

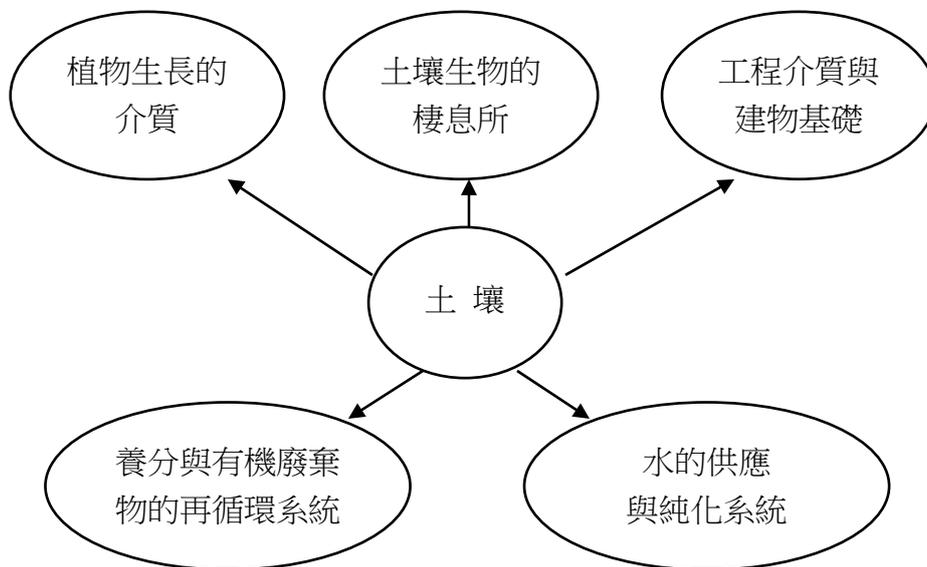
優質土壤環境之經營管理

何聖賓

國立台灣大學農業化學系

緒 言

在任何一個生態體系中，土壤都扮演著五種重要的角色(圖一)；第一、土壤藉由提供植物根的生長介質與供應植物所必須的養分來維持植物的生長；土壤的性質常決定了所出現植物的種類與特性，也間接的決定了賴植物為生之動物的數量與種類。第二、土壤性質是控制水文系統中水的動態的主要因子，水的損失、水的利用、水的污染、以及水的純化等都受到土壤的影響。第三、土壤扮演著自然界物質再循環系統的重要角色，在土壤中，動植物的廢棄物及屍體都會被分解與同化，他們的基本成分會被下一個生命世代再利用。第四、土壤提供了成千上萬的多樣性的生物的棲息所。第五、土壤在人造的生態體系中扮演著相當重要的工程介質的角色，土壤不僅可作為建材，也是幾乎所有我們所建造的道路、機場與房舍等的基礎。



圖一、土壤在生演的功能

土壤的永續利用是永續性農業生產中相當重要的一環，土壤是否可永續利用，端視土壤在生態體系中的功能是否能持續有效的發揮。在以兼顧農業生產與

環境保護的土壤管理措施中，尤其應該要注意維護上述前四項土壤功能的完整性，並有效的利用這些功能。

適合作物生長的土壤條件需要土壤深度夠深，適時充分的水分與養分供應，良好的排水性與通氣性等，這些有利於根群發展的土壤條件除了土壤深度外，都直接或間接的與土壤有機質有關，且目前提倡的有機栽培亦與土壤有機質的管理相關，本文因此首先就土壤有機質的功能、含量變化、土壤有機質的管理以及有機肥料的施用原則做一描述。其次在根群的發育與伸展以及土壤養分的供應上，土壤酸鹼度佔有極重要的角色，而在本省耕地中強酸性土壤面積佔有相當大的比例，尤其是果園土壤，因此本文接著介紹土壤反應的重要性，本省土壤酸化的原因，以及矯正強酸性土壤時施用石灰資材應遵循的原則。與作物生產相關的其他土壤性質則在後面介紹，最後提出評估土壤健康的方法。

土壤有機質之功能

土壤有機質是動植物及微生物等之殘體在土壤中經微生物分解後所產生之黑褐色穩定產物，其組成與構造複雜，含有各種作物必須營養要素，具比重小、表面積大、吸水性強，陽離子交換能力高等特性，可促進土壤團粒構造的生成，改善土壤排水性、通氣性，增加土壤保水、保肥能力及對酸鹼與鹽分之緩衝能力，利於作物耕作管理。此外，土壤有機質亦為微生物活動之養料，仍可繼續被土壤微生物分解利用，最後釋放出各種作物生長所需之營養要素，故而土壤有機質也是作物營養要素的貯存庫，而土壤有機質含量一般也被視為土壤肥力高低的指標（特別是氮素供應能力）。土壤有機質影響土壤的物理、化學及生物性質而對植物的生長有重要的貢獻，其功能描述如下：

一、營養性功能

土壤有機質含 N, P, S 及其它要素，經礦化作用後即可供給植物吸收利用。有機質亦影響其它養分來源之供給；例如游離固氮細菌需碳源及能源（由有機質供給），其固氮量視可利用之有機質量（如醣類）之多寡而定；有機質分解後產生有機酸及其他箝合物，可箝合鈣、鐵、鋁等離子，使土壤磷素的有效性增加；在石灰質土壤中，鐵、錳、銅、鋅之有效性，亦可由有機酸等箝合物之添加而增大。

二、生物性功能

土壤有機物深深地影響土壤生物活性；有機物為土壤微生物及微小動物的能

源；土壤中的細菌、放線菌及真菌的數量隨腐植質之增加而增加；蚯蚓及其他動物視植物殘體回歸土壤之量的多寡而增減其數量。有機質也直接地或間接地影響病原微生物之發生，例如添加大量有機物，可使腐生性微生物增殖，相對地減低寄生性微生物(病原性微生物多為寄生性)之數量；由有機物而來之土壤生物活性物質，如抗生素及酚酸類等可增加某些植物對病原性微生物之抗性。

