

設施蔬菜栽培環境之維護

陳琦玲 張瑞明

行政院農業委員會農業試驗所農化系

摘要

所謂「設施園藝」是利用設施，改善園藝作物之生長條件，包括光照、溫度、水分、二氧化碳、氧氣、土壤介質等，提供最適宜之生長環境，以達經濟生產之目的。但由於台灣之氣候條件及人為操作不當，仍會影響設施栽培的環境，進而影響蔬菜生產。本文就設施中可能發生的幾項環境問題提出討論，如夏季設施內溫度過高、土壤鹽化與重金屬累積等問題，並提出應注意之管理方式。另亦提出氮肥過量施用對人體健康與環境之衝擊。

前言

設施園藝發達的國家，如荷蘭、日本等，均位處高緯度地區，冬季長且天氣嚴寒，作物生長緩慢，須利用設施保溫，方可促進生產。而台灣位處亞熱帶地區，週年氣候溫和，適宜作物生長，尤其冬季若無寒流來襲，園藝作物生長良好，產量多且品質佳，常有供過於求的現象發生，所以，台灣對於設施園藝的需求，就不如高緯度地區迫切(郭，1988)。

但由於台灣四面環海，受海洋氣流影響，雨量充沛而集中，每年5月即進入梅雨季，夏季又因高溫多濕，病蟲害嚴重，加以夏、秋兩季颱風、豪雨頻仍；冬季若遇冷氣團南下影響，氣溫驟降，凡此均不利於園藝作物生長，甚或造成農業災害。為減低風災與水災損失，故有設施栽培的需求。而在台灣利用設施栽培蔬菜，最主要的目的，在

於穩定夏季蔬菜生產，而且在冬季，可調節產期，遇寒流來襲時，亦可收保溫效果(林，1992)。但目前國內設施蔬菜大都是簡易實用型設施，其主要功能在防雨，對於颱風仍無法克服。

目前台灣常有的設施蔬菜栽培方式，有矮隧道式塑膠棚、網室與塑膠布網溫室，約佔蔬菜栽培面積的 %。根據調查，這些設施的淨收益大都較露天栽培者為高。塑膠布溫網室約二年餘可回收資本，網室不到一年即可回收(林，1992)，因此有足夠成本的農民，即會嘗試設施栽培。

設施蔬菜栽培環境之維護

所謂「設施園藝」是利用設施，改善園藝作物之生長條件，包括光照、溫度、水分、二氧化碳、氧氣、土壤介質等，提供最適宜之生長環境，以達經濟生產之目的。但由於台灣之氣候條件及人為操作不當，仍會影響設施栽培的環境，進而影響蔬菜生產，以下針對幾點常見問題提出討論：

(1) 設施內溫度之控制

溫室內之光強度與葉片光合成產物有極密切的關係，一般露天栽培在 30,000LUX 的強光下，對光合成有效臨界高溫為 30~35℃，溫室內受到覆蓋物遮光下，光飽和點為 18,000~13,000LUX，其光合成有效臨界高溫為 25~30℃，超過此溫度，則光合成能力減弱(林，1992b)，而夏季設施內溫度常在 40℃ 以上，足見維持溫室內適當溫度之重要性，通常在溫室加裝送風設備，即可達降溫之效果。網室則可選擇防止積熱之不織布作為覆蓋資材，以降低網室內之溫度。夏季設施內亦可選擇適合夏季栽培之菜種及耐高溫之品種，莧菜、空心菜、小白菜、萵苣都適合夏季生長，惟萵苣種子有熱休眠之特性，播種至萌芽之溫度超過 35℃ 種子即進入休眠狀態，應先將種子浸水 12 小時後播種，可以克服 (宋，1997a)。

根據調查，目前溫室所使用之 PE 塑膠布，於冬季期間之光合度約為室外的 2/3；若為防止溫室內積熱而用不織布覆蓋，其光度僅為

室外之 1/3。此在冬季短日條件下，更顯日照量不足(林，1992b)。

(2) 避免害蟲入侵

設施內為較沒有競爭者的環境，若管理不慎讓害蟲進入，則在沒有競爭的情形下生長，將會無限制擴大族群數。設施可以 16 目紗網覆蓋防止昆蟲進入，並隨時注意紗網密閉性，減少害蟲進入之機會。播種前種子應經消毒或預措並避免連作，以減少寄主，降低害蟲為害之機會(宋，1997a)。

