

設施栽培土壤肥培管理

作物環境課助理研究員王斐能、課長羅秋雄

前言

土壤是影響作物生長的重要因子之一，有肥沃且健康的土壤才能生產優良的農產品，然而肥沃的土壤並非大量施用肥料就可以達成目的，無論化學肥料或有機肥料，過度使用都對土壤有負面影響。近年來北部地區設施栽培面積持續增加，吉園圃或有機認證的農場大多具備網室設施，由於設施屬於密閉性空間，沒有天然的雨水淋洗作用，加上有機質肥料氮素含量較低，往往造成農友施肥量偏高情形，經年累月後就發生土壤鹽化、養分不均衡及重金屬累積等現象。政府持續宣導合理化施肥觀念，建議設施內栽培作物應比露天栽培減少肥料施用量，並注意土壤肥培管理，以防範土壤性質惡化。

就土壤理化性質而言，目前農田土壤因施肥管理不當，已出現各類養分不均衡的問題，據本場土壤檢測分析資料統計顯示：土壤酸鹼度值48%偏酸，11%偏鹼；電導度值8%偏高；有效性磷67%偏高，13%偏低；有效性鉀67%偏高；有效性鈣76%偏高，16%偏低；有效性鎂73%偏高，14%偏低；有機質10%偏低；重金屬2%偏高，以上統計資料包括設施及露天栽培。本文針對設施栽培應注意的土壤肥培管理重點簡述如下：

合理化施肥

瞭解自己農園土壤的性質，再給予適

當土壤環境改善及肥力調整，避免單一養分過量或缺乏徵狀，就是合理化施肥的原則。需瞭解土壤特性及肥力情形的農友，可透過本場土壤肥料專家協助，給予改善建議。因此，天底下沒有最好的肥料，適合自己土壤性質的就是好肥料。也沒有最好的土壤，適合栽培作物性質的才是好土壤。目前設施蔬菜栽培以施肥過量造成鹽害的問題居多，主要原因是設施無雨水淋洗作用，多餘的肥料不易流失，又因蔬菜生育期短、耕作指數較高，加上化學肥料及有機質肥料的過量使用等因素，造成土壤鹽類累積。土壤養分過量問題在初期常被忽視，後期造成鹽害時才發現問題的嚴重性。鹽類累積偏高的土壤應當逐步減少肥料的施用，達到合理化施肥目的，並可節省肥料成本。

化學肥料推薦量

一般蔬菜肥料推薦量如表1，由於過去之肥料試驗多未針對設施栽培進行研究，故參考表1肥料推薦量時，宜採低限值施用，才符合設施合理化施肥原則。以葉萵苣全期施三要素100-50-90公斤/公頃為例：每公頃先施用堆肥5公噸條件下，若以台肥五號(16-8-12)當肥料來源，並以氮素為換算基準，則每公頃需台肥五號用量 $=100 \div 16\% = 625$ 公斤，台肥五號625公斤之三要素含量分別為100-50-75公斤，其中氧化鉀不足15公斤，若以氯化鉀

(氧化鉀含量60%)補充，則每公頃需氯化鉀用量為 $15 \div 60\% = 25$ 公斤。若預計將全期施肥量分為兩次施用時，每次每公頃施肥量減半為312公斤。由於設施一般均以棟為單位，故應依據設施面積實際大小再換算施肥量。

有機質肥料施用

有機質肥料的主要材料來源為農畜產廢棄物，難免在材料中附著有病原菌、生蟲或蟲卵及雜草種子，若按正常堆積腐熟，堆肥堆溫度可達到60℃以上的高溫，可將其完全殺滅或致其無法發芽，可減少因有機質肥料的施用而帶來的病蟲害、雜草管理及環境污染問題。有機質肥料的腐