三、物理性功能

土壤有機質能促進良好土壤構造之生成，使土壤耕性、通氣性及保水性增加。腐植質增加土壤對沖蝕的抵抗力。

四、其他的功能

土壤有機物亦直接影響植物生理；部份酚酸物質具有植物致毒性質，土壤病害通常歸因於土壤有機毒物之累積(通常在新鮮有機物分解初期產生)；有機質亦含有植物生長激素，如 Auxins 等。腐植質對土壤的緩衝能力及陽離子交換容量有極重要的貢獻；有機質可吸附有機農藥，影響其對植物的表現，其在土壤中的淋失、揮散、分解等。

土壤有機質的功能雖深多，然而有機質的各種功能的表現，會依不同土壤而異，同時亦受到環境條件如氣候、作物栽培歷史等之影響。

本省土壤的有機質含量

土壤中的有機質含量變異甚大，受氣候、自然植生、質地與排水、耕種與耕作方式以及輪作與施肥等的影響。台灣氣候高溫多雨，土壤微生物活動力強，可迅速分解土壤中的有機物，因此一般耕地土壤之有機質含量偏低，林氏在民國 67 至 70 年間進行本省土壤肥力能限分類調查結果指出在 5,727 個樣品中有 44.8%其土壤有機質含量在 2%以下；另張氏在民國 80 年間調查全省 128 個柑橘園中有 64%其土壤有機質含量在 2%以下，作物生產普遍仰賴施肥。

土壤有機質之管理

土壤生產作物的潛能直接與土壤有機質及氮含量有關；但土壤有機質及氮含量在耕地土壤中不易維持，因此有機質之添加及維持為土壤管理的重要課題。一般可利用下列方法來維持或增加土壤有機質含量；

一、添加有機物料於耕地土壤中。包括施用黑麥、蕎麥、燕麥、紫雲英、豌豆、

大豆、田菁等綠肥，通常在綠肥作物生長旺盛時期、未成熟前，全部翻犁入土壤中；施用廐肥、堆肥及非農場有機廢棄物（如污泥）；此外保留作物斷株、再生草及殘根於土壤中，亦是可行。

二、適當的施用石灰及肥料，使作物增產。最大產量通常意味著有更多的植物殘體會回歸土壤，有更多的根會殘留於土壤中。

三、採用輪作制度。由於草皮草類作物的根系大且不易分解，碳/氮比大，氮的需要量少，可促使土壤有機質的累積，因此草生栽培在果園管理措施中相當普遍。此外豆科作物可固氮，增加土壤中的氮含量，與豆科作物輪作，亦可促使土壤有機質的累積。適當的輪作制度可維持土壤有機質在較高的含量。

四、考慮維持土壤有機質的經濟效益。土壤有機質不僅不易維持，且價格昂貴，因此需要做經濟上的考量，亦即在作物收益與維持土壤有機質的投資間，求取平衡；如果經濟上可行，應將土壤有機質盡量維持在高含量。土壤有機質的積聚或減少取決於單位時間內有機物之投入量與分解量，投入速率須大於分解速率，土壤有機質含量才能增加。每公頃 15 公分厚之土壤每含 1% 有機質即約 20 噸，因此欲在單位時間內增加土壤有機質含量 1%，則每公頃須施入有機物之分解量再加 20 噸之該有機物。如此大量之有機物其取得與施用均增加作物生產成本，因此在有機物施用上即須考慮其經濟效益。此外、如果以增加土壤有機質來改良土壤性質為目的，則須選用纖維質及木質素含量較高的有機物，因其較不易分解，利於土壤有機質的增加；相反的、如果施用易分解且碳氮比低的綠肥或油粕類，因其分解迅速，並無法增加土壤有機質。至於對作物的生產而言，究竟什麼才是適當的土壤有機質含量範圍，則須由研究土壤有機質含量與作物產量與品質之關係來獲得，可能因土壤條件及栽培管理方法等而有所不同，還尚待研究。

近年來由於化學肥料之方便與普及，再加上有機肥料之施用及搬運費工且市售價格高昂等因素，除蔬菜、花卉、果作等高經濟作物外，其他佔栽培面積最大宗之糧食作物幾乎無施用有機質肥料之誘因。然而為培育土壤永續生產力，即須研究如何以最經濟的方法來維持或增加土壤有機質含量至一個適當的範圍。

有機肥料或有機廢棄物施用原則

臺灣地區每年所產生之農業有機廢棄物數量非常龐大，估計有豬糞 431 萬公

噸，雞糞 404 萬公噸，牛糞 166 萬公噸，稻草 260 萬公噸，穀殼 40 萬公噸，果菜廢棄物 70 萬公噸，蔗葉 210 萬公噸，蔗渣 417 萬公噸，廢棄太空包 5 萬公噸，花生殼 6 萬噸，魚渣 25 萬噸，另進口油粕類 24 萬噸。這些為數可觀的有機廢棄物如果任意棄置，不僅污染環境，亦是一種資源浪費，如能將這些生質能源及其所含的植物養分循環利用，回歸到土壤，不僅可改善土壤性質，提高土壤生產力，亦可協助解決廢棄物污染問題。估計如果將每年所產生的農牧廢棄物做成堆肥則可生產 593 萬噸，以堆肥製作過程乾物重約損失一半，製成之堆肥含水率為 30% (估算而得)，如果平均分配於 874,535 公頃耕地面積，則每公頃約施用 6.8 噸。又據農委會統計臺灣地區民國八十三年農用化學肥料之三要素總量分別為氮素 26.3 萬噸、磷酐 7.4 萬噸、氧化鉀 10.5 萬噸，平均每公頃耕地之三要素施肥量高達 515 公斤；另估計含當年所飼養之牛、豬、雞排泄物所含三要素量分別為化肥要素施用總量之 58%、233%、110%；則除氮素外，禽畜糞尿所含之要素量除氮外，已可全部取代化學肥料，因此其對環境所造成之負荷可想而知，亟須妥善處理，回歸農田，以取代部分化學肥料之施用。而農牧有機廢棄物之處理及利用技術均需加強研究。