(3) 降低設施蔬菜栽培設施內鹽分累積

本省西部地區土壤，電導度在 4 mS/cm 的耕地面積，約有 30000 公頃(王，1978)，主因是地下水過高，海風攜入鹽分與長期乾旱所致。另外，由於工廠排水混入灌水道中，使本省現在灌溉水質鹽分常出現高於 700 μ S/cm 之標準，不是如 50 年間大都維持在 300 μ S/cm 左右，應留意土壤的鹽化問題。除了前述自然因素與工業的污染外，施肥也可能造成鹽分的累積。特別是設施栽培土的鹽分累積問題，此乃因台灣地區設施蔬菜栽培為求縮短生產時間和提高產量，往往超量施用化學肥料，加上設施內之土壤缺少雨水淋洗，致使土壤中氮、鹽基（鉀、鈣、鎂、鈉）及磷等累積，這種養分過剩現象，將會破壞土壤中微生物相和造成作物生理障害，致使蔬菜生育受阻，產量降低，品質欠佳。根據(陳，1995)調查設施栽培土壤鹽化情形如表 1、2 所示。顯示設施栽培，土壤鹽化程度較一般栽培為烈，同時隨栽培時間之增加而加深鹽化現象。

無論化學肥料或有機肥料的施用都有可能造成鹽分的累積，應注意合理化施肥。可參考農林廳、各改良場亦共同編製作物施肥手冊。此外，在農委會與農林廳的經費補助下，農試所與各區改良場都有土壤與植體營養診斷分析服務(陳與連，1989)，農民可自行採樣或請改良場、農會服務人員指導採取適當的土壤與葉片樣品，寄至分析中心，做肥力及營養診斷，以得到適宜的土壤管理方式及合理化的肥培管理推薦，再配合現場的複查，施用肥料，可增加作物對所施肥的利用率，並避免肥料的浪費或鹽分累積及對環境造成污染。

埋設水管除洗設施內土壤鹽分，也是可行的方式，可在設施栽培

土壤內用 PDC 4 英吋粗的黑網管並以不織布包住，然後挖溝，在深度 60 公分埋設，灌排水之方法，利用設施栽培空閒期灌水，淹滿後再排水，重複 2 ~ 3 次灌排水即可 (宋，1997b)。客土、換土或種植耐鹽作物，亦可解決已有鹽分累積之土壤。

(4)防範氮肥污染環境

依據日本拔川與小室 (1998)之評估，相對於其他產業，農業經營對環境更具有公益機能，但若處理不當，仍會對環境造成衝擊。依其對不同土地利用經營之環境影響評估，認為水田不會如旱田有硝酸態氮之淋洗。此乃由於水田土壤可以湛水的性質(非如旱田易滲)及還原狀態下土壤表層氧化產生的 NO_3^- ，易還原脫氮的特性，使 NO_3^- -N 之淋洗量少。徐等(1968)的水田滲漏水分析，亦顯示氮淋洗量所佔的百分比顯著小於經脫氮或氮揮散的損失。而旱作則會有較多的硝酸態氮淋洗。根據旱田試驗結果(連等，1996)顯示，尿素在學甲土壤(石灰性砂頁岩沖積土、坩質壤土)中隨著淹施水量的增加，往下之移動甚為明顯，當水量增至 100 mm 時，甚至將 0-5 cm 表層原有之無機態氮淋至下層土壤，並且其尿素氮亦已迅速轉化為銨態氮，並由銨態氮迅速轉化為硝酸態氮，而有下滲 60-80 層跡象，在淹施 2 天後，其所施尿素氮回收率，只有施氮量之 38%，恐有污染地下水之嫌(表 3)。

