

農業推廣手冊 68

施肥管理與植物病害

鍾仁賜

中華民國 101 年 11 月出版

目 錄

壹、前言.....	1
貳、植物營養狀態與病蟲害威脅之關係.....	3
參、氮營養與植物疾病.....	7
肆、磷對作物疾病之影響.....	10
伍、鉀對作物疾病之影響.....	12
陸、鈣對作物疾病之影響.....	13
柒、鎂及其他必須元素對作物疾病之影響.....	14
捌、農田土壤生物多樣性與植物健康.....	16
玖、土壤有機質抑制病害與蟲害不是新的發現.	21
拾、施肥管理影響植物健康.....	23
拾壹、堆肥的重要性.....	25
拾貳、肥料施用之原則.....	27
拾參、結語.....	28
附錄.....	29

施肥管理與植物病害

施肥管理與植物病害

鍾仁賜

國立臺灣大學農業化學系教授

壹、前言

農業為藉由操控自然生態以生產食物與纖維的產業。農學專家認為有 52 個因子影響植物（作物）生長，而這些影響作物生長之因子可以歸為兩類：基因與環境。基因之影響可以由作物品種改良之影響而得知。環境是指所有外界條件及影響生物生命和發育的因子。較重要的有：1. 溫度；2. 水供應；3. 日照；4. 大氣組成；5. 土壤構造與土壤空氣組成；6. 土壤反應；7. 生物因子；8. 無機養分之供應；9. 無限制生長物質之存在。有些環境因子之影響並非獨立的。由農業的觀點而言，影響植物生長與發育的因子是非常重要的，不但影響產量與品質，也影響耕作方法。這些環境因子中，有些是生產者可調控的，如無機養分之供應，有些則否，如大氣組成。

植物養分（plant nutrients）是指植物所需之化學物質。高等植物所需之營養元素（必需元素）（essential nutrients, essential elements）都是無機的。雖然植物體中的無機營養元素僅占植物體總重量之一小部分，卻非常重要。植物營養（plant nutrition）是指研究無機營養元素

在植物、土壤和生態系統中之功能與動態；其目的為藉由施肥，提高植物生長、產量與品質、使土壤有最適肥力、減少生產所需之額外能量投入及減少環境之限制。

穀類的生產由 1960 年代開始增加，稱為綠色革命 (green revolution)，為新品種的育成配合肥料施用的結果。Norman E. Borlaug (被稱為綠色革命之父，1970 獲諾貝爾和平獎) 說：二十世紀全世界所增加的作物產量中的一半是來自化學肥料的施用。在現代化的農業生產體系裡，肥料生產與施用所消耗的能量占作物生產總能量消耗之三分之一以上。但是與收穫產值比，肥料成本是相對較小，效果則顯著，使得肥料過度施用成為工業化國家之普遍現象。

貳、植物營養狀態與病蟲害威脅之關係

在 1876 年 Jutus von Liebig 即已提出植物的營養狀態是影響植物是否容易感病之一個原因的看法。在 1960 與 1970 年代，植物的營養狀態與疾病之關係有較多的研究 (Bergmann, 1983)。但這不是一個單一的問題，因為有元素間交感的作用：如施用銨態氮肥使作物全倒病 (take-all) 下降是因銨態氮肥施用改善錳缺乏所致。

理論上，高等植物生長所需之 14 種無機營養元素之任何一種缺乏或過多，都對植物之代謝作用造成影響，因而影響植物之組成份與結構，其影響所表現之速率或大小則決定於此元素在植物體之營養生理上所扮演之角色。與微量元素 (micro-nutrients) 比，巨量元素 (macro-nutrients) 之需要量多，在植物體內參與之生理反應或扮演之角色較為明顯，缺乏與過多時，不論是植物體內之生理—生化反應 (physiological-biochemical reaction)、微型態 (microstructure) 變化或巨觀的外表徵候 (symptom) 通常較容易顯現。但是此並非通則，如鐵為植物所需之微量元素，缺鐵時植物葉片之黃化會很快出現。然而，不論是哪一種情形，養分不平衡時，已經形成植物不健康的狀態。

植物在生長過程中，吸收無機養分與水分，進行碳的固定，構成體質，即各種不同之生理作用不斷進行。理論上，植物所需之各種營養要素在“最適量”且在一“平衡狀態”或某一“協和組合”時，有最大之生長 (Chernavskaya and

Nichporvish, 1966)。沒有人曾經證明“最適量”、“平衡狀態”或“協和組合”是怎樣或是否存在，但是其背後的邏輯是合理的。這也說明，植物所吸收的任一必需元素過多或過少均影響植物之代謝與生長。因此，植物體內營養元素不平衡，影響植物之各種生理作用進而影響植物之組成份與結構，並影響植物對病之抗性與感性。根據代謝質體學 (metabonomics)，由外界之刺激所引起之反應是全面性的，即與其有關之各種代謝反應均會受到影響。植物營養過多或缺乏對植物之影響也是如此。因元素缺乏或過多，影響代謝反應而影響代謝產物。如植物吸收過多的氮，會形成自由態胺基酸 (free amino acids) 累積，缺氮則導致可溶性糖或澱粉之累積。同樣的，其他元素也分別經由其在植物體內所扮演之角色而影響植物之組成份與結構。這些反應的結果也就成為植物易受病與蟲攻擊之一原因。