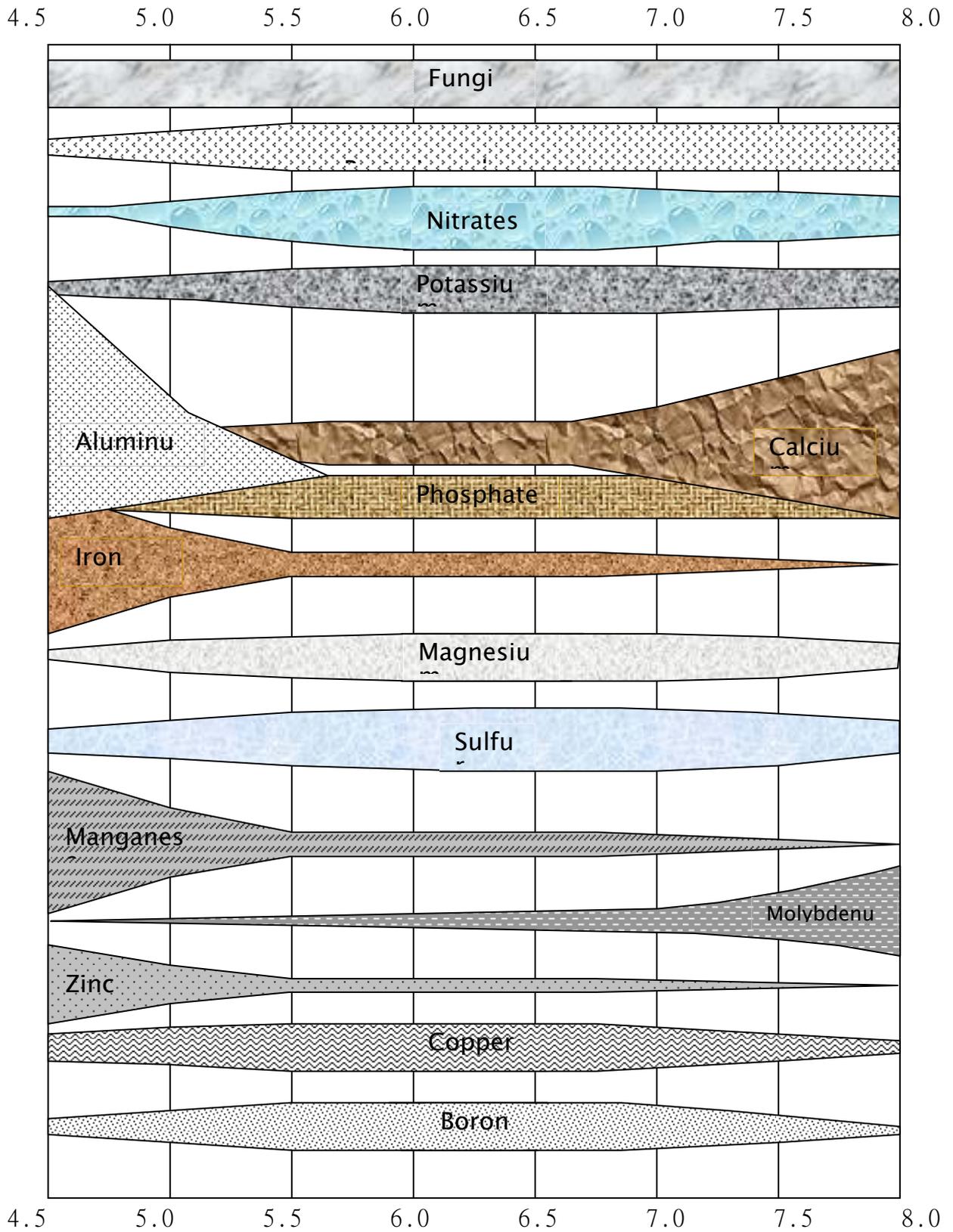
有機物用於作物生產時有幾個問題必須考慮，首先是有機物的合理施用量問題。無論從投資報酬率、作物品質、或環境維護之觀點來考慮，有機物的適當施用量並非毫無限制。如前述，有機物的施用增加施肥成本，其所能增加的收益最少須能收支相抵；又有機物經礦化產生的氮量如超過作物生長所需，即影響作物產量和品質；有報告指出每公頃施用 100 噸豬糞堆肥，即造成硝酸態氮污染地下水；且有機物含有相當量的磷，可隨表面逕流污染河川水源；此外又禽畜糞、污泥或垃圾堆肥等有機物均可能含有相當量的重金屬，長期大量施用即可能造成土壤中重金屬累積而為害作物或經由食物鏈之濃縮作用為害人體，因此有機資材的利用必須分別從土壤改良、養分供應、環境維護及有機廢棄物處理等方面考慮其合理施用量。第二個要考慮的問題為有機物如果以供應作物養分為目的，則需考慮其養分釋放曲線如何配合作物生長所需？又某一有機資材之三要素比例不一定適合特定作物要素需求或特定土壤之肥方狀況，如果長期大量施用，即可能造成土壤中養分不平衡而影響作物產量和品質，因此為求達成作物增產的目標，即需研究如何調配有機資材之配方，或研究如何配合化學肥料施用，以適合作物生長所需。

有機物可直接施入土壤、或做成堆肥再施用、或製成栽培介質等。直接施用雖可省去堆肥化處理之繁瑣與製作成本，然而作殘株等可能含有病生害及雜草種子等，未經處理即直接施用有可能為害作物，又禽畜糞等則可能傳播疾病或產生異味而影響環境衛生。此外新鮮有機物如果大量直接施入土壤中，則其分解過程所產生的有機酸等有毒物質，可能為害作物，而碳氮比高之有機物則更可能固定土壤中的氮素造成作物缺氮，因此新鮮有機物有時須於作物種植前一個月或更早拖入土中，並保持適當水分狀態，使其充分分解，若施用碳氮比高的資材則須在基肥時增施氮肥。堆肥製作方法係調整有機資材之整碳氮比至 30，水分含量調整至 60%，堆積至一定高度使發酵一段時間，並經通氣或翻堆補充氧氣，即可將易分解、不穩定之物質分解或改變，製成腐熟堆肥，在堆積過程溫度可達 60°C 以上具殺菌效果，因此一般腐熟堆肥即使大量使用亦不致為害作物。惟堆肥製作需要場地、設備或能源，均增加施用成本。

