

蔬菜連作障礙與土壤改良

王鐘和 林毓雯

行政院農業委員會農業試驗所

一、前言

大部份植物的根從土壤得到機械力的支持，養分、水分及空氣的供給。土壤的物理性質主要為決定土壤供給水份、空氣能力之大小，土壤化學性質則決定土壤供給植物養份能力大小，所以土壤物理、化學性質也決定植物根部之伸展。

若植物生長在理想狀態的土壤物理、化學性環境，則有良好的根部發展，植物可以不被風吹倒，不怕乾旱，可以吸收更多的養份，生長得更好。反之，植物的根可能為硬的耕犁層、不肥沃層、太乾或太濕之土壤水分狀態以及鹽害、毒害、病蟲害等所限制，而使得植物生長不良。

二、連作障礙的發生及普遍性

農業耕作上，連作是指同一種或同一類作物連續在同一塊田栽種的方式，連作常發生作物的生長不良或缺株的問題，甚至施用肥料也不能完全改善，常見如幼苗的枯萎及爛根，生長點或新生枝葉不正常，或不能伸展，有的引起病害而枯死等等的問題。連作的土壤問題發生依作物的種類、土壤、氣候及栽培管理的差異，其嚴重性就有不同。有的作物只要連作一次時，就有生長不良的問題，例如薑、綠豆、瓜類的西瓜、茄科如青椒、番茄、多年生的蘆筍、桃、蘋果等，尤其是桃及蘋果在同老株之位置，再種新株幼，就有嚴重之缺株問題。而有的作物是需經多次連作才能看出連作之土壤問題，例如許多的蔬菜，如十字花科類，連作數年後即有明顯問題發生。一年種植多種作物的農業地區，尤其是台灣位於亞熱帶—熱帶區，在同一塊田中一年生產

二次以上或更多次數的土地，連作問題是常常可見；耕地面積小的地區，也是常見有連作的需要性；設施農業在網室或特定蓬式中生產高經濟作物時，爲了增加一年中之單位面積生產，連作密集生產，更是容易產生問題土壤，嚴重者甚至產生不能再生產某種特定作物的困難。

每一種作物有它特別的營養需求及代謝特徵，需求土壤中的營養比例、種類、及水份與氧氣都依作物不同而有差異；在代謝上，各種作物都有或多或少的差異，合成不同的代謝產物，於是在作物的分泌物及殘質中的分解物都有其特色。由於上述的需求及代謝的特徵，連作可能引起上一作物影響下一次的作物生長，它的原因可能包括如下：

- 1.作物吸收大量的營養，導致營養之不足供應。
- 2.作物吸收大量的正離子營養，導致土壤酸性增加。
- 3.大量的前作殘質，由於碳氮比高，在分解時，微生物大量繁殖，而氮素被微生物吸收，引起氮之缺乏現象。
- 4.作物的根分泌有毒的物質，或殘質分解時釋出的毒物質或微生物釋放出的有毒物質，在土壤環境中若達到某一臨界濃度後，即將引起另一作物的毒害作用。
- 5.長期連作後土壤有機腐植質的降低，旱作的連作易使土壤有機腐植質含量加速減少，值得重視，因爲穩定的有機腐植質是土壤優良特性的基礎。
- 6.長期連作後病蟲害增加：由於病原菌及蟲體對作物都有或多或少的偏好性及專一任定性，例如危害番茄的病蟲可能不一定會危害其他葉菜。如果連作時病蟲的族群逐漸增加或一次耕作即增加很多，於是次作將受該增加的病蟲危害了。病蟲的個體可能存在於土壤中或作物的殘質中，都可能是引起連作障礙的原因。
- 7.長期連作的不當栽培管理及施肥：由於作物的偏向管理，例如過度的灌水及排水，使土壤營養分加速淋洗及土壤流失，或是過分的施用化學肥料，尤其是短期蔬菜栽培常見過度施肥後的鹽分累積，在土壤表面上形成白色粉末的鹽類，都會是連作障礙的原因。