不健康的植物較易受病與蟲之攻擊，植物在逆境 (stress) 之下或環境不平衡時也易生病且易受蟲之侵襲。反之，健康的植物可以抵抗病與蟲之攻擊。作物對病與蟲之抗力也因年齡或生長期而異 (Slansky, 1990)，此即表示對病與蟲的抗性與植物生理狀態有關。因此，任何影響植物生理狀態之因子均改變其對病或蟲之抗性。反之，植物較不受病、蟲害威脅，與植物較為健康有關 (Phelan et al., 1995)。許多病與蟲害其實是人為之干擾所造成的。法國植物生理學家 Chaboussou (1987, 1988) 強調：健康的植物能主動的抵抗蟲或病原菌，而這種能力與植物合成蛋白質有關；蛋白

質的合成可以被不平衡的營養或農藥直接影響，不平衡的營養則來自某些養分過度被吸收或被抑制；不平衡的營養使水溶性糖或氮化合物(主要是自由態胺基酸)累積 (Matsuyama, 1975)；這些可溶的物質為病菌與蟲的營養源。最終，不平衡之營養管理降低作物對病與蟲之抗力 (Magdoff and van Es, 2000)。

稻熱病 (rice blast) 之感染率與嚴重性與氮肥之施用量密切相關即是例子 (Long and TeBeest, 2000)；在荷蘭之研究也顯示，許多小麥病害與氮肥施用量顯著相關 (Tamis and van den Brink, 1999)。van Emden (1966) 之研究則顯示桃蚜 (green peach aphid, *Myzus persicae*) 之生殖力及生長與桃樹葉片中之可溶性氮密切相關。作物所吸收之氮的型態也影響病害之嚴重性 (Hube and Watson, 1974; Osuna-Canizalez et al., 1991)。有時候，有機農耕之作物有較輕之病害是由於植體中的氮濃度較低 (Daamen et al., 1989)。Workneh 等人 (1989) 經過二至五年對一大面積作物之調查研究，顯示番茄中的總氮 (total nitrogen) 含量、土壤中的硝酸態氮含量與番茄根部木栓化病 (corky root) 成正相關，土壤的氮礦化潛能則與番茄木栓根化病成負相關。Scriber (1984) 之研究顯示，氮肥施用量高，造成食草動物 (herbivores) 對植物之危害增加。有機肥料中的氮經礦化 (mineralization) 後才能被植物吸收利用，具有緩效性氮肥之性質，通常可以避免施肥之後植物體內氮濃度之急速提高且在其生長期間植體中的氮濃度較為均勻，而

其同時提供銨態氮與硝酸態氮之作用也對作物之生長有利。肥料分次施用之目的，除了減少施入土壤中的肥料被土壤固定或隨水而流失之外，也在於使植物不致在短時間內吸收過多之養分而干擾植物的生理營養等代謝反應。

參、氮營養與植物疾病

氮是土壤中最易缺乏的元素，也是作物栽培上施用量最多的元素。到目前為止，氮與植物疾病間之關係是被研究最多的。一般的結果是氮增加植物疾病，但是此通則受施肥量、施肥時間、氮型態、土壤條件及其他因子之交感所影響。

氮因改變植物生理、影響病原菌生長或毒性 (virulence) 以及改變生物或無生物環境，尤其是根圈而影響植物疾病。氮與大部分生長有關之植物生理作用關係密切，因此，許多因氮而改善之植物組成 (胺基酸、核酸、總氮、蛋白質) 與其對病之抗性、感性相關。氮是影響植物纖維素含量之主要因子，因此，影響細胞壁之機械強度。當施用的氮增加時，因葉片多汁而成為易被病原菌穿入、繁殖及易於其發展一些葉片的疾病 (foliar disease)。施用過多的氮，減少纖維素含量，也與根易受疾病侵襲有關。

根與葉的溢泌物 (exudates) 與根與葉內部的組成相似，因此，對病原菌之影響相同 (Huber and Thompson, 2007)。施過多的氮肥，使植物體內的胺基酸種類與數量提高。而此胺基酸大大提高染病率、植物營養狀態及根圈微生物組成。反之，當土壤中之有效性氮不足，無法滿足植物新的生長與發育之需，植物會分解 (cannibalize) 營養、生理及構造蛋白質當做氮源。因分解 1,5-二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶 (rubisco) 及磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶 (PEP carboxylase) 而終止光合作用，而限制抗病反應及病原菌

之軟化酵素 (Huber and Thompson, 2007)，這種現象在穀類作物之穀粒填充晚期較易發生。此時期對氮之需求增加，植物會動員 (mobilization) 與利用營養器官所貯存的氮。若貯存的氮量不足，則組織會很快的被分解，因而易遭病害。

在氮肥一次施用下，感性水稻之葉稻熱病 (leaf blast) 之染病率及感染之面積，比多次施用者嚴重，主要是因氮過多造成分蘖過多，使田間之通氣不良及植體中自由態胺基酸含量上升，但是抗性品種則不受影響。穀類作物之銹菌 (rust fungus) (*Puccinia graminis* Per.5)、霉變真菌 (mildew fungi) 及其他的葉片病害，因氮的增加而嚴重 (Huber and Thompson, 2007)。易受病的侵襲是因增加自由態胺基酸，而抵抗病害是因減少肽酶 (peptidase) 的活性與減少疾病營養源—胺基酸與可溶性糖。如施氮量增加，增加小麥之紋枯病 (eyespot) 與冠腐病 (crown rot) 及葡萄房枯病 (葡萄串腐爛) (grape bunch rot; cluster rot)，即增加其嚴重性。由 *Gibberella zeae* 引起之玉米莖腐病 (stalk rot) 是玉米生長晚期的疾病，也因缺氮而加劇 (Huber and Thompson, 2007)。