蔬菜園則因高施肥量及灌水管管理，其無機態氮淋洗情形更甚於其他旱作。西螺蔬菜園採收後土壤剖面之硝酸態氮濃度明顯高於鄰近水田者(連與王，1997)。所施用三要素肥料被蔬菜吸收之比例甚低，分別僅為氮素 11.0%，磷酐 1.7%，氧化鉀 15.1%，此亦証實施用之肥料流失量甚大。蔬菜與花卉專業區常密集且大量施用肥料，西螺蔬菜專業區之施肥量，一年三要素每公頃用量幾近十噸，換算成肥料，則用量更為驚人，因而導致土壤累積多量的肥料鹽，使植體吸收累積多量硝酸態氮，同時淋洗污染地下水源(吳，1997)。根據農試所全省蔬菜園專業區的地下水監測調查，發現南部某些地區之地下水硝酸態含量明顯偏高，其原因應是肥料之大量施用。

硝酸態氮(NO_3^- -N)通過土壤進入地下水系統，影響飲用水水質之發現已有半世紀的歷史(Campell et al., 1954)。飲用水中硝酸根導致藍嬰症

(blue baby syndrome, 學名 methemoglobinemia)之濃度, 在人類尤低於家畜(45mg/l vs. 200mg/l)(Lal and Stewart, 1994), 硝酸根與胺(amine)或醯胺(amide)結合而成亞硝酸胺(nitrosamine)及亞硝酸醯胺(nitrosamide)類化合物, 其中 80% 經證明有致癌性(OECD, 1986)。地下水之氮素污染源, 主要來自放牧動物排泄物或氮素肥料的使用管理不當。依據林等(1999)屏東地區地下水之分析結果, 發現部分地區之無機態氮與銨態氮濃度, 已超過飲用水標準, 是畜牧業或施肥引起, 值得探究。

美國國科會 (US National Academy of Science) 報導指出, 每人每天由食用食物而來的硝酸態氮量為 72.6 毫克, 其中 89.5% 來自蔬菜類, 6.1% 來自水果, 1.7% 來自穀類 (Walters, 1991) 另有學者指出每人每天由食用食物而來的硝酸態氮量為 61 毫克, 其中 75% 來自蔬菜類 (Walters, 1991)。飲水中若含有 10mg NO₃--N/L, 以成人每天喝水 2 公升計算, 則每人每天由飲水而來的硝酸態氮有 20 毫克。多數葉菜是喜好硝酸態氮的作物, 如果大量施肥將導致植體累積大量硝酸態氮 (Kowl and Barker, 1981)。植物硝酸態氮累積量的多寡依作物種類或品種而異 (Write and Davison, 1964; Kowl and Barker, 1981), 而同一品種累積量則又受環境因子, 肥料管理, 以及栽培方法所左右 (Maynard et al, 1976)。因此, 蔬菜與飲水提供我們大部份的硝酸鹽, 我們不得不加以防範。

植物種類不同, 對硝酸鹽的累積亦大異其趣(表五), 芹菜、萵苣等喜好硝酸鹽態氮的植物, 其植物體硝酸鹽含量可達 2500mg NO₃-/kg. 鮮重以上, 如果我們食用該高硝酸鹽含量的蔬菜 200 公克(我國每年每人平均蔬菜攝食量 122 公斤, 相當於每人每天 334 公克), 所吸收的硝酸鹽便以達 500mg 以上, 遠遠超過了美國每人每天的食用量(72.6mg NO₃-N)。植物幼株之植體硝酸鹽含量低於成株, 此因幼株吸收較多銨態氮(Swaider, 1986), 以及硝酸還原酵素活性隨植齡的增加而降低之故(Marschner, 1986)。

肥料過量的施用, 若超過農田所能涵容時, 除了過多的氮肥隨雨水或灌溉水而進入地下水, 造成飲用水質變劣, 氮肥經脫氮作用形成溫室氣體釋入大氣中, 導致溫室效應與氣候變遷; 過多的營養素流入

環境中，亦會造成水體的優養化，這些後果對於我們的未來及後代子孫的生存都相當的不利。此外，過多的硝酸態氮可能被蔬菜吸收，不利於人體健康。此顯示適宜的土壤管理方式及合理化的肥培管理的重要性。