三、連作障礙的克服方法

- 1、客土、換土：在植床中填入新的土壤，或將之全部更換，使病原性降低或改善土壤物理、化學性。
- 2、深耕：將表土與底土翻耕，交換之用意有如客土、換土，使土壤之生物、物理、化學性重新調整。
- 3、澆水：是最古老改善連作方法，耕作後利用淹水技術減少病原菌、害蟲、線蟲等殘存之機率，同時澆水更具淋洗殘存鹽基之效果。
- 4、輪作、休耕：就設施栽培之立場而言，輪作或休耕是有違經濟經營之原則，但嚴重發生連作障害時，輪作為最有效之方法。因輪作、休耕在減少病原寄主情形下，自可使病原性降低，並改善土壤物理、化學性。
- 5、土壤消毒：利用物理或化學方法，如太陽能消毒（以透明塑膠布覆蓋土壤）、燻蒸、高溫、蒸氣消毒或化學藥劑灌注燻蒸來殺死病原菌。此一方法雖然較為經濟性，但易使土壤生物性之生態相形成真空破壞平衡，如遇再感染時發生情形將更為嚴重，且經常消毒之後將使土壤形成死土。
- 6、土壤改良劑之施用，如有機質，有機酸或土壤滲透劑、微生物製劑等之施用，有助於改善土壤物理，化學及生物相。
- 7、種植清淨作物或綠肥作物：如高粱、玉米等好肥性強，或豆科如田菁、太陽麻、虎爪豆、羽扇豆等，都有助於減少鹽類蓄積、平衡土壤養分，並可將植體翻犁田中使回饋土壤，增加有機質。
- 8、補充營養元素：補充不足或不均衡之營養元素，連作可能引起營養之缺乏或不均衡，需要補充添加，以施用於土壤或葉面施肥供應之。
- 9、施有益微生物：施入有益微生物，連作的毒害物質可用解毒菌，消除或降低有毒物質濃度。
- 10、清除作物殘體：清除田間作物的殘體，有些殘體是毒物質及病蟲害的來源，因此清除作物殘體，可減少毒物質或病蟲害的危害。

四、土壤改良之目的

我們一般的耕犁及施肥手段，其目的皆在建立良好的土壤環境，

供植物根發展更好。土壤改良的目的也是相同，只是土壤改良並不像耕犁與施肥那麼的經常實施，是基於需要性、經濟性及可行性而決定的。

土壤改良的目標為建立一理想的植物根生長環境，即具有良好充足的養分、適當的水份、充足的空氣、足夠的溫度、沒有毒害物質及沒有病蟲害。以下各章將為各位一一介紹一些在台灣地區較常運用的土壤改良方法及項目。

五、酸性土壤改良之策略

作物生長各有其適宜之環境，通常在強酸性下不會有最高之產量，但有些嗜酸性作物例外，如茶、鳳梨、藍莓等。強酸性土壤經常會造成下列環境而導致作物生長不適（1）鋁之毒害（2）錳之毒害（3）鈣缺乏（4）鎂缺乏及鉬缺乏等。

一般土壤酸化的原因如下：（1）許多土壤是由酸性的母岩風化而來。（2）雨水所帶的氫離子將土壤中的鹽基性陽離子取代。（3）根部分泌酸性物質。（4）大部份氮肥施入土壤中，因硝酸化作用時釋出氫離子。（5）其它含硫物質如酸雨、農藥及肥料等施入土壤中，氧化作用釋出氫離子。

土壤之物理性質主要由土壤質地與土壤構造所決定，而兩者關係密切但意義卻容易混淆不清。土壤質地由土壤單體礦物粒子之大小與其所佔比例所決定，這些單體粒子大小可分為砂粒、粉粒及粘粒。而土壤構造則由這些單粒因土壤有機質、蚯蚓及其它土壤生物，土壤乾濕變化，根系等眾多因子所聚集一起的較大個體。

本省地處熱帶和亞熱帶，高溫多濕，土壤礦物風化迅速，土壤鹽基經雨水淋洗流失量多，更由於採行集約式農業經營，耕作頻繁，作物自土壤中吸收大量鹽基，以及化學肥料大量施用等，致使土壤之酸化相當普遍。土壤酸化後對作物之生育有各種阻礙，故為維持土壤正常之生產力，土壤酸性化之預防或酸性之改良乃甚重要。