病原菌之存活、發芽、生長及致病受施用氮量之影響。立枯絲核菌 (*Rhizotonia solani*) 在黑麥草 (ryegrass) 之葉片菌絲 (foliar mycelium) 及葉枯病 (foliar blight) 因氮而增加。除非用殺菌劑，絕對寄生性病原 (obligate pathogens) 要依賴宿主提供養分，因此，改變植物組成可

以顯著改變這些病原菌之生長、繁殖與致病。在敏感的植物上，克服靜菌（fungistasis）的養分及病原繁殖體發芽會增加致病的潛能。這也被認為是增加病情的機制之一，如因 *Fusarium solani*、*Aspergillus niger* 及 *Phytophthora ciunimoni* 所引起之疾病（Huber and Thompson, 2007）。氮也可以經過促進或抑制病原菌之致病性所需之酵素合成或活性而影響致病性。這種機制在致使植物軟化之疾病上重要。

氮以不同的型態被植物吸收（主要是硝酸態與銨態），其進入植物體內則經由不同之代謝路徑，因而也對植物疾病有顯著之影響。是因直接或間接改變植物生長特性、產生不同之根分泌物及誘導生物控制等（Huber and Watson, 1974）。許多對氮在植物疾病上之影響不一致之研究結果是由於無法區分不同型態氮之影響；微生物也可以影響土壤中氮之有效性—經由脫氮作用（denitrification）或同化（assimilation）；微生物活性則又受土壤環境及其與植物之交感作用及植物間之交感作用所影響，但也與其他元素間有交感作用。

肆、磷對作物疾病之影響

磷增加植物抵抗不同疾病之能力是藉由增加組織之磷含量、加速組之成熟、保護年輕組織不受病原菌攻擊。一般而言，施磷肥對植物抗病之影響，在中度抗病品種不如高度抗病或感病的品種明顯。施用在土壤中的磷可能直接影響土媒病害 (soil borne disease) 及其寄主，而土媒病害經常可以藉由磷改變植物抗病機制而影響感染。

田間試驗顯示，磷肥對水稻稻熱病之影響不大 (Lozaka, 1965)，但是在供應氮多時則不同。當磷是限制因子，大量施用磷肥減少病的嚴重性。若磷肥為適量，增加磷則在氮施用量多時增加病之嚴重性。校正鋅缺乏施用之鋅量增加時，增加水稻葉稻熱病之嚴重性，是因減低土壤中磷的有效性 (Fageria and Zimmermann, 1979)。水稻穗稻熱病與組織中之磷、氮及鎂呈正相關，與鉀及鈣則負相關 (Prabhu, 1983; Filippi and Prabhu, 1998)。水稻因 *Cochliobolus miyabeanus* 引起之稻胡麻葉枯病 (褐色葉斑病 brown leaf spot)，在低於最適量之磷時嚴重 (Phelps and Shand, 1995)。

Graham 及 Menge(1982) 證明施用磷肥減少小麥全倒病 (take-all)，因為增加組織中的磷含量及減少胺基酸之溢泌 (exudation); 低磷之根部減少磷脂質 (phospholipid) 因而增加細胞膜之通透性及增加溢泌，根溢泌物與病原菌活性有關。因此，植物體中高濃度的磷減少根之溢泌及病情。

番茄之鐮孢菌萎凋病 (Fusarial wilt) 因施用之磷肥量增加而增加，但是土壤中的有效性鈣高及磷低，其嚴重性會下降 (Wolfe and Jones, 1973)。此又與土壤之酸鹼度有關，在 pH 6，番茄因施用過多磷增加番茄枯萎病，pH 7.0-7.5 則病被抑制。

養分缺乏的植物，易發生線蟲之危害。磷肥施用量增加作物對線蟲之抗力，是因增加蛋白質之合成與細胞活性。

伍、鉀對作物疾病之影響

有許多關於鉀與植物病害之關係的研究,但是沒有一致之結論。Huber 與 Arny (1985) 曾整理有關之研究發現,鉀肥之施用對減少真菌性疾病、細菌性疾病、病毒引起之疾病或線蟲危害比增加者多。鉀至少是五十種植物體中之酵素的活化劑 (activator), 因此,鉀缺乏影響許多反應,使植物之抗病力下降。如碳與氮的代謝受影響,使胺基酸與可溶性糖累積,而成為病原菌之營養源,其實昆蟲也會優先啃食鉀缺乏之植物 (圖一)。鉀肥施用過多對致病性的影響視作物、病原菌之種類及環境條件而定,水稻之葉稻熱病與鉀肥之施用量呈正相關 (李等人, 1981; Fagerua and Prabhu, 2003), 但是鉀肥之施用量增加,卻可以減少水稻之穗稻熱病 (Prabhu et al., 1999)。



