成的。

(二)提供植物生長發育和代謝活動所需的能量，用於能量吸收的葉綠體、核酸及酵素等，或用於儲存能量之澱粉、脂肪和蛋白質等化合物之構成元素也是以碳、氫、氧為主。

因此，碳、氫、氧等大量元素的供應是植物生長所不可缺少的，在充分供應的情況下，植物可以維持正常的生長。然而，雖然礦物質元素僅佔植物體乾重極低的比率，但其在酵素反應中的催化作用大多是直接且具有專一性的，也是其他元素無法取代的，因此礦物元素的含量雖低卻是非常重要的而不可缺少的，這一點在植物及人體都是相同的。因此，若僅供應碳、氫、氧、氮、磷、鉀等大量元素，雖然植物仍能生長，但卻是一種不健康的生長。因此，從植物的生理反應與對養分需求的關係來看待有機栽培之土壤養分對植物養分之供給，可以發現其間之供需平衡是非常奇妙的。如果從植物的生長速率、選擇性吸收、不同生育階段之吸收及代謝產物之累積來看待有機栽培與植物生長之關係，則更能發現有機栽培的優點。

結論

有機栽培首先要建構適合植物生長的良好環境，提供充分而且容易吸收的養分，再配合土壤豐富的微生物與植物形成巧妙的供需平衡，互利共生各取所需。因此，有機栽培之農產品具有比化學栽培更均衡的營養，適當的生長及適量的養分供應，使代謝反應可以形成所需的各種物質，所以植物細胞可以得到充實，讓有機栽培的農產品才能有較好的口感及味道、礦物質含量較多及養分比較均衡與耐儲存等優點，而受到消費者的喜愛。