

國立台灣大學生物資源暨農學院農藝學系

碩士論文

Department of Agronomy

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

有機耕作年期對土壤與蔬菜之影響

Effect of Organic Farming Duration on
Soil and Vegetables



Tung-Jung Tsai

指導教授：張新軒 博士 (Dr. Shin-Shinge Chang)

江明樹 博士 (Dr. Ming-Shu Chiang)

中華民國 99 年 1 月

January, 2010

國立台灣大學碩士學位論文

口試委員會審定書

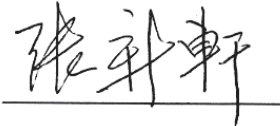
有機耕作年期對土壤與蔬菜之影響

Effect of Organic Farming Duration on
Soil and Vegetables

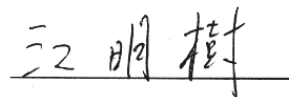
本論文係蔡東融君 (R95621115) 在國立台灣大學農藝學系，所
完成之碩士學位論文，於民國 99 年 01 月 15 日承下列考試委員審查
通過及口試及格，特此證明

口試委員：

國立台灣大學農藝系教授
張新軒 博士 (本論文指導教授)



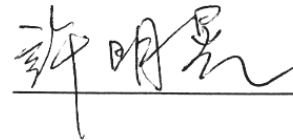
國立台灣大學農藝系兼任實務教師
江明樹 博士 (本論文指導教授)



國立台灣大學農藝系講師
黃文達 博士



中央研究院生物多樣性中心博士後研究員
許明晃 博士



致謝

其實，對於我居然最終還是得以順利完成碩士論文的學位，連我自己都感到不可置信。事實上，正是在這篇論文的背後，有無數不斷給予我助力的推手，所共同完成的。

首先，最重要的，莫過於是黃文達老師，無論在實驗的想法、過程中遇到的大小問題、分析實驗、甚至到最後的論文撰寫，老師都給與我最強力的協助，如果不是老師當初的堅持以及幫忙，我應該早已放棄這段求學過程。

當然，江明樹博士以及有機農場的夥伴，在我進行田間作物栽植時，無條件的給予我最欠缺的實作指導以及場地、工具的使用，小弟我也銘記在心，在此向你們致上最高的感謝。

同時，我也要感謝實驗室同學陳昶彰以及許明晃學長，在實驗以及統計分析上的協助，讓我得以對我的實驗結果加以解釋，很幸運能與你們一起學習。

此外，我也要感謝我原先的指導老師—常玉強副教授，感謝您無比的耐心與寬容，在農藝系大半的時光，都承蒙到您的照顧與指導。

最後，我要感謝我的父母以及台大農藝系，因為自身的怠惰與被動，讓一個單純的碩士研究拖延了許久，感謝以上的每個人在物質與精神上的支持，因為你們，我才得以走到今天這個地方。

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
摘要.....	1
Abstract.....	3
第一章、前言.....	5
第二章、前人研究.....	8
第一節、台灣有機農業現況.....	8
第二節、有機耕作對土壤性質之影響.....	8
一、有機肥的種類.....	7
二、有機肥對土壤一般性質之影響.....	8
三、有機耕作對土壤碳庫之影響.....	9
第三節、有機耕作對作物生育及營養成份之影響.....	13
第四節、即時診斷技術在作物管理之應用.....	14
一、光譜遙測之原理與應用.....	14
二、植生指數.....	16
三、葉綠素與光譜遙測之估算.....	18
四、SPAD 應用現況.....	22

第三章、材料與方法.....	24
第一節、試驗地點.....	24
第二節、試驗材料與進行步驟.....	24
一、有機栽培年期對土壤性質之影響試驗.....	24
二、有機栽培年期對作物生育之影響試驗.....	25
第三節、試驗相關調查分析法.....	26
第四節、統計分析.....	35
第四章、結果與討論.....	36
第一節、有機耕作對土壤理化性質之影響.....	36
第二節、有機耕作對作物生育之影響.....	38
第三節、反射光譜與光合色素在有機耕作上之分析應用.....	43
第四節、有機耕作對土壤有機碳庫之影響.....	44
第五節、有機耕作對 CO ₂ 減量之貢獻.....	46
參考文獻.....	87

圖目錄

圖 1、7 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形.....	48
圖 2、7 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形.....	48
圖 3、7 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形.....	49
圖 4、5 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形.....	49
圖 5、5 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形.....	50
圖 6、5 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形.....	50
圖 7、3 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形.....	51
圖 8、3 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形.....	51
圖 9、3 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形.....	52
圖 10、1 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形.....	52
圖 11、1 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形.....	53
圖 12、1 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形.....	53
圖 13、7 年有機栽培室外田區青江菜移植後的生育情形.....	54
圖 14、7 年有機栽培室外田區小松菜移植後的生育情形.....	54
圖 15、7 年有機栽培室外田區蚵仔白菜移植後的生育情形.....	55
圖 16、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜 生育期間株高變化.....	56
圖 17、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜	