圖一、蟲啃食營養不良的玉米植株 (右下) 葉片

陸、鈣對作物疾病之影響

鈣可能是氮以外與植物疾病管理有關之最重要無機養分。植物所吸收的鈣，大部分在細胞外發生功用，其最重要之功能為維持細胞膜與細胞壁之完整性，因此，鈣缺乏引起之病害亦主要與此功能有關。大部份的研究均顯示，鈣之施用可以減少各種不同之疾病危害。缺鈣除了影響植物信息之傳導之外，細胞膜與細胞壁因有缺陷而使病原菌容易入侵。施用石灰以改善 1878 年所發現之十字花科植物之根瘤病 (clubroot)，已有兩百多年之歷史，為最有名之例子。其他因施用鈣而減少之病害的例子，如黃麴菌 (*Aspergillus flavus*) 對花生之感染 (Wilson and Walker, 1981)；馬鈴薯塊莖因 *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* (van Hall) Dye 引起之軟腐 (soft rot)(McGuire and Kelman, 1984)；*Phytophthora cinamomi* Rands 感染酪梨 (avocado) 幼苗 (Messenger et al., 2000)；歐洲酸橙 (sour orange) 因 *Phytophthora nicotianae* Breda de Hann 所造成之根腐 (root rot)(Campenella et al., 2002)。

氮、鎂及其他必須元素對作物疾病之影響

鎂及其他必須元素缺乏或過多對作物疾病之影響之研究較少。由 1939 年到 2000 年約有五十一篇與鎂相關之研究 (Jones and Huber, 2007)，其結果則因作物種類、病害種類以及土壤環境而異，其原因則是：對巨量元素鎂而言，缺乏所引起之元素間之交感作用較為明顯，而交感作用則又因植物與土壤條件而異。硫缺乏常導致疾病之發生 (Jones and Huber, 2007)，硫及其化合物（主要為植物的二次代謝產物，secondary metabolites）常具有抗菌性質（是生物殺蟲劑，biocide），因此，硫提高植物之抗病性，硫也可以提高其他元素之有效性。錳對植物病害之影響的研究大都顯示增加土壤中錳之有效性可以減少植物病害，但是病毒所引起之危害則相反 (Huber and Wilhelm, 1988)；李等人 (1981) 之研究顯示水稻之胡麻葉枯病之嚴重性與水稻植體內之錳濃度呈負相關。許多植物病害是由缺銅所引起 (Evans and Solerg, 2007)，有適當量銅供應之植物抗病之原因可以歸因為與植物抗病有關之類黃酮 (flavonoids) 生合成之關鍵酵素 chalcone 合成酶 (chalcone synthetase) 之活性誘導需要銅；且當病原入侵，在細胞壁上阻擋病原所需之過氧化氫合成之酵素亦以銅為活化劑。文獻上所報導有關矽對植物病害之影響幾乎均顯示，當植物吸收之矽增加時，減少植物之病害，但是 Bengsch 等人 (1989) 則發現矽增加因 *Belladonna mottle virus* 所引起之菸草病

毒危害。有關矽對水稻病害之影響之研究最多，Datnoff 等人（1991）發現水稻穗頸稻熱病（neck blast）之發生與矽酸爐渣之施用量呈負相關。李等人（1981）之研究亦發現，水稻之胡麻葉枯病與植體中的矽含量呈負相關。矽與其他作物病害之關係的研究越來越多，均顯示因吸收之矽增加而病害減少，其抗病之機制仍不十分清楚且各研究者之結論不一致，然而，因吸收矽而增加對病原菌入侵之物理阻隔被認為是主要作用。

捌、農田土壤生物多樣性與植物健康

生物多樣性是指生態系中所有之植物、動物與微生物且彼此間有交感作用 (Vandermeer and Perfecto, 1995)。農業系統中之生物多樣性不但提供人類所需之食物與纖維，同時也與物質循環、調控局部性之微氣候、調控局部性之水文作用 (hydrological processes)、調控不必要之生物豐度 (abundance) 與有毒物質之去毒作用等有關。土壤中有很多各種不同的微生物，如細菌、放線菌、真菌、藻類、病毒及原生動物。土壤微生物在所有生態系中組成一大的、動態的養分源且在殘體分解與養分循環上扮演的角色重要。此外，微生物在土壤中與化學改變有關，如土壤有機物之累積、固氮作用及其他影響作物生長之土壤性質改變。細菌與真菌在養分循環上是初級分解者 (primary decomposers)，在土壤之食物網上占有重要的地位。在所有養分循環上，90 至 95% 是通過此兩類生物而進入更高級之營養層次。因此，細菌與真菌之功能及多樣性是決定農業生態系品質之重要因子。

Rapport (1995) 定義健康的生態系 (healthy ecosystem) 具有下列之特性 (一) 完整的物質循環與能量流;(二)面對干擾或逆境時之具穩定性與彈性 (resilience); (三)具生物多樣性;(四)不同之功能單位間互相連結;(五)甚少爆發動、植物疾病。健康的生態系應該是易利用之有效養分含量低或營養不足的 (oligotrophic)，但有最大之生物多樣性的環境 (van Bruggen and Termorshuizen,