(4)防範有機肥中重金屬污染

農業廢棄物可再循環利用，如製成堆肥回歸土壤，除了增進農田土壤生產力，亦解決環境污染問題。但是有機肥料不當管理與施用，仍會對環境衛生、農作物造成傷害或造成二次污染，故使用上仍需留意。首先可參考農政單位之推廣手冊等，按著有機質的分解速度，估算合理的施用量，以避免過量氮素釋出。並且注意堆肥的處置與儲存，以避免二次污染。此外，要注意堆肥中重金屬在農田的累積問題。堆肥中含有重金屬，主要是飼料中銅、鋅之添加，以及在堆肥製作過程中皮革粉之添加。設施內缺少雨水淋洗，重金屬將累積於表土中，更需注意重金屬毒害問題。下節中將討論防範重金屬污染之有機肥最大承載量評估。

防範重金屬污染之有機肥最大承載量評估

根據分析，台灣禽畜堆肥以銅、鋅、鉻、鎳含量較高。這些高含量之銅、鋅、鉻、鎳之來源主要為飼料中銅、鋅之添加，以及在堆肥製作過程中皮革粉之添加(添加鉻酸、鎳酸來搓揉皮革，其鉻、鎳含量分別佔皮革粉中之 5.4%與 0.03%)之故。依黃與戴(1995)所述旗山試區有機農耕法玉米總穗收穫量為 10.6 公噸，換算銅移走量為 37 克，而鋅移走量為 107 克，此量僅為施入量之 3%，故造成土壤中 0.1N 鹽酸萃取銅、鋅量逐年增加。此外，根據無數的實驗室與田間試驗指出，大部份之重金屬要污染地下水是不可能的，除非在很砂質地的土壤及淺層的地下水條件下。因此，堆肥中重金屬在農田表土的累積問題要注意。

為防範重金屬污染所估算之有機肥最大承載量評估，可依陳(1995)之估算方法。假設土壤中重金屬之最大可承載濃度(Maximum Loading

Concentration, MLC)之估算為土壤中重金屬之管制值與背景值間之差，可用下式表示：

$$\text{最大可承載濃度} = \text{管制值濃度} - \text{背景值濃度} \text{-----}(1)$$

土壤重金屬含量之背景值通常是一個含量範圍值，為計算方便起見，現以背景值之平均值為基準，來估算最大可承載濃度，其結果如表 4 所示。如依王等(1994a)，其最大可承載濃度分別為 As11.1 mg/kg，Cd1.2 mg/kg，Cr157 mg/kg，Cu128 mg/kg，Hg0.8 mg/kg，Ni78 mg/kg，Pb60mg/kg 與 Zn110 mg/kg。依此結果，可計算在 1 公頃範圍內表土 20 公分土壤中(假設容積比重為 1.2 Mg/m³)，可添加之最大承載重量(Maximum Loading Capacity, MLC, kg/ha)應為 As26.6 kg/ha，Cd2.9 kg/ha，Cr377 kg/ha，Cu307 kg/ha，Hg1.9 kg/ha，Ni187 kg/ha，Pb144 kg/ha 與 Zn264 kg/ha。

依據表 4 中之最大可承載量(MLC)之推估，再依據堆肥中重金屬之濃度，即可很容易計算出最大堆肥施用量，其計算式如下：

$$\text{最大堆肥施用量(tons/ha)} = \frac{\text{堆肥中重金屬濃度(mg/kg)}}{\text{堆肥中重金屬濃度(mg/kg)}} \times 10^3 \text{-----}(2)$$

例如在表 4 中，土壤中最大可承載銅量為 307kg/ha，而堆肥中重金屬銅濃度允許上限為 300mg/kg，依上式公式，我們可添加之最大堆肥重量為 1000 噸/公頃左右。因此，在確保土壤中重金屬不會超過污染管制值之情況，我們依堆肥中重金屬可能濃度狀況下，估算其最大施肥量如表 5 所示。但在肥料規定中重金屬含量上限條件下，估算豬糞堆肥之最大施用量為 Cu3000 噸/公頃，Zn500 噸/公頃，Cr2330 噸/公頃與 Ni7200 噸/公頃。因此，綜合來說，在此上限濃度下之最大施用量最好控制在 500 噸/公頃以下。