台灣酸性土壤分佈，台灣耕地土壤的反應分布情形大致為靠山邊

的丘陵地土壤多數強酸性。平地農田則台中以北多數強酸性，東北部蘭陽平原亦是中酸性，台中以南地區之農田則多數中性乃至微鹼性，部分地區亦呈鹼性。東部花蓮光復鄉一帶縱谷沖積土上源有石灰岩層，土壤反應乃呈中性至鹼性。從光復至鹿野帶之母岩來源複雜，土壤反應有酸性者，亦有鹼性者，而台東卑南一帶土壤則多呈強酸性反應。以土類別而言，紅壤和黃壤之酸性最強，砂頁岩質沖積土次之，而粘板岩沖積土則較弱。

據統計台灣耕地已調查面積 80 萬公頃中，pH5.5 以下之強酸性土壤則有 28 萬公頃之多，佔總面積之 35%。農田肥力能限調查 57 萬 3 千公頃（主要為水田）中各種土壤 pH 值農田面積之百分比如表一。

表一.台灣水田土壤有機質含量之相對比率及分級表

有機質含量		1959-1967	1978-1981
分級	%	(%)	(%)
很低	>1	14.0	6.7
低	1-2	50.6	38.1
中等	2-3	26.9	33.1
高	3-4	8.3	16.0
很高	>4	-	-

資料來源:林家棻 1981

以上資料大體一致，即平地耕地中強酸性土壤約佔 35%，達 28 萬公頃在右。

另據山地農牧局調查海拔 100 公尺以上、1000 公尺以下之山坡地共萬 9 千 5 百公頃中，pH5.5 以下之中強酸性土壤則佔總面積之 76%。可見坡地土壤之酸性問題較平地農田更為重要。

酸性土壤對作物生長之影響：土壤溶液中之氫離子濃度雖為土壤酸性強度之指標，但在一般土壤酸性（pH4~6）範圍內，其氫離子濃度本身並不構成作物生育阻礙之直接因素。酸性土壤中阻礙作物生育之因素概為氫離子濃度所引起之二次作用所致，簡述如下：

(一) 酸度對土壤中養分有效性之影響：

土壤中之各種植物養分要素，依各別要素性質之差異，在不同酸性下或變為不溶性或大量溶，以致酸性土壤中有些要素缺乏，但有些要素卻有過剩之障礙。土壤中各種養分要素之有效性與 pH 之關係如下圖。

1. 土壤之磷固定力增加，磷的有效性降低。
2. 土壤中之鈣、鎂、硼易流失，因而土壤中之此等要素含量降低。
3. 土壤中鉬素之溶性減低，因而其有效性降低。
4. 土壤中之硝化作用減低，因而土壤中之銨離子濃度增高，減低作物對鈣、鎂的吸收能力，減低此等要素之有效性，同時亦因硝酸態氮的減低影響作物的氮素吸收，減低土壤氮素的有效性。
5. 鋁、錳、鐵、銅、鋅等要素的溶性增加，有時會導致其過剩障礙，但長年淋失則反而導致其缺乏。
6. 有益微生物受阻：土壤中有益微生物如分解有機物之放射性與細菌，固氮細菌、硝化細菌等，因土壤酸性強，其繁殖活動受阻，影響作物之生育及產量。

(二) 酸性對養分保持力之影響

土壤酸性增加時，養分保持能力隨著鹽基置換性能量減少而減，故酸性土壤之施肥易導致鹽害，亦易導致養分之流失。

作物之耐酸性差異：各種作物所適合的土壤 pH 值範圍因作物之耐酸性不同而有所差異。由於酸性土壤的作物生育阻礙要因有鋁、錳毒害，低磷、低鹽基及低微量要素等多種，而不同土壤的酸性阻礙要因亦各有不同，作物本身對此等阻礙的耐性亦有差異，故各種文獻所報告之作物酸性耐度亦略有差異，但大致如表二。

表二、各種作物之土壤酸性耐度

極弱	弱	中	強
大麥、洋蔥	小麥、番茄	粟	茶
高粱、蘆荀	玉米、蕪菁	蕎麥	水稻
甜菜、絲瓜	大豆、蘿蔔	燕麥	鳳梨
苜蓿、茄仔	豌豆	棉花	杜鵑
萵苣、青椒	甘藍	蠶豆	草類
芹菜、菠菜	冬瓜	煙草	越橘
洋香瓜	金瓜	草莓	西瓜
花椰菜	紅三葉草	落花生	曼越橘
白三葉草	包心白菜	馬鈴薯	百慕達草