2003)。

微生物對農業生態系之衝擊是通過與其有關的許多功能。如土壤腐植之形成、養分之循環、土壤耕性 (soil tilth) 與構造之形成，是與許多不同屬與種之微生物有關。大部分土壤微生物均有益於植物生長，但是需要適當的管理；土壤微生物可能造成之傷害包括植物疾病、產生抑制植物生長之物質以及使植物養分損失。在農業上，可以經由管理使特定的微生物產生有益的效應。例如共生固氮菌增加植物有效氮，菌根真菌共生促進養分吸收或生物控制蟲害以減少化學藥劑之施用。病原真菌大大減少植物之存活、生長與繁殖，但是菌根真菌則藉由增加養分與水分吸收而促進植物生長。微生物具有用於生物控制之潛力。生物控制也能用於控制昆蟲、病原菌及雜草，是藉由降低昆蟲之族群數或減少昆蟲之衝擊。微生物能當做其所產生之天然農藥之直接傳輸系統。產生抗生素之真菌與細菌能用於許多植物病害的防治。集約之農業經營導致農業系統之主要作用為生產食物與纖維，而其他的功能因生物簡化而失去時，其環境與經濟的代價則相當高 (Altieri, 1999)。

土壤有機質多與生物活性大的土壤表現好的土壤肥力、複雜的食物網與有利的生物結構，且能抑制病與蟲之感染。土壤之肥力高以及有機物多，能提高病害之自然生物控制。如在澳洲之酪梨 (avocado) 果園，由 *Phytophthora cinnamoni* 引起嚴重之根腐病 (root rot)，自然雨林之土壤生長之酪梨卻非常健康。但是此自然雨林之土壤利用一段

時間，其土壤有機物減低時，其酪梨也得根腐病（Campbell, 1989）。Drinkwater 等人（1995）、Chang 等人（2007, 2008）之研究均指出，施用有機肥料的土壤含有比施用化學肥料者之微生物活性與生質量高（表一、表二、表三）。如其中之木黴菌（*Trichoderma* species）繁殖體（propagule）密度較高（Drinkwater et al., 1995）。

生物控制（biological control）之機制包括：（真菌）寄生（(myco)parasitism）（Harman, 2000）、產生抗生物質（antibiotics）或酵素抑制或減少其他生物的競爭力（Howell and Stipanovic, 1983; Simon et al., 1988; Dunlop et al., 1989; Ghisalberti and Sivasithamparam, 1991; Harman, 2000）、競爭空間與能量（Cook, 1988）、動員（mobilization）土壤養分使其有效性提高（Harman, 2000）以及誘導植物之抗性增加（Handelsman and Stabb, 1996; Harman, 2000）。

表一、不同的施肥管理經三年後對土壤微生物族群之影響

處理	細菌		放線菌		真菌	
	10 ⁷ CFU/g		10 ⁴ CFU/g			
化學肥料	3.24	d [†]	1.17	d	3.39	c
未施肥	3.72	cd	1.32	d	3.80	bc
一倍量堆肥	4.47	cd	1.82	c	4.68	abc
二倍量堆肥	4.68	bc	2.00	bc	5.25	ab
三倍量堆肥	5.75	ab	2.24	ab	5.62	a
四倍量堆肥	6.92	a	2.40	a	5.75	a

† 同一行中的數字標示不同的英文字母表示在統計上達到顯著差異水準 (p = 0.05)。

表二、不同的施肥管理經三年後對土壤微生物活性之影響

處理	微生物	微生物	呼吸速率, mg CO ₂ /kg/h	硝化速率, mg NO ₂ /kg/h
	生質碳, mg C/kg	生質氮, mg N/kg		
化學肥料	301 d [†]	31.3 bc	1.65 c	0.594 d
未施肥	316 d	24.7 c	1.59 c	0.340 d
一倍量堆肥	421 c	41.5 ab	2.32 b	0.74 c
二倍量堆肥	467 bc	47.6 a	2.63 b	0.94 b
三倍量堆肥	549 ab	53.5 a	3.56 a	1.22 a
四倍量堆肥	601 a	53.7 a	3.95 a	1.28 a

† 同一行中的數字標示不同的英文字母表示在統計上達到顯著差異水準 (p = 0.05)。

表三、不同的施肥管理經三年後對土壤酵素活性之影響

處理	去氫酶, mg TPF/kg/h	β -配糖酶, mg PNF/kg/h	尿素酶, mg NH ₄ ⁺ /kg/h	芳香基 硫酸酯酶, mg PNF/kg/h	鹼性磷 酸酯酶, mg PNF/kg/h
化學肥料	87 d	19.7 d	46.8 b	40.1 c	372 e
未施肥	61 e	17.9 d	50.1 b	43.0 c	407 de
一倍量堆肥	102 bc	26.7 c	55.2 b	45.9 bc	434 cd
二倍量堆肥	112 b	27.8 c	65.2 ab	53.8 ab	456 c
三倍量堆肥	159 a	36.1 b	67.7 ab	55.0 ab	463 b
四倍量堆肥	151 a	43.9 a	84.4 a	59.4 a	588 a

† 同一行中的數字標示不同的英文字母表示在統計上達到顯著差異水準 (p = 0.05)