為考慮對土壤、作物及環境之品質，建議合理施用量應為估算最大施用量之一半較為安全，最好不要超過 250 噸/公頃。但如將生產堆

肥之過程中，其重金屬濃度控制在銅 100mg/kg 及鋅 200mg/kg 以下，則最大施用量可達 1250 噸/公頃，而建議合理施用量為 600 噸/公頃左右，可確實增加土壤中之有機質含量且可確保土壤品質，不會受到重金屬污染。

以上之估算，乃以有機肥料中重金屬含量上限，概估其最大施用量，亦可以有機肥料中實測之重金屬濃度計算，若每年累用的堆肥量已超過最大容許量，即應停止施用，並在施用安全期限內，採土樣檢測，以了解重金屬累積情形，再計算可施用之最大量，以確保土壤品質。並詳實記錄每年的施用量，以避免施用總量超過安全施用量。

參考文獻

1. 王明果。1978。嘉南平原鹽分地調查報告。中興大學土壤系專刊。
2. 王銀波、陳尊賢、劉文徹、吳先琪、趙震慶、李國欽、王榮德。1994a。土壤品質基準－總論。行政院環保署委託計畫報告 (EPA-83-E3H1-09-02)。台北市。
3. 宋勳。1997。有機栽培專欄。花蓮區農情資訊。第 86 期。花蓮區農業改良場。
4. 宋勳。1997。有機栽培專欄。花蓮區農情資訊。第 86 期。花蓮區農業改良場。
5. 吳正宗。1997。飲水與蔬菜中硝酸鹽的來源與減量對策。土壤肥料通訊。第 61 期。pp.13-16。
6. 林木連、郭鴻裕、朱戩良、劉禎祺、彭宗仁。1999。屏東平原地下水水質變化研究。第三屆地下水資源及水質保護研討會論文集。元 /13,14。中央大學。中壢。
7. 林月金。1992a。台中區蔬菜設施栽培之經濟分析。台灣省台中區農業改良場特刊第 21 號。pp 1-26。
8. 林月金。1992b。台灣巨峰葡萄設施栽培之現況分析。台灣省台中區農業改良場特刊第 21 號。pp 27-45。
9. 拔川信弘、小室重雄。1998。環境保全型農業經營與研究的課題。

- 農業與園藝。73(2):233-237。(日文)
10. 徐水泉、邱再發、黃文良、李蘭帝。1968。本省水田土壤滲漏水之研究。台灣省農業試驗所 56 年年報。
 11. 連深、王鐘和、李瑞成。1996。不整地玉米膝高期淹施 ^{15}N —尿素後氮素之追蹤。中華農業研究。45(1):47-57。
 12. 連深、王鐘和。1997。土壤有效態氮測定及其應用蔬菜園肥培管理研究。台省農業試驗所 85 年年報。
 13. 陳琦玲、連深。1989。果園土壤及葉片營養診斷資訊系統之初擬，果園作物營養診斷應用研習會專輯。台灣省農業試驗所特刊第 28 號。p.85-115。
 14. 陳尊賢。1995。長期施用豬糞堆肥對土壤中重金屬之累積及合理施用量之評估。有機質肥料合理施用技術研討會論文集。pp.200-214。
 15. 陳鴻堂。1995。設施土壤肥料問題解決對策。設施與集水區土壤肥料講習專刊。中華土壤肥料學會編印。P.18-38。
 16. 郭孚耀。1988。台灣發展設施園藝之綜觀。台中區農業推廣簡訊 10(1):16-20。
 17. 黃賢喜、戴順發。1995。有機農業可行性之研究。八十三年度土壤肥料試驗報告。農林廳編印。
 18. Campell, J.B., A.N. Davis, and P.J. Myhr. 1954. Methemoglobinemia of livestock caused by high nitrate content of well water. Can. J. Camp. Med. 18:93-101
 19. Kowl, J. J. and A. V. Barker. 1981. Growth and composition of cabbage as influenced by nitrogen nutrient. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 12:979-995.
 20. Lal, R. and B.A. Stewart. 1994. Soil processes and water quality. Lewis Publishers. Ann Arber, Mi. USA. p.5.
 21. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. P.201. Academic Press, London.
 22. Maynard, D. N., A. V. Barker, P .L. Minotti and N. H. Peck. 1976.