可見一般蔬菜作物之酸性耐度弱，雜糧作物次之，而鳳梨、杜鵑、水稻及一些禾本科草類則強。耐酸性極弱的作物在酸性土壤生育極為不良，生長所適合的土壤 pH 值亦相對的高，故其以石灰調整 pH 之目標值亦較高，以 6.5 為宜。耐酸性弱至中的作物因其生長所適合的土壤 pH 值並不需如耐酸性極弱作物那麼高，故其調整 pH 值之目標以 6.0 左右即可。至於耐酸性強的作物則其生長所適合的 pH 概為酸性範圍，不但不需施用石灰，有時甚至需要施用酸性肥料以增加土壤酸性。

(三) 酸性土壤之石灰需要測定

施用石灰之目的在於中和土壤酸性，使其 pH 值提高以防鐵、錳、鋁等的毒害和增進土壤中養分之有效性，以適合於作物生育。酸性土壤之石灰需要量固與要提高之 pH 值差（現值與目標值差）有關，更重要的與土壤之置換酸度或總酸度有關。土壤 pH 值僅為土壤中酸性強度的指標，其置換酸度或總酸度才能表示土壤中酸的容量，故石灰需要量應由土壤的置換酸度或總酸度決定。由於此等酸度之測定較繁，一般以簡便法概估用量或以 pH 緩衝曲線法測得較確實用量，詳述如下：

1、簡便法

土壤中酸的容量除了與土壤膠體性質有關外，與膠體含量（即黏

粒及腐植質含量) 關係最為密切，故為提高 pH 值一個單位的石灰需要量，黏粒或腐植質含量高的土壤必高於黏粒或腐植質含量低的土壤。一般酸性土壤(表土) 每調高單位 pH 值所需石灰石粉用量砂質壤土為 1.0 公噸/公頃，壤土及粉質壤土為 1.5 公噸/公頃，黏質壤土則為 2.0 公噸/公頃。

2、pH 緩衝曲線法

取風乾細土各 10 克於 6 個管瓶中，各加碳酸鈣 (CaCO_3) 試藥 0、5、10、20、40、80 毫克，再加水 25 毫升充分振盪後放置 1 日。再振盪 5 小時後各經細口玻璃管通入空氣(每分鐘 2 公升速率) 以趕出土壤溶液中之二氧化碳 (CO_2)，立即測定 pH。由碳酸鈣添加量與 pH 關係之曲線可求得將土壤自原 pH 值提高至目標值所需碳酸鈣量。

為要矯正土壤酸性，一般每年應檢查土壤 pH 值一次；其值如已超過目標值則應停止石灰施用。

要注意的是 pH 雖是土壤酸性強度之表示，但亦有例外。在沒有雨水滲濾的設施園藝土壤中常因硝酸累積而降低其 pH 值，但因土壤中之鈣、鎂等鹽基卻很少有淋失機會，故其土壤 pH 值雖降低，卻仍有豐富的鈣含量。此種情形稱為因土壤中鹽分累積所致表面上之土壤酸性。因非真正酸性，並不需石灰矯正，應加留意。

六、鹽土之改良策略

設施內鹽分累積之主要原因為土壤淋洗量的減少。由於設施之主要目的之一為減少雨水對作物根部的浸泡，但也就因此而阻絕了雨水對土壤中鹽分的淋洗，使鹽分不斷的累積，而這些鹽分大部份就是栽培作物時所施到土壤裡的肥料。

在一般露地栽培的情況下，施用田間的肥料，有一部份被作物吸收，有一部份殘留於土壤中，其中有些形成難溶性的鹽，一些則仍為可溶性的鹽，在下雨或灌溉時，可溶性鹽類則隨著雨水被淋洗到土層下方甚至到地下水中，因此，不會造成土壤中可溶性鹽類的累積。但相反的，設施栽培時，農民也是同樣施肥，但是由於缺少雨水的淋洗，