生育期間葉片 SPAD 值.....	57
圖 18、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜	
生育期間植株葉齡變化.....	58
圖 19、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜	
生育期間之植株出葉速率.....	59
圖 20、不同有機耕作年期溫室試區青江菜、小松菜與蚵仔	
白菜採收葉片之反射光譜.....	60
圖 21、不同有機耕作年期溫室內及室外田區青江菜、小松	
菜與蚵仔白菜採收葉片之反射光譜比較.....	61
圖 22、不同有機栽培年期溫室田區蔬菜種植前與種植後土	
壤有機碳(SOC)含量之變化.....	62
補充圖 1、溫室內及溫室外光照度比較.....	63
補充圖 2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區於 98 年 12	
月份之晴朗正午時之光照度比較.....	63

表目錄

表 1-1、不同有機耕作年期溫室內及室外田區土壤性質及巨 量元素含量.....	64
表 1-2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區土壤微量元素 含量.....	65
表 2-1、不同有機耕作年期溫室內及室外田區青江菜種植前 後土壤元素含量變化.....	66
表 2-2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區小松菜種植前 後土壤元素含量變化.....	67
表 2-3、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蚵仔白菜種植 前後土壤元素含量變化.....	68
表 3-1、1 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係 數矩陣.....	69
表 3-2、3 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數 矩陣.....	69
表 3-3、5 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數 矩陣.....	69
表 3-4、7 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數 矩陣.....	70

表 3-5、7 年有機耕作年期室外田區土壤元素含量之相關係數 矩陣.....	70
表 4、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜生育期間土壤 pH 值.....	71
表 5、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜生育期間土壤 EC 值.....	72
表 6、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜產量、含水量 及 SPAD 值.....	73
表 7、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜元素含量.....	74
表 8-1、1 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相 關係數矩陣.....	75
表 8-2、3 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相 關係數矩陣.....	75
表 8-3、5 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相 關係數矩陣.....	76
表 8-4、7 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相 關係數矩陣.....	76
表 8-5、7 年有機耕作年期室外田區蔬菜植株元素含量之相 關係數矩陣.....	77

表 9-1、不同有機耕作年期溫室內及室外田區青江菜採收時	
光合色素含量.....	78
表 9-2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區小松菜採收時	
光合色素含量.....	79
表 9-3、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蚵仔白菜採收	
時光合色素含量.....	80
表 10、有機栽培蔬菜葉片色素含量與植生指數等之相關係數	
矩陣.....	81
表 11、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜葉片植生	
指數與敏感波段反射率.....	82
表 12-1、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量	
之變方分析.....	83
表 12-2、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量	
之變方分析.....	83
表 13-1、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量.....	84
表 13-2、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量.....	84
附表 1、紅光與近紅外光相關植生指數方程式.....	85
附表 2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區晴天正午日照	
度以及紫外線強度.....	86

摘要

本論文係探討在長年的有機耕作管理下，對耕地土壤理化性質及作物生育的影響，並探討遙感探測科學所發展出的即時分析技術應用於改善有機農業的維護管理及生產品質的可行性；同時，在節能減碳議題受到關注的今日，也藉此試驗檢測有機耕作對於土壤有機碳庫(soil organic carbon, SOC)的蓄積能力。研究結果簡述如下：

- (一) 農地經過長期的有機耕作之後，其土壤酸鹼度有上升的趨勢($\text{pH}=5.0$)；有機質、有機碳、有效性磷、交換性鉀、交換性鎂、交換性鈣皆隨有機耕作時間增長而逐漸增加。在溫室內土壤的電導度及有機質皆高於室外田區；有效性磷、交換性鈣、交換性鎂、鋅的含量在溫室內皆高於溫室外。顯示長年的有機耕作可以改善土壤的環境。
- (二) 有機耕作年期的增加，可以提高蔬菜的株高、乾物重；土壤有機值的增加，可以使各元素的吸收更趨穩定，除了可以提高蔬菜鉀與鋅元素含量，也降低了鈉的含量。藉此得以有效提升農作物本身之品質及經濟價值。
- (三) 有機栽培年期的增加，在蔬菜葉片反射光譜上，於可見光與近紅外光區的反射率可呈現特定規律，並與光合色素含量變化之趨勢一致； NDVI 、 SRVI 、 $\text{NDVI}_{\text{broad}}$ 、 $\text{SRVI}_{\text{broad}}$ 等植生指數及

SPAD 值可作為有機栽培蔬菜老化及葉綠素含量大幅降低時的指標。利用反射光譜計算植生指數，非破壞性地估算葉片色素含量之變化，進而監測作物生長狀況，於實際田間耕作上為一具應用潛力之可行方法。