有機肥料或有機廢棄物施其施用的一般原則如下：

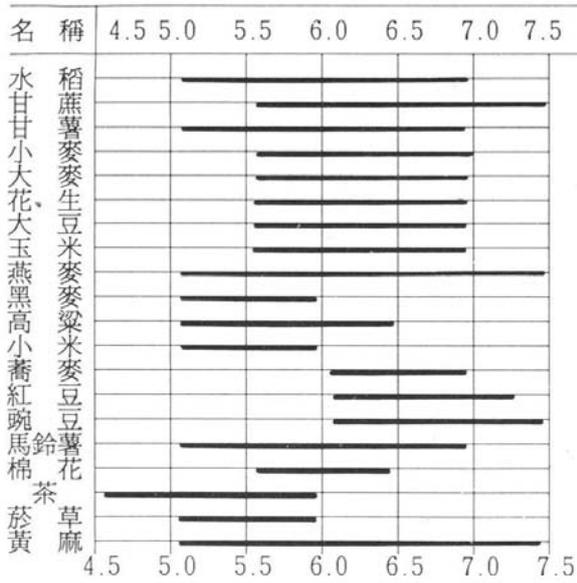
- 一、經濟合理的施用。施用在氮與磷供應能力差的農田中，有機肥料中的養分具有最高的效應，其造成環境的危害也最小。
- 二、施用量通常係依其所含有效性氮含量(在一個作物期間可礦化釋出的氮量)來評估；施用有機肥料時須隨時留意其它要素(如磷、鉀)的可能過量。
- 三、有機肥料中的氮大部份為有機態氮，須經土壤微生物分解(礦化)始能被作物利用；有機肥料之種類不同、腐熟程度不同、批號不同，其礦化率常有甚大的差異。施用時必須個別評估，不可一概而論。
- 四、連年施用有機肥料時，除了當作所施有機肥料之可礦化氮量外，亦要評估土壤中既有有機質之可礦化氮量，而逐年減少其施用量。
- 五、有機肥料的養分與水分含量因處理、存放方式不同，隨其種類、批號等常有甚大差異，施用前應分析代表性樣本的成分。
- 六、注意有機肥料中重金屬的含量、酸鹼度及未經腐熟的有機物可能對作物的傷害。
- 七、施用碳氮比高的有機肥料，則化學肥料的施用量須酌增。

三、土壤 pH 值影響環境品質

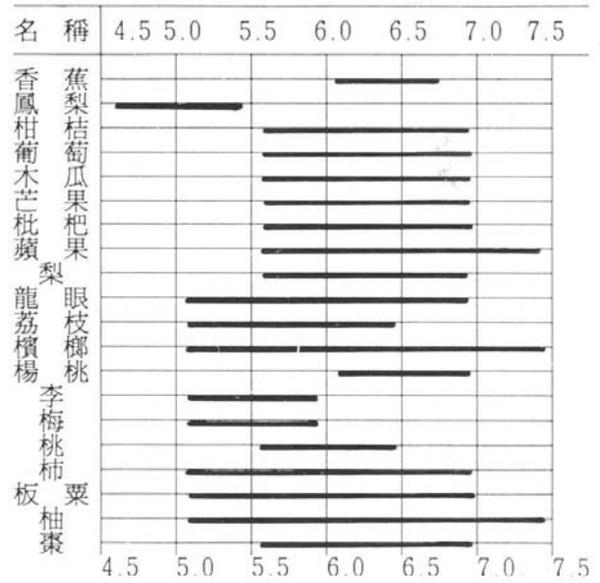


Soil pH
 圖二、礦物質土壤 pH 與相對的微生物活性及養分有效性之關係。帶愈寬表示相對的微生物活性或養分有效性愈大。

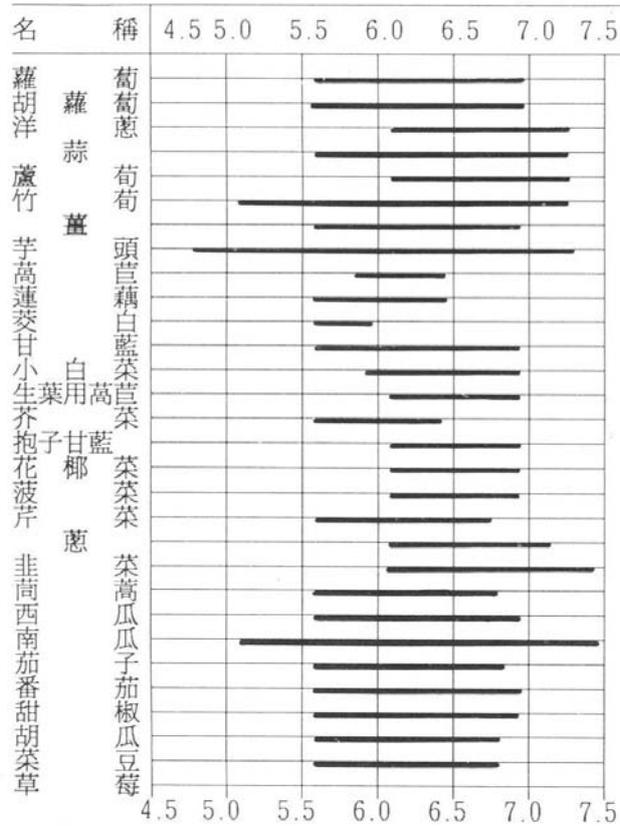
糧食及特用作物適宜的土壤酸鹼度(pH)範圍



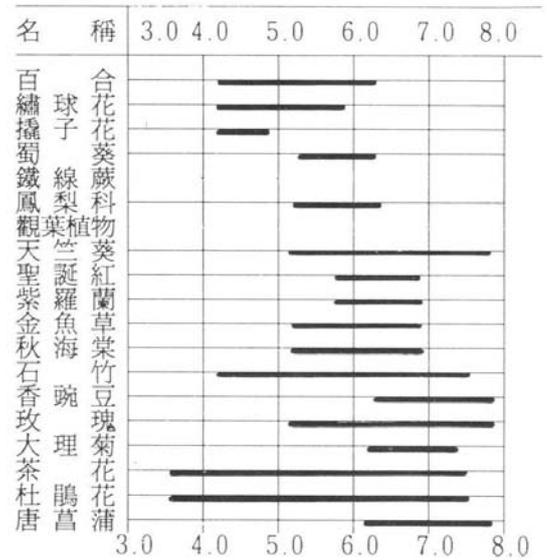
園藝作物適宜的土壤酸鹼度(pH)範圍
果樹



園藝作物適宜的土壤酸鹼度(pH)範圍
蔬菜



園藝作物適宜的土壤酸鹼度(pH)範圍
花草



圖三、各種作物適宜的土壤酸鹼度(pH)範圍

土壤酸化的原因

一、自然的變化

岩石與礦物的風化釋出 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等鹽基陽離子，有機質的分解則產生 H^{+} 離子，並將鋁自礦物表面溶出。