即使間有灌溉，但灌溉量亦不足以把可溶性鹽淋洗到土層下方。此外，設施中的溫度常高於設施外之溫度，因此蒸發量大，在蒸發量大於灌溉水之入滲量時，可溶性鹽不但不往下淋洗，反而會隨著水分的蒸發由底土經由土壤的毛細管作用往上移動至表土，等水分蒸發時，可溶性鹽類則殘留在表土中，造成可溶性鹽的累積。

除了上述原因外，有些農民會把設施內作物因鹽分累積而生長不良之現象歸因於肥料不足，而加入更多的肥料，因此使鹽分之累積更為嚴重。事實上，鹽分累積時可能使作物出現某種元素之缺乏症狀，但並不是因為土壤缺乏此元素，而是因為營養元素之間的不平衡所造成的，例如常見銨離子太多時會影響鉀的吸收（此現象稱為拮抗現象），即使土壤中有夠多的鉀離子，仍可能出現缺鉀的現象，此時再施入鉀肥會使土壤鹽分累積的程度更形惡化。

鹽分累積對作物生長之影響：（1）高鹽分濃度影響植物對水分的吸收（2）鹽分成份對植物之影響（3）鹽分對土壤微生物活性之影響（4）養分不平（5）土壤物理性變差（6）生物相的不平衡。

（一）鹽土之改良方法

解決鹽分過度累積一般採：（1）浸水：以大量水移走鹽類離子，（2）客土或深耕；可稀釋降低表層土壤鹽類離子之濃度，（3）換土；移走含高鹽類離子之表層土，加入由外處移來之乾淨土壤，（4）種植耐鹽作物或綠肥作物；如玉米、田菁等吸收土壤中累積之鹽類離子，並可將植株耕犁掩埋，增加有機質且可釋放養分供後作蔬菜使用。

有鑑於此，掌握每作蔬菜種植前土壤中殘餘之營養要素量，加上該作期間內土壤可能礦化供應之養分量，作為調節該作施肥量之診斷及施肥推薦工作，甚為重要。設施內溫度較高，有機質分解快，且複作指數高，土壤耕作較頻繁，易損害土壤之結構，應注意有機質之補充，尤其是分解速度較慢之纖維性有機質肥料，不但可克服連作障礙，

且可改善土壤理化及生物性質，提昇蔬菜產量及品質。

七、有機質肥料綠肥與生物肥料之施用

(一) 有機質肥料之施用

有機質肥料之功能甚多；諸如：改善土壤物理性，對土壤化學性亦有助益，此外，並可使土壤微生物相多樣化，微生物活性增加，減少病原菌生長。因此普遍地被施用於蔬菜栽培上。有機質肥料種類繁多，大致可分為難分解型與易分解型兩種；難分解型一般是以稻穀、樹皮、木屑、作物殘株等堆製腐熟而成之有機質肥料，含豐富纖維質，但氮、磷、鉀三要素含量較少，因其在土壤中的分解較慢，適宜用在改良土壤理化性質和促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境。易分解型一般係以禽畜糞、動物性廢棄物、油粕類等腐熟而成之有機質肥料，含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量高，其所含養分在土壤中分解釋放較快。施用時應注意其釋出之要素養分量，相對的減少化肥要素用量。此外，連年施用有機質肥料後，除了當作所施有機質肥料之可礦化養分量外，亦要評估土壤中累積之既有有機質之可礦化養分量，以二者之和作為預期可由有機質供給之要素量。

(二) 綠肥及有益微生物之利用

綠肥作物是綠色植物整體或植體之部份於幼嫩期或成熟期供翻犁掩埋入土壤中當作肥料及改善土壤理化性質之作物。綠肥作物生長期間能吸收固定土壤礦化之營養元素，豆科綠肥更可固氮，減少養分之淋流及土壤之流失，並可抑制田間雜草之生長，綠肥掩埋後迅速分解釋出其所含之營養元素，種植後作作物時，應減少肥料用量，以充分利用綠肥釋放之養分。有益微生物如固氮菌、溶磷菌、菌根菌、拮抗病等，其功能甚廣，例如可增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長素、增進作物養分吸收、與病原菌產生拮抗作用等，施用時應適當調整化學肥料之用量，以發揮其功能。