玟、土壤有機質抑制病害與蟲害不是新的發現

施用有機質肥料則直接對土壤抗植物病原有貢獻。在 1960 年代，美國花卉之育苗工業使用木材工業廢棄物製成堆肥，以取代泥炭 (peat) 當做盆栽介質。此時即發現堆肥之施用可以改善由 *Phytophthora* 引起之根腐病並減少損失 (Hoitink and Fahy, 1986)。堆肥施於田間，只要離種植作物的時間夠長，腐熟度並非最重要。在 1980 年代，證明堆肥施用可以有效的抑制土媒病害，包括 *Fusarium*、*Phytophthora*、*Pythium*、*Rhizoctonia solani* Kuehn 及其他病原菌 (Hoitink et al., 1991)。

抑病土常是有機質多的土壤。有足夠之資料顯示，相當廣泛之植物病原菌及昆蟲因土壤施用有機物而減低其感染率 (Cook, 1986; Abawi and Widmer, 2000; Akhtar and Malik, 2000; Gamliel et al., 2000; Lazarovits et al., 2001)。即溫室之生產系統與田間之土壤均因施用某些堆肥而造成抑菌條件 (圖二)。Linford 等人 (1938) 發現，有機添加物施於農田土壤使作物對線蟲危害之抗性增加。有機添加物促進微生物活性因而拮抗植物線蟲。此外，有機添加物分解導致土壤中具抗線蟲之特定化合物之累積亦具有拮抗植物線蟲之作用。即改善土壤構造及肥力、改變植物抗性、釋出對線蟲有毒之化合物、真菌與細菌寄生及其他抗菌物質可以控制腐生植物之線蟲。



圖二、健康的小黃瓜並未感染白粉

將農田土壤以放射線殺菌後，致使病害嚴重，木栓化根腐病（corky root rot）之感染率增加，顯示農田土壤之抑病作用為生物的而非化學的（van Bruggen, 1995）。van Bruggenu (1995) 也發現有機農田土壤遠比慣行農田土壤中之分解纖維素與半纖維素之放線菌族群數高。添加葡萄糖/天門冬胺酸 (aspartic acid) 於堆肥介質中比至泥炭介質中導致更多之細菌生長而更少之真菌生長，*Pythium aphanidermatu* 菌絲很快被分解，為細菌所完成 (Mandelbaun and Hadar, 1990)。許多藉由捕食致病微生物，如線蟲、致病真菌或昆蟲而控制植物病害之土壤真菌被發現：*Trichoderma* spp.、*Gliocladium* spp.、*Pythium oligandrum*、*Taloromyces flavus*、*Coniothyrium minitans*、*Ampelomyces quisqualis* (Brimner and Boland, 2003)。

拾、施肥管理影響植物健康

農業經營之主要影響是：在與生物活性有關之養分循環、改變碳與氮之投入、土壤物理環境及合成化學物質投入對土壤微生物與動物之負效應。在農業經營裡，應強調土壤是一活系統，發展有益的生物活性是此定義的中心。所以土壤是活的以及造成一個健康的土壤是農業的基礎。健康的作物、動物與人的基礎是健康的土壤，產生健康土壤的起點是打破土壤只是作物生長介質的觀念 (Lampkin, 1990)。約於二十年前，臺灣曾相當廣泛的推廣水耕栽培蔬菜，但是幾乎全軍覆沒。其失敗有許多原因，但是也間接證明離開土壤，沒有農業。Sir Albert Howard (1948) 把土壤肥力消退稱為生病 (disease)，維持土肥力是健康植物與抗病力之基礎 (Bailey and Lazarovits, 2003)。Eve Balfour 在其所著活的土壤 (the living soil) 一書中提到培養土壤，以土壤餵食植物。施肥管理因影響植物之養分組成而間接影響植物對病蟲與之抗性，而氮被認為是最重要之因子。Scriber (1984) 回顧五十年來有關作物營養與昆蟲侵襲之研究，發現正常之施肥時，食草動物對作物所造成的傷害小。Cook (1986) 證明維持植物根之健康是作物高產條件之一。

Davis 等人 (2001) 分析 100 個商業栽培之馬鈴薯田之土壤特性、病害及產量，發現與土壤完整性最有關之因子如有機物、有機氮及增加有效養分與減少疾病與高之產量密切相關。研究顯示，作物對蟲與病之抗性或耐性與土壤最佳

之物理、化學，尤其是生物性質有關。含有高量有機質與表現高生物活性的土壤通常表現好的土壤肥力及抑制感染植物病害之複雜食物網。

土壤生物管理 (soil biotic management) 之核心目標是使殘體之分解、養分之生物固定 (immobilization) 與礦化等總合作用之養分釋放與植物生長同步 (Magdoff, 1992)。土壤管理應是經由多年之有機物施用以形成 (build up) 土壤肥力，以避免變動大之養分供應，儘量減少作物生長期間之大量養分供應，也應避免過度供應高氮含量且在作物生長初期釋出大量氮之有機物質。

Painter (1951) 將植物對病的抗性分為三類：偏好 (preference)、抗生 (antibiosis) 與耐性 (tolerance)，施肥管理則影響此三者。降低病原菌在土壤之感染源 (inoculum) 密度、減低其存活能力、除去其寄主以及創造利於其他微生物生長的條件均可降低病原菌數目 (Bailey and Lazarovits, 2003)。如施肥之棉花，其棉鈴象鼻蟲幼蟲 (boll weevil larvae, *Gossypium hirsutum*) 之密度比未施肥者高三倍 (Adkisson, 1958)，可歸因於施氮肥造成生長期長且使植體多汁。Klostermeyer (1950) 施用氮肥增加甜玉米 (sweet corn) 包葉 (husk) 之伸長且包裹玉米更緊因而增加玉米穗蟲 (corn earworm (*Heliothis zea*)) 的感染。Meyer (2000) 指出，土壤養分有效性高，不但增加由食草動物而來的傷害，且影響其受傷之後的恢復力。