在雨量少的乾旱地區，鹽基陽離子的淋溶較少，其量足以與氫離子及鋁離子競爭土壤膠體上的交換位置，土壤的鹽基飽和度較高，土壤 pH 值通常在 7 或 7 以上。在較溼潤地區，淋溶作用使上層土壤的鹽基陽離子流失，土壤膠體上的交換位置被氫離子及鋁離子所佔，土壤鹽基飽和度降低，pH 值因此較低；雨量愈多，土壤酸度即愈高。在溼潤地區，土壤的酸化乃是長期的自然現象。

二、人為的變化

由於人口的遽增及普遍工業化的結果，人類的活動對土壤的 pH 值造成若干衝擊，例舉數端如下：

(一)化學肥料的使用；銨態肥料如 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 等的大量施用，加速了土壤的酸化。



(二)整地操作；在不整地(no-tillage)系統中，有機殘體的分解集中在表土，氮肥的施用亦主要施用在表土，表土的酸化即甚為明顯。

(三)大氣酸降；燃燒石化燃料所產生的含氮與含硫氣體，與大氣中的水及其他物質反應生成 HNO_3 與 H_2SO_4 ，並隨著雨水回降到地面，即是酸雨。

正常的雨水如與大氣中的二氧化碳(含量約為 0.035%)平衡，其 pH 值約在 5.0~6.0 之間(5.6)，酸雨的 pH 值常在 4.0~4.5 之間。由於土壤具有緩衝能力，酸雨對土壤 pH 值的影響，不易觀察到，但其長期的累積效應，尤其是對緩衝能力較低的土壤的影響，則值得留意。

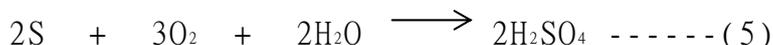
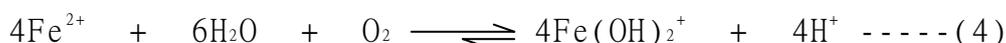
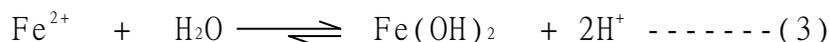
(四)有機廢棄物棄置；如未經石灰穩定化處理，將導致土壤酸化的加速。

三、土壤 pH 的微小變動與變異性

可溶性鹽類隨著土壤水分在剖面中的向上與向下移動，而在某土層中移入與移出，會造成土壤 pH 的微小變動；在作物生長季節期間，土壤 pH 值會因微生物與植物根部產生的酸而降低；在土壤溫度降低時(如秋冬季節)，由於生物活性減緩，土壤 pH 值通常會上升。此外，由於土壤性質的不均一性(如水分與通氣性的不均一性，有機質分布的不均一性，根圈與根圈外土壤性質的差異等等)，土壤 pH 存在著相當大的空間變異性。

土壤酸度的矯正

增加土壤酸度：對於嗜酸性植物，如杜鵑花科植物，必須添加酸性有機物(如葉霉(leaf mold)、松針(pine needles)、含單檸酸樹皮(tanbark)、鋸木屑(sawdust)、酸性泥炭苔(acid moss peat)等)或硫酸亞鐵、硫磺等能產生酸的無機物質，使土壤 pH 值在 5.0 以下；增加土壤酸度亦常用於控制植物病害。



降低土壤酸度：對於大多數植物而言，必須施用石灰物質以降低土壤酸度，使土壤 pH 值在 5.5~7.0 之間。

一、常用的石灰物質有石灰石、白雲石、生石灰(burned lime, quicklime)、熟石灰(消石灰(hydrated lime)等等(表一)。

表一、常用石灰資材之化學成分及來源

資材名稱	主要化學成分	酸性中和能力 (相對值*)	資材來源
貝殼粉	CaCO ₃	95 - 100	貝殼經過粉碎
石灰石粉	CaCO ₃	100	石灰石礦經過粉碎
消石粉	Ca(OH) ₂	136	生石灰吸水後變成
生石灰(氧化鈣)	CaO	179	石灰石鍛燒
白雲石粉	CaCO ₃ · MgCO ₃	109	白雲石礦經過粉碎
矽酸爐渣	CaSiO ₃	60 - 80	煉鐵礦渣(高爐)
石灰爐渣	CaSiO ₃	65 - 85	煉鐵礦渣(轉爐)

*以石灰石粉之鹼度(% CaO + % MgO × 1.39)為100時，各種資材之鹼度相對值。

二、石灰物質品質之好壞可依下列性質或方法鑑別之：

- (一)、鈣與鎂的含量；純的石灰石(calcite, CaCO_3)含 40%的鈣，純的白雲石(dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)含 21.7%的鈣與 13.1%的鎂。

表二、Pettyjohn 的石灰物質分類

石灰物質	Mg 含量(%)
白雲石(Dolomite)	11.7~13.1
石灰石質白雲石(Calcitic dolomite)	6.5~ 11.7
白雲石質石灰石(Dolomitic limestone)	1.3~ 6.5
含鎂石灰石(Limestone, Mg)	0.6~ 1.3
石灰石(Limestone, high Ca)	0 ~ 0.6

- (二)、中和酸的能力，以氧化鈣當量(CaO equivalent)或碳酸鈣當量(CaCO_3 equivalent, CCE)表示。

- (三)、總碳酸鹽含量(total carbonates)($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)。