蔬菜合理化施肥技術

- Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28:71-118.
23. OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). 1986. *Water Pollution by Fertilizers and Pesticides*. OECD Publications. Paris.
 24. Swiader, J. M. 1986. Characterization of ammonium and nitrate absorption in Pumpkin (*Cucurbita moschata* Poir.). *J. Plant Nutr.* 9:103-113.
 25. Walters, C. L. 1991. Nitrate and nitrite in food. In *Nitrate and Nitrite in Food and Water*. (Eds.) Michael, H. p93-112.
 26. Wright, M. and K. L. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crop and nitrate poisoning of animals. *Adv. Agron.* 16:197-247.

表 1、設施與一般栽培對土壤電導度之效應(dS m^{-1})

土層深度 (cm)	設施	一般栽培	設施	一般栽培
	粘板岩沖積土		砂頁岩沖積土	
0-5	3.25± 2.16	0.91± 1.01	1.10± 0.74	0.26± 0.31
5-10	0.51± 0.35	0.20± 0.18	0.17± 0.15	0.10± 0.07
10-15	0.32± 0.22	0.14± 0.09	0.27± 0.29	0.09± 0.06
	砂頁岩、粘板岩沖積土		紅壤	
0-5	0.98± 0.73	0.90± 0.74	1.25± 0.60	0.32± 0.26
5-10	0.17± 0.07	0.17± 0.05	0.26± 0.13	0.11± 0.03
10-15	0.14± 0.06	0.14± 0.07	0.16± 0.03	0.09± 0.00

(資料來源：陳，1995)

表 2、設施栽培時間與土壤電導係數之關係

栽種年份	電導度(dS m^{-1})
對照	0.90
1 年	1.35
2 年	2.80
3 年	2.45
3 年以上	3.85

(資料來源：陳，1995)

表 3、尿素淹施後 2 天時各處理區 0-80 公分土層較淹施前之無機態氮增加量及所施尿素氮量回收率之估算

估算項目	淹施水量(mm)		
	5	50	100
無機態氮增加量(kg/ha)	55	76	26
所施氮素之回收率(%)	78	109	37

(資料來源：連等，1996)

表 4、農田土壤表土 20 公分重金屬最大承載量之評估

重金屬	背景值 ^a 管制值 ^b		最大可承載濃度 ^c 表土 20 公分最大可承載量 ^d	
	-----mg/kg-----		-----kg/ha-----	
As	8.9	20	11.1	26.6
Cd	1.8	3	1.2	2.9
Cr	43	200	157	377
Cu	22	150	128	307
Hg	0.2	1.0	0.8	1.9
Ni	42	120	78	187
Pb	40	100	60	144
Zn	190	300	110	264

a : Chen and Lee(1995) b : 王等(1994a) c : 最大可承載濃度 = 管制值 - 背景值

d : 表土 20 公分最大可承載量 (kg/ha)
 = 最大可承載濃度 (mg/kg) × (100m)² × 0.2m × 1.2Mg/m³ × 10³/10⁶
 = 最大可承載濃度 (mg/kg) × 2.4

(資料來源：陳，1995)

表 5、農田土壤中合理堆肥施用總量推估

重金屬	重金屬濃度 (mg/kg)	最大承載量估值 (tons/ha) ^a	合理施用量 (tons/ha) ^c
Cu	100 ^b	3000	1500
	200	1500	750
	300	1000	500
Zn	100	2500	1250
	200	1250	625
	500 ^b	500	250
Cr	100	3500	1750
	150 ^b	2330	1160
	300	1160	580
Ni	25 ^b	7200	3600
	50	3600	1800
	150	1200	600

a : 肥料重金屬含量規格上限 Cu100mg/kg, Zn500mg/kg, Cr150mg/kg 與 Ni25mg/kg。

b : 依表 8 計算出之最大承載量(Cu300kg/ha, Zn250kg/ha, Cr350kg/ha 與 Ni180kg/ha)來估算施肥量, 並施用於表土 20cm 內。

c : 建議合理施用量為最大施用量之一半, 以確保土壤品質。

(資料來源：陳，1995)