熟程度會影響作物的生長，施用腐熟程度不足的有機質肥料，在土壤水分含量適當時會進行二次醱酵，造成與作物競爭土壤中的氮肥，使作物生長有暫時缺氮的現象，同時，在分解醱酵過程中產生高溫及有害物質，也都會影響作物根部的發育。另外，未醱酵完全的有機質肥料在土壤中進行二次醱酵時，產生臭味，進而引誘蒼蠅及蚊子等衛生害蟲，造成對環境衛生的污染。

有機質肥料施用量可依下列簡易公式估算而得；有機質肥料施用量(公斤)＝氮肥推薦量) $\times (100 \div \text{堆肥乾物中氮素成分}) \times (1 \div \text{堆肥乾物含量}\%) \times 2.0$ 或1.25。

表1. 一般蔬菜堆肥及三要素推薦量

蔬菜種類	堆肥 公噸/公頃	氮 公斤/公頃	磷酐 公斤/公頃	氧化鉀 公斤/公頃
葉萵苣	5	100-120	50-100	90-120
嫩莖萵苣	10	120-180	90-120	120-150
小白菜	10	180-250	50-75	100-150
結球白菜	10	200-250	90-150	120-180
菠菜	20	150-180	90-120	120-150
莧菜	10	180-250	50-75	100-150
蕓菜	10	120-180	50-90	100-150
甘藍	10	秋冬作 250-350 夏作 200-300	70-90	120-180
球莖甘藍	10	100-120	70-90	120-150
茼蒿	10	140-150	90-110	100-140
*芹菜	20	150-230	60-90	150-180
花椰菜	10-20	180-300	70-170	130-230
青花菜	10-20	190-230	90-110	150-210
芥菜	10-20	180-240	90-120	150-180
葉菜甘藷	10	90-120	30-60	160-200
蔥	20	240-275	95-105	90-120

※本地種芹菜氮素、磷酐及氧化鉀各減量 1/3。

註：1). 氮肥推薦量，係指作物肥手冊所推荐之各種蔬菜氮素用量。

2). 牛糞堆肥、豬糞堆肥及一般堆肥氮素礦化率以50%計，所以用2倍量，雞糞堆肥及豆粕堆肥等以80%計，所以用1.25倍量。

例如葉萵苣在施用低成分一般堆肥10–15公噸/公頃下，化肥推薦量為氮素100–120公斤/公頃，若選擇施用雞糞堆肥，如氮素、磷酐及氧化鉀含量分別為2.3%、2.0%及1.8%，水分含量為30%，則其計算方式如下：

$$100 \times (100 \div 2.3) \times (1 \div 0.7) \times 1.25 \div 7,700 \text{ 公斤/公頃}$$

$$120 \times (100 \div 2.3) \times (1 \div 0.7) \times 1.25 \div 9,300 \text{ 公斤/公頃}$$

因此，葉萵苣完全施用有機質肥料情況下，計算而得每公頃施用雞糞堆肥約7,700–9,300公斤，若半量施用化學肥料，則雞糞堆肥施用量應減半。

土壤酸鹼度(pH)

設施栽培在土壤酸鹼度管理上與露天栽培相同，適宜範圍在pH 5.5–6.8之間。酸性土壤易缺乏鈣、鎂、磷元素，並有過量的鐵、鋁、錳等金屬元素，鹼性土壤則容易缺磷及微量元素。酸鹼度與土壤中鈣、鎂含量呈正相關性，故酸性土壤應施用石灰資材改善，選擇合適的石灰資材種類並適量施用可防止土壤酸化，但不可過度濫用石灰資材，以免矯枉過正。酸鹼度值大於7.0的土壤應立即停止使用石灰資材及鹼性肥料，必要時可施用硫磺或弱酸調降土壤酸鹼度值。土壤酸鹼度會影響作物對肥料的吸收及微生物的活動，最好能定期自行用酸鹼度試紙檢查土壤。

土壤電導度(EC)