- (四)、石灰物質的粒徑大小與分布。

- (五)、與酸中和的反應速率。

三、石灰物質之需用量決定於(1)希望達到之土壤 pH 值，(2)土壤的緩衝能力，(3)所使用之石灰物質的化學組成，以及(4)石灰物質的粗細度。

石灰質肥料的施用原則

施用石灰物質時應注意下列數點：

- 一、pH 值低於 5.0 的強酸性土壤必須施用石灰。
- 二、依作物種類、品種而施用石灰。
- 三、依土壤耕犁深度、土壤質地、有機質量或陽離子交換容量而施用石灰；即考量土壤的緩衝能力。
- 四、選擇適當的石灰材質(種類、粒徑)。缺鎂的酸性土壤宜施用白雲石粉(苦土石灰)、以同時補充鎂。
- 五、注意施用時間(避免與化學肥料同時施用，以免影響肥效)及施用頻度(決定於土壤質地、氮肥種類及其施用量、作物移除、降雨型態、以及石灰施用量)。
- 六、石灰施用效果不佳時，應注意底土的酸鹼度而酌予施用石膏粉。

七、應避免過度施用石灰，尤其是對有機質含量低的粗質地酸性土壤。

土壤反應之重要性

一、土壤 pH 值影響土壤微生物的活性與養分的有效性。(圖二)

氮的有效性在 pH6~8 間為最大，因為此範圍乃負責土壤有機氮礦化之土壤微生物與固氮微生物生長最適之範圍。磷的有效性在 pH 大於 8.5 時甚高，乃因磷酸鈉之溶解度高之故；在石灰質土壤中(pH 在 7.5~8.3 之間)，由於碳酸鈣抑制了磷酸鈣的溶解，磷的有效性甚低；在 pH 6.5~7.5 間，磷的有效性最大；pH 小於 6.5 時，隨著酸度的增加，鐵與鋁的溶解量增加，生成不溶性的磷酸鐵、磷酸鋁或磷酸鐵鋁，磷的有效性亦甚低。鉀、鈣、鎂在鹼性土壤中不虞匱乏，但土壤酸度增加時，土壤 CEC 降低，其有效性即降低。鐵與錳的有效性隨著土壤酸度的增加而增大，乃因其溶解度增加；在鹼性土壤中，鐵錳化合物的溶解度甚低，造成植物的缺乏。硼、銅與鋅在酸性土壤中可因易於淋溶，而產生缺乏；在鹼性土壤中則因被固定而不溶，有效性亦甚低。鈾在酸性土壤中會與鐵形成難溶性化合物，而常發生缺乏。細菌(bacteria)與放線菌(actinomycetes)在強酸性土壤中的活性甚低，而真菌則在廣泛的 pH 範圍都具有較高的活性。

二、作物生長有其最適當的 pH 範圍(圖三)

一般而言，在近中性或鹼性的較乾旱地區演化的植物，對土壤酸度的忍受度較在溼潤地區酸性土壤演化者為低。pH 5.5~7.0 通常為最適合大部分植物生長的土壤 pH 值範圍。

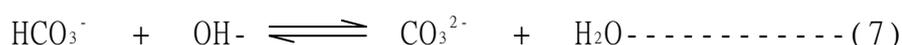
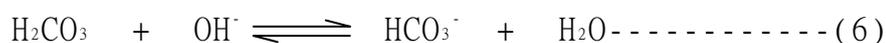
土壤鹽度

乾旱及半乾旱地區的土壤，由於降雨與下雪之水量不足以淋溶因風化作用而緩慢自岩石及礦物中釋出之鹽基離子(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)，因此其鹽基飽和度高，pH 值通常在 7.0 或 7.0 以上；部份地區水量甚至於不足以淋溶如 NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , KCl 等可溶性鹽類，而造成鹽性以及鹼性狀態。半溼潤或溼潤地區的土壤，如果管理不善，也可能造成鹽性狀態。

一、土壤鹼性的來源

當交換複合體上或土壤溶液中的 Al^{3+} 與 H^+ 被鹽基離子(如 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ,

Na⁺)取代時，即增進土壤鹼性；在雨量少的地區，CO₃²⁻與HCO₃⁻離子更加強了鹼性的趨向(6式；7式)。Na⁺離子可維持高濃度的CO₃²⁻與HCO₃⁻離子(9式；10式)，因而促使pH升高，Ca²⁺離子如形成CaCO₃，則不會增進pH(8式)。可溶性鹽類則會降低pH值(9式；10式)。



二、受鹽害土壤的產生

受鹽害土壤之分布甚廣，最常發生在降雨量與蒸發量之比小於等於0.75的地區，以及地下水位高的低窪平坦區。

- 鹽分的自然累積：礦物的風化、化石鹽分、大氣的鹽降。
- 灌溉引發的鹽度與鹼度(設施園藝土壤沙漠化)

三、土壤鹽度的量度

土壤鹽度(Soil salinity)為土壤中可溶性鹽類的含量，可以百分率(%)、mg/kg、ppm等來表示，目前則普遍以飽和土糊萃取液的比電導度來表示，其常用的傳統單位為mmho/cm，國際單位(SI Unit)為dS/m(decisiemens per meter)。

表三、兩種電導度單位間之關係

基本單位	土壤常用單位	舊單位
Siemens meter ⁻¹	Decisiemens meter ⁻¹	Millimhos centimeter ⁻¹
S m ⁻¹	dS m ⁻¹	mmhos cm ⁻¹
1 S m ⁻¹ = 10 dS m ⁻¹ = 10 mmho cm ⁻¹		

四、受鹽害土壤的分類

受鹽害的土壤可依鹽度尺度而分類如表四，亦可依其pH值、土壤鹽度、交換性鈉百分率以及鈉吸附比而加以分類(如表五)。

表四、土壤鹽度尺度(Jackson, 1958)

飽和土糊萃取液之比電導度, dS m^{-1}				
0	2	4	8	16
無鹽度 Nonsaline	低鹽度 Very slightly saline	中鹽度 Moderately saline	高鹽度 Strongly saline	極高鹽度 Very strongly saline
Salinity effects mostly negligible	Yields of very sensitive crops may be restricted	Yield of many crops restricted. Alfalfa, cotton, sugar beets, cereals, and grain sorghms adapted.	Only tolerant crops yield satisfactorily. Bare spots appear because of injury to germination.	Only a few very tolerant crops yield satisfactorily. Only salt tolerant grasses, herbaceous plants, shrubs, and trees grow.