拾壹、堆肥的重要性

堆肥的穩定度是限制堆肥被廣泛應用之主要因子之一。在田間只要在種植之前施入堆肥並使其在田間更進一步穩定化，則堆肥的穩定度較不重要。但是未腐熟之堆肥又常常造成問題，因為在大多數情況下，肥料施入土壤之後即行栽培。堆肥性質對土媒病害之影響常被忽略 (Hoitink et al., 1991)。除非在種植之前數月施用以使鹽分洗出，否則高鹽分含量之堆肥也會提高 *Pythium* 與 *Phytophthora* 引起之疾病。低碳高氮之污泥堆肥，由於釋出相當量的氮，提高 *Fusarium* 引起之萎凋病 (Hoitink et al., 1987)；高碳氮比之堆肥，若含有適當的微生物，由於其會固定 (immobilization) 氮，抑制 *Fusarium* 引起之萎凋病 (Trillas Gay et al., 1986)。

植物病原菌與種子在堆肥化過程中之高溫 (55至70°C) 下被殺死。因此，剛經過高溫期之堆肥中之生物數量應是極少。後熟開始於易分解的組成分含量下降時，此時之分解率、生熱與溫度均下降。使適合在低於 40°C 之嗜中溫菌 (mesophilic microorganisms) 由堆肥外向內再移殖 (recolonization)。因此，病原菌之抑制菌種在後熟期被誘導而在堆肥中大量再移殖。如 *Bacillus* spp.、*Enterobacter* spp.、*Flavobacterium balustinum*、*Pseudomonas* spp.、其他細菌屬以及 *Streptomyces* spp.、*Penicillium* spp.、*Trichoderma* spp.、*Glicladium virens* 及其他真菌均被證

明是在堆肥施用時呈現之有效生物控制劑。

堆肥乾燥 (<34% 水分) 時, 真菌會再移殖, 利於 *Pythium* 病菌。要誘導抑病, 堆肥之水分應夠高 (至少 40 至 50%) 使細菌與真菌在高溫期之後可以再移殖。堆肥之 pH 也影響有益細菌之再移殖, pH 小於 5, 抑制細菌性生物控制劑之再移殖 (Holtink et al., 1991)。田間生產的堆肥比封閉系統內生產之相同堆肥更能一致的具有抑制 *Rhizoctonia* 病的現象, 是由於在封閉系統內僅有甚少之微生物存活及再移殖 (Holtink et al., 1991)。由後熟二週之污泥堆肥中心取得之堆肥施用於小黃瓜仍有嚴重之 *Pythium* 幼苗倒伏病 (damping-off disease), 六週之後的堆肥則此病被抑制 (Kuter et al., 1988), 顯示生物控制劑之再移殖的重要。

後熟是堆肥過程的最後階段, 在堆積物經過幾次升溫及降溫的循環後, 原料因此分解, 此時堆肥化作用應在熟化堆中緩慢完成。大部分的腐植質是在這個最後階段產生。

拾貳、肥料施用之原則

施用超過作物所需養分量之肥料造成土壤中養分之累積而使鹽含量升高及導致土壤與植物體中鹽基不平衡 (Oniani et al., 1973; Mckenzie et al., 1992a, b; Dormar and Chang, 1995; Aulakh and Pasricha, 1999; Hao et al., 2003; Van Den Bossche et al., 2005)。如 Dormar 和 Chang (1995) 之研究顯示連續二十年施用牛糞廐肥，使土壤中的有效磷含量由 9 mg/kg 上升至 1,200 mg/kg，Hao 等人 (2003) 長期施大量堆肥 (90,000 kg/ha) 導致氮在土壤中累積，此也會造成硝酸態氮在植物中累積 (鍾與翁, 1998)。Chang 等人 (1991) 之研究則顯示經過十一年施用有機質肥料，使土壤中的有機物、總氮與硝酸態氮之含量隨有機質肥料之施用量而增加，並且發現在每年施用 30,000 kg/ha 時，其 150 cm 厚之土壤中的硝酸態氮之含量多達 1,000 kg/ha。

施肥之基本原則是：遵守最少養分律 (the law of the minimum)；注意報酬遞減律 (the law of the diminishing return)；注意作物的種類及特性、作物之營養期、肥料特性、土壤特性與氣候條件；施用適當量之腐熟堆肥。

拾參、結語

施肥管理影響土壤生物多樣性，而多施肥料是現代農業經營之重要手段之一，高量的肥料施用的結果也減少農田土壤之生物多樣性。不但破壞了生態法則，或者說食物鏈 (food chains food webs) 之關係被破壞。對作物而言，平衡的養分含量是重要的，如此方可使各種營養生理反應順利進行且不至於有某些代謝產物之累積而成為病或蟲之營養源，進而減少病或蟲害，這些均可以藉適當施肥管理而達到，即平衡之施肥與適當的施肥時間。