設施栽培因缺乏雨水淋洗作用，易累積過量鹽類，導致土壤電導度值偏高，比一般露天栽培更容易發生鹽害問題。土壤電導度參考值如表2，正常範圍介於0.26–0.60dS/m(土:水=1:5)。土壤鹽化現象最明顯的特徵，在土壤表面乾燥時有白色結晶，澆水後結晶即溶解消失。土壤鹽化的後果，會阻礙作物生長和根系發育，尤其是對種子發芽及幼苗生長影響更大，造成產量降低、作物生長遲緩、高低不齊與葉片枯黃現象，有時讓農友誤以為肥分不足而再追施肥料，追施的肥料非但沒有幫助，反而讓土壤鹽害情形更為惡化。

土壤鹽化的改善方法，程度輕微者應減少施肥量，以氮肥施用為主，有機栽培農戶可選擇豆粕類施用；鹽化程度嚴重者可採取改善措施：1. 灌排水淋洗：洗除部分可溶性鹽類，但灌水量不足時效果有限，因乾燥後鹽分會藉由毛細管作用又回到表土層。2. 拆除網室塑膠布：露天淋洗雨水，多雨季節才適用。3. 種植耐鹽作物及需肥量大之作物：如大豆、玉米。4. 種植綠肥植物並移除殘株。設施發生鹽害的案例有部分是水源問題，灌溉水質電導度大於750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 即不符合標準，但多數案例是密集耕作與施肥過量造成，管理策略上應避免長期大量施用高鹽分的有機質肥料，例如生雞糞、未腐熟的禽畜糞堆肥、植物纖維較少的或粉末狀的堆肥通常鹽分較高。自行購買簡易的電導度檢測儀器檢測，或按土壤採樣方法採取土壤樣品送農業改良場檢測，可定期做好土壤健康檢查，檢測土壤電導度就像是做血壓的定期檢查一樣重要，藉以調整施肥量。

表2. 土壤電導度(EC)與作物生長關係

飽和土壤	土壤電導度(EC)		說明
	土:水=1:2	土:水=1:5	
0-1	0-0.25	0-0.10	土壤肥力低，不利作物生長，需增加施肥量。
1-2	0.26-0.50	0.11-0.25	肥力仍嫌略低，幼苗及不耐鹽作物生長良好。
2-4	0.51-1.25	0.26-0.60	適合大部份作物生長，對不耐鹽作物則偏高。
4-8	1.26-1.75	0.61-0.80	部份作物生長受阻，但耐鹽作物仍可生長良好。
8-16	1.76-2.00	0.81-1.00	大部分作物生長受阻，可灌水淋洗多餘鹽分。
>16	>2.00	>1.00	絕大部分作物會受到鹽害，影響正常生育。

註：飽和土壤電導度(單位：dS/m)為 1 時，等於 0.26(土:水=1:2)，也等於 0.11(土:水=1:5)。

土壤有機質

一般土壤有機質含量推薦值應在3%以上，目前設施栽培土壤有機質含量大部分均高於3%，鮮少缺乏有機質。若土壤有機質含量偏低時，應選擇植物性、高纖維質、較粗糙且分解緩慢的有機質肥料施用，如蔗渣堆肥、木屑堆肥、稻草堆肥等，對提高土壤有機質含量效果較明顯。反之，速效性的有機質肥料則較注重於營養成分的供給，對提高土壤有機質含量效果非常有限，如雞糞堆肥或易分解的豆粕類均屬於速效性有機質肥料。有機質肥料選擇應配合土壤特性綜合考量，切忌要求土壤鬆軟而過量施用堆肥，雖提高了有機質，卻可能導致鹽分累積、養分不均衡或重金屬累積等負面問題。