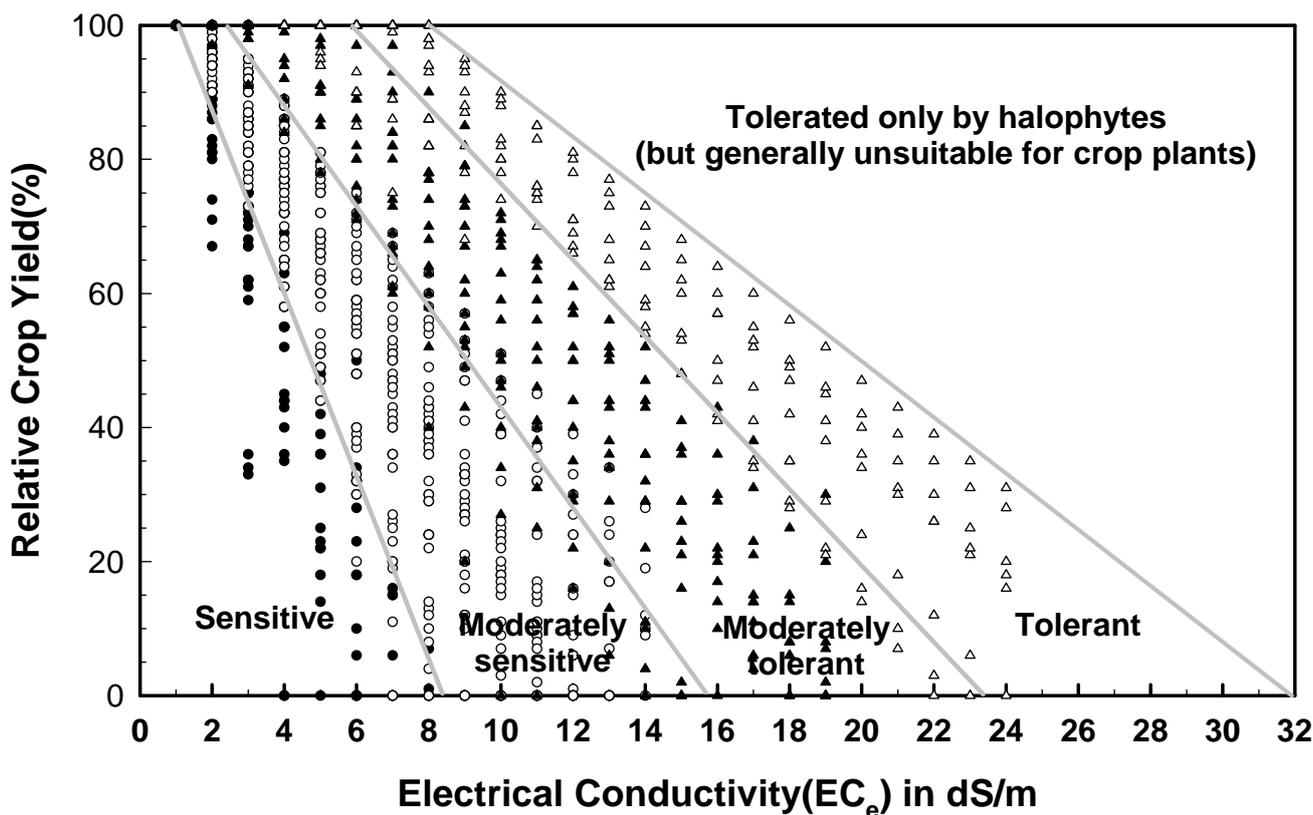
飽和萃取液之鹽分含量				
0	0.1	0.3	0.5	1.0

表五、受鹽害土壤的分類

土壤種類	飽和土糊萃取液之比電導度, EC_e (dS m^{-1})	鈉吸附比 (SAR)	交換性鈉百分比 (ESP)
正常土壤 (Normal soils)	< 4	< 13	< 15 %
鹽土 (Saline soils)	> 4	< 13	< 15 %
鹼土 (Sodic soils)	< 4	> 13	> 15 %
鹽鹼土 (Saline-sodic soils)	> 4	> 13	> 15 %

鹽分對土壤與植物的影響

土壤鹽度對作物的生長影響極大，作物對土壤鹽度的忍耐力變異極大。一般而言，土壤鹽度若以飽和土糊萃取液的比電導度來表示，可將作物之耐鹽性分類（如圖四）。鹽土或鹽鹼土對植物的危害主要係因降低土壤溶液的滲透勢能，影響植物對水分的吸收。鹼土對植物的危害係因高 pH 的危害、 HCO_3^- 及其他陰離子的毒害、 Na^+ 離子對植物代謝與營養的不利影響、高 pH 造成微量元素之有效性低、土壤構造的破壞造成 O_2 缺乏等因素。



圖四、植物耐鹽性分組圖(Bresler, McNeal and Carter, 1982)

鹽鹼土與鹼土的管理

施灌區域受鹽害土壤的管理，必須注意灌溉水的品質與土壤排水狀況。受鹽害土壤的管理之主要目的是降低影響作物生產的主要限制因素，亦即過多的可溶性鹽類與交換性鈉。實際上，受鹽害土壤的改良是大大地決定於是否有充分的好品質的灌溉水的供應，以洗除土壤鹽分。在沒有灌溉水供應的地區，栽種深根性作物可用以降低地下水位，減少鹽分向上移動。

一、鹽土的改良

將過多的鹽類自鹽土中移除，需要充足的低 SAR 灌溉水與有效的土壤排水系統，如果自然土壤排水無法容納淋洗水，則必須裝設人工排水系統。為了有效地將鹽分降低到需求水準，可能需要間歇地施予灌溉水，並監測土壤 EC 值。

二、鹽鹼土與鹼土的改良

鹽鹼土同時具有鹽土與鹼土的不良性質，如果改良方式一如鹽土，嘗試將可溶性鹽類洗除，將可能造成交換性鈉以及 pH 的上升，由鹽鹼土轉變為鹼土。因

此鹽鹼土與鹼土的改良，必須首先著重在如何降低交換性鈉含量，其次再考慮解決可溶性鹽類的問題。

施用石膏、硫磺或硫酸，以 Ca^{2+} 與 H^{+} 將交換性 Na^{+} 交換出，生成可溶性鹽類 Na_2SO_4 ，再配合灌溉將鹽類洗除，對於鹽鹼土與鹼土有相當好的改良效果；由於硫磺與硫酸可將碳酸根從土壤中移除，其改良效果較施用石膏者為佳，尤其是在含大量 CaCO_3 的鹽鹼土的改良上，施用石膏者仍有部分 CaCO_3 殘留土壤中。不過在實用上，由於石膏價格便宜，容易取得，在操作上也比較容易處理，因此較廣泛被使用。然而施用石膏時，仍應注意確保石膏研磨成細粒，能與上層土壤充分混合，以使其溶解度與反應速率達到最大。