附錄：歷年來臺大農業推廣委員會出版農業推廣手冊目錄

出版年月	輯別	題 目	執 筆 者
71年10月	1	紫蘇	園藝系 蔡平里
71年10月	2	鄉村居民發展社區	農推系 蔡宏進
71年10月	3	矮牽牛	園藝系 李 晔
71年11月	4	擴大農場經營規模	農推系 蔡宏進
71年11月	5	農民對農會合併措施之反應	農推系 廖正宏、陳昭郎
71年11月	6	農會總幹事領導才能之研究	農推系 徐永燦
72年8月	7	市場導向經濟與農業推廣	農經系 李順成
72年8月	8	綠竹筍的栽培	森林系 郭幸榮
72年8月	9	茭筍	園藝系 黃 涵
72年8月	10	蔥蟲害與防治	植病系 許洞慶
72年8月	11	農業推廣實務的新方向	農推系 蔡宏進
72年8月	12	非洲鳳仙花	園藝系 李 晔
72年8月	13	草莓栽培法	園藝系 鄭正勇
72年8月	14	柿之旅	園藝系 蔡平里
73年2月	15	台灣柑橘事業	園藝系 林 樸
73年2月	16	山羊與綿羊的飼養管理	獸醫系 黃敦仁
73年2月	17	肉雞飼養管理與疾病防治	獸醫系 黃敦仁
73年5月	18	豬隻病蟲害防治	獸醫系 吳義興
73年5月	19	淺談臺灣主要柑桔病害	植病系 莊再揚
73年5月	20	農藥之安全經濟有效的使用	農化系 王一雄
73年5月	21	農業推廣與農民參與	農推系 陳昭郎
73年8月	22	百香果栽培法	園藝系 鄭正勇
73年8月	23	農民基層組織輔導原理與方法	農推系 蔡宏進
73年8月	24	鷓鴣、雉雞之飼養與保健	獸醫系 黃敦仁
73年8月	25	彩葉草	園藝系 李 晔
74年5月	26	乳牛的飼養管理	畜牧系 宋永義
74年5月	27	農產品運銷	農經系 許文富
74年5月	28	成功的農場經營靠管理	農經系 江榮吉
75年6月	29	臺灣香蕉主要病害	植病系 莊再揚
75年6月	30	花卉害蟲與防治	植病系 許洞慶
75年6月	31	獼猴桃	園藝系 蔡平里
79年8月	32	畜產廢棄物處理利用	農化系 楊盛行
79年8月	33	農家垃圾處理	農推系 高淑貴
82年6月	34	果菜運銷	農經系 蕭清仁
82年6月	35	蔬果農藥殘留與安全評估	農化系 王一雄

施肥管理與植物病害

出版年月	輯別	題 目	執 筆 者
83年7月	36	西印度櫻桃之栽培	園藝系 林 樸
83年11月	37	蔬菜採收處理	園藝系 蔡平里
84年12月	38	蔬菜害蟲	植病系 彭武康
84年12月	39	蔬菜與水果的品質與品質維護	園藝系 劉富文
85年6月	40	家禽病毒性疾病防治	獸醫系 王金和
85年6月	41	香辛類蔬菜推廣試論	園藝系 蔡平里
86年6月	42	環境污染公害之鑑定與診斷	植病系 孫岩章
86年6月	43	農業產銷班的經營管理	農經系 江榮吉
87年4月	44	克弗爾與健康	畜產系 林慶文
87年5月	45	農業害蟲食痕診斷	植病系 彭武康
87年5月	46	蔬菜及花卉病害	植病系 吳文希
88年5月	47	溫室的故事	農機系 馮丁樹
88年5月	48	穴盤育苗自動化	農機系 陳世銘
89年11月	49	休閒農業	農推系 陳昭郎
89年11月	50	稻米加工與貯藏	生機系 盧福明
89年11月	51	植物營養缺乏症之診斷	農化系 鍾仁賜
91年11月	52	有機栽培	園藝系 鄭正勇
91年12月	53	電腦網路應用基礎訓練	農推系 岳修平
92年12月	54	香草植物之栽培管理	園藝系 張祖亮、張育森
92年12月	55	生物農藥概論	植微系 陳昭瑩
93年8月	56	漁村家政推廣行腳	農推系 高淑貴
93年10月	57	鄉村社區行動組織工作手冊	農推系 闕河嘉
94年11月	58	植物與保健	園藝系 許 輔
94年11月	59	家禽流行性感冒	獸醫系 蔡向榮
94年11月	60	台灣地區外來入侵昆蟲	昆蟲系 柯俊成、陳陽發
95年11月	61	果瓜實蠅及果樹害蟲之生態與防治	昆蟲系 石正人
95年11月	62	土壤的健康管理	農化系 何聖賓
96年10月	63	無毒農業	植微系 孫岩章
97年10月	64	植物蟲害診斷諮詢 QA 問答集~ 消費者篇	昆蟲系 柯俊成
98年12月	65	嫁接梨栽培管理	園藝系 陳石人、農化系 鍾仁賜 植微系 洪挺軒、昆蟲系 柯俊成
99年11月	66	柑橘栽培管理	園藝系 陳石人、農化系 鍾仁賜 植微系 洪挺軒、昆蟲系 柯俊成
100年12月	67	話說『植物工廠』	生機系 方 煒