土壤養分平衡

許多設施栽培農友施肥時未參考合理化施肥量，導致60至70%土壤磷肥及鉀肥累積過量問題，鈣及鎂肥偏高也是常見問

題，土壤養分平衡的重要性就像我們每天應攝取適量的澱粉、肉類、蔬菜、水果一樣，任何一種養分過多或缺乏，都會造成作物生長與品質的負面影響。應依土壤肥力狀況調整各種養分的均衡性，使作物吸收均衡的營養，若土壤磷缺乏且鉀過量，則應選用高磷、低鉀的肥料，若土壤磷、鉀、鈣、鎂等肥分均偏高時，但減少施肥會造成蔬菜生長緩慢，表示土壤缺乏氮肥，此情形應補充以氮肥為主的肥料，以避免磷、鉀、鈣、鎂等過量累積。目前設施栽培常見磷、鉀過量累積，主要原因是有機質肥料的養分比例多半是高磷及高鉀，而一般蔬菜作物對肥料三要素需求量最多的是氮肥，為了補足氮肥，往往過量施用有機質肥料。最佳的管理模式是有機質肥料搭配化學肥料使用，有機栽培農戶則可搭配高氮肥含量的豆粕類或液體肥料使用，切忌長期使用同一個品牌的肥料。必要時，每隔2-3年可採取土壤樣品送本場進行肥力檢測分析。

土壤重金屬

95%的重金屬易累積於表土，且不像鹽類可以用灌水淋洗方式改善，統計發現設施栽培土壤已陸續出現重金屬累積情形，但尚未發生重大污染問題，其中又以鋅的累積情形最為普遍，銅、鎘、鉛次之。灌溉水可能是土壤重金屬污染來源之一，例如工業區排放廢水可能經由灌溉渠道進入農田，除此之外，設施土壤重金屬累積大多來自於有機質肥料，因此，慎選具肥料登記證的有機質

肥料品牌及合理適量施肥是避免重金屬累積的基本原則。有機質肥料的重金屬含量高於化學肥料，但並非施用有機質肥料就會造成重金屬污染，不同品牌堆肥之重金屬含量差異頗大，應選擇重金屬含量低的腐熟堆肥，並且不可連續大量施用，才能確保土壤重金屬含量不超過環保署公告之土壤污染管制標準(表3)或農田土壤重金屬分級第三等級標準(表4)。

表3. 環保署公告土壤污染管制標準(單位：mg/kg)

重金屬種類	管制標準值	監測基準值
砷(As)	60	30
鎘(Cd)	20 (5)	10 (2.5)
鉻(Cr)	250	175
銅(Cu)	400 (200)	220 (120)
汞(Hg)	20 (5)	10 (2)
鎳(Ni)	200	130
鉛(Pb)	2000 (500)	1000 (300)
鋅(Zn)	2000 (600)	1000 (260)

註：括弧內為食用作物農地標準

表4. 農田土壤重金屬分級標準(單位：mg/kg)

種類\等級	1	2	3	4	5
銅(Cu)	<1	1-11	11-20	20-100	>100
鋅(Zn)	<1.5	1.6-10	10-25	25-80	>80
鉛(Pb)		<1	1-15	15-120	>120
鎳(Ni)		<2	2-10	10-100	>100
鉻(Cr)		<0.1	0.1-10	10-16	>16
鎘(Cd)		<0.05	0.05-0.4	0.4-10	>10
砷(As)		<4	4-10	10-60	>60
汞(Hg)		<0.1	0.1-0.4	0.4-20	>20

結 論

設施栽培之水管理在人為控制下噴灌，不會淋洗多餘之肥料，加上密集耕作與過量施肥，易發生鹽分累積、養分過量情形，甚至造成重金屬累積。設施土壤管理的最佳方式，依然是要回到合理化施肥原則，適量且均衡的使用肥料。要有預防

重於治療的觀念，平時遵循合理化施肥方式，避免大量施用高鹽分的有機質肥料，成分不明的資材也應避免使用。欲瞭解自己農園土壤肥力的農友，可定期(約2-3年一次)採取土壤樣品，送本場土壤保育研究室分析檢測，以作為土壤改良及肥培管理的依據。



輕微的設施土壤鹽化蔬菜生育不整齊



嚴重的設施土壤鹽化蔬菜發芽及存活率甚低



石灰資材或有機質肥料撒施後應與土壤充分混合



施用未經發酵腐熟之堆肥易影響作物生長及滋生雜菌



連續施用不同種類堆肥對土壤性質影響甚鉅。