三、改良後的土壤管理

一旦受鹽害土壤經過矯正後，就必須謹慎地管理以確保土壤能維持其生產力。例如灌溉水之 EC 與 SAR 以及其他相關聯的化學性質的監測就很重要，必須隨時調整管理方法以適應會影響土壤的水質的任何變化，灌溉的頻度與時間有助於決定鹽類進入與離開土壤的平衡，同樣地，良好的內部排水之維持對移除過多的鹽分也是十分重要。

同時也必須監測適切的土壤化學性質，例如 pH, EC, 與 SAR，以及可能引起毒害的特殊元素如硼，鉬與硒。以助於決定後續矯正措施或化學品的需求。作物與土壤肥力的管理以維持滿意的產量水準，對於受鹽害土壤整體品質的維持，也是十分重要；作物殘渣(根部與地上部莖稈)有助於土壤有機質含量以及良好土壤物理狀況的維持。為了維持高產量，高 pH 所造成微量元素與磷素的缺乏問題，必須以添加適當的有機與無機材質予以克服。

土壤健康之評估

理想上，我們希望自己的農田土壤能提供作物充分的養分，而又不會過多以免影響作物健康，造成環境問題。我們可用許多不同的方法來評估土壤的健康狀況(土壤品質)，就如同評估一個人的健康狀況一樣，可從”您今天看起來臉色有點蒼白”、測量體溫、測量血壓或作斷層影像掃描等等來評估。然而由於我們對土壤的認知仍相當有限，遠不如對人體的了解那麼詳盡，再加上土壤扮演的角色不像是單一生物體，而是整個生態系統的一環，因此要得到一個良好的土壤健康評估，我們必須在田間不同地點長時間的做多重的觀測。評估一處土壤的健康狀

況，我們可先從平常在田間耕作時土壤的整體表現來開始，例如：

- 作物產量是否逐漸下降？
- 作物的表現是否與鄰近相同土壤的農田一樣好？
- 作物在乾季或濕季期間是否容易出現緊迫徵兆或生長阻礙？
- 土壤耕耘時是否整塊狀，是否很難做成良好的苗床？
- 土壤是否容易產生結皮？
- 如果不整地，栽植機是否很難穿入土壤？

接著再從一些較定量的性質或現象來評估土壤健康狀況，例如土壤速測、土壤顏色、土壤生物、土壤耕性與硬度、根部生長、結皮浸水逕流與沖蝕等等。在美國有許多州的政府或民間相關單位都會製作”土壤健康評分卡”供農民填寫，這種”土壤健康評分卡”的內容，因地而易，表六為”土壤健康評分卡”內容之一例，表中的評估指標的權重未必相同，或許我們可從此處開始，製作適合本省土壤環境的”土壤健康評分卡”，共同營造一個適合作物生長的土壤環境。

表六、土壤健康定性指標(美國農部，1997; Magdoff & van Es, 2000)

評估指標	最佳評估時間及狀況	土壤健康狀況		
		差	中等	良好
蚯蚓	春天/秋天，良好的土壤水分狀況	滿滿一剷子表土有0-1條蚯蚓，未發現蚯蚓糞便或洞穴	滿滿一剷子表土有2-10條蚯蚓，有少數蚯蚓糞便、洞穴或蟲	滿滿一剷子表土有超過10條蚯蚓，整地後之土塊中有許多蚯蚓糞便及洞穴，整地後小鳥跟著來
有機質顏色	濕潤的土壤	表土與底土顏色相似	表土顏色接近底土	明顯可區分表土，表土顏色比底土深暗
有機質殘渣	任何時間	無可視殘渣	有一些可視殘渣	大部分土壤表面都有殘渣
根部健康	晚春，作物快速生長時期	少量粗根，未見底土有根穿透	根內部變色	根部充分分歧與伸展深入底土，根外部與內部為白色
亞表土壓實	整地前或作物收穫後，良好的土壤水分狀況	當插入旗線樁時會斷裂或彎曲	需用力插入旗線樁	旗線樁可輕易的以手指插入兩倍耕犁層深度
土壤耕性、柔軟性、易脆性	良好的土壤水分狀況	看似無彈性，像磚塊或水泥，結塊，不易耕耘很難拉動播種機	有些結塊，混亂不堪，粗糙不平的苗床	土壤易碎，可切入如同切奶油一般，走在上面有彈性

沖蝕	大雨過後	大溝壑沖蝕相連，超過2吋以上，表土甚薄或沒有表土，逕流快速，呈混濁土色	少數細溝或溝壑沖蝕，溝壑沖蝕最多達2吋，有一些急速逕流，逕流水有顏色	沒有細溝或溝壑沖蝕，沒有逕流或逕流水色澄清
保水容量	下過雨後，作物生長期間	充分下雨過後兩天顯現植物水分緊迫	水分在一週左右會用光	長時間保持水分，沒有乾旱緊迫徵兆
排水入滲	下過雨後	水分長時間滯留，蒸發量大於排水量，地面通常非常濕	水分短暫滯留，最後仍會排掉	不會浸水，沒有逕流，水分穩定地流入土中，土壤乾濕適中
作物生長情況	生長季節，良好的土壤水分狀況	整個生長季節期間之生長有問題，生長不良，呈黃或紫色	生長尚可，呈中綠色	正常健康呈暗綠色，整個田中所有季節都生長極佳
pH	任何時間，每次每年同一時間	很難對所需作物做校正	容易校正	pH 對作物適宜
養分保持容量	每年同一時間，連續觀測五年	土壤速測值降至”低”等級	土壤速測值少變化或有緩慢降低的趨勢	土壤速測值有上升趨勢但未達”非常高”等級