(四) 在不同有機栽培年期溫室區中，種植一期蔬菜前後，表土 20 cm 內之土壤有機碳增加約 $1 \sim 9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ，相當於固定了 $3.7 \sim 33 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 。不同有機栽培年期(1~7 年)溫室區土壤可貯存 SOC 量約 $31 \sim 56 \text{ Mg ha}^{-1}$ ，相當於 $114 \sim 206 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 。長年施行有機耕作每年平均可固定 $14 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ，並於持續有機耕作 5~7 年後，達到最大 SOC 貯量。明顯地，在未來推廣有機耕作可達到 CO_2 減量、提升農業經濟與農地保育等多重功能，在產量、品質、環境保護和永續農業之間找到平衡點。

關鍵字：有機栽培、光合色素、反射光譜、SPAD、元素分析、土壤

有機碳

Abstract

The major objects of this study is to find out the effect of long-term organic farming on the soil physic-chemical properties and the crop growth, and to investigate the feasibility of applying the real-time analysis, based on the remote-sensing science, to improve the organic agricultural management and the corp quality control. At the meantime, the issues of global warming and carbon reduction were highly-concerned; we also try to exam the capability of soil organic carbon (SOC) stock of the organic farming. The results of the study are shown as follows :

- (1) After the long-term organic farming, the soil pH got a rising trend ($>$ pH 5.0). The content of organic matter, organic carbon, bio-available phosphorus, exchangeable potassium, exchangeable magnesium, and exchangeable calcium are increased with the duration of the organic cultivation. These indicate the long-term organic farming can improve the soil condition.
- (2) The increasing of organic cultivation duration can raise the height and dry weight, in addition, can stabilize the plant absorption of the nutrimental elements. In addition to increase the content of the potassium and zinc in vegetables, it reduces the content of the sodium.
- (3) The increasing of organic farming duration can be shown by a specific regular pattern of the leaf spectral reflectance at the wavelength of visible light and near infra-red regions, and been coincided with the variation of the photosynthetic pigments content. The vegetation index, such as NDVI, SRVI, $NDVI_{broad}$ and $SRVI_{broad}$, and the value of SPAD can be served as the pointers, when the

senescence of the organic cultivated-plants and the reduction of the chloroplast are happened. By utilizing reflectance spectrum to calculate vegetation index and to measure the variation of the pigment content in leaves, and to monitor the whole crop growth condition, finally.

(4) In the greenhouses with different duration of organic cultivation, the SOC content within 20 cm-depth from soil surface was increased about 100 to 900 Mg ha⁻¹ (i.e. 370 to 3,300 Mg CO₂ ha⁻¹ was got fixed.) throughout a vegetable cultivating cycle. The soil in the greenhouse with different duration of organic farming (from 1 to 7 years) can stock 3,100 to 5,600 Mg ha⁻¹ SOC, which is equivalent to 11,400 ~ 20,600 Mg CO₂ ha⁻¹. Under long-term organic cultivation, there is 1400 Mg CO₂ ha⁻¹ got fixed each year. The SOC could keep accumulated to the maximum amount while the organic farming was continued more than 5 to 7 years. Evidently, to popularize the organic agricultural management in the future will get benefit from CO₂ reduction, promotion of the agricultural crop value, and maintenance of even more healthy cropping fields and products. Eventually, we wish to reach a balance between crop production / quality, environmental protection, and sustainable cultivating environment.

第一章、前言

近年來，由於對環境生態保護的意識抬頭、高品質農產品的需求、以及國際貿易導致農產品競爭等因素，國內農業逐漸開始走向精緻化的型態，與其它進口農產品抗衡，而其中有機栽培的管理方法，同時顧及了對環境友善的永續經營理念，以及提供高品質農產品的競爭力。

有機農業因減少使用化學肥料及農藥，對環境生態的多樣性有明顯的助益(Hole et al., 2005)；另一方面，因傳統慣行農法在農耕上投入大量的資源，過量的氮肥所逸散的溫室氣體如 NH_4 及 N_2O ，以及在密集耕作中消耗的能源，在今日全球暖化議題爭論不斷及能源危機也日漸攀升的情況下，以較低資源投入的有機農業來取代傳統農法，也確實有其價值和意義(Mäder et al., 2002; Gomiero et al., 2008)。

到 2008 年年底為止，有機農業在台灣的耕作面積已由 2004 年的 1246 餘公頃增加為 2356 餘公頃（行政院農業委員會農糧署，2009），在政府與民間皆有穩定的推廣與成長趨勢。然在發展之餘，有機農業的相關資訊，不論是認證上的法令規章，或是對於有機栽培管理科學化的學術研究，在目前國內皆十分缺乏且不透明；而在科學化的精準農業操作上，有機農業理應需要另一套不同於傳統慣行農法之準則，方能使有機栽培管理對於土地環境以及農作生產達到最佳

化，成為名符其實的永續農業，這部分則有待學術界和農民合作共同以進行各方面的試驗研究來得到答案。

依據國際有機運動聯盟(International Federation of Organic Agriculture Movements)於 2005 年聯合大會中提出的有機農業四大原則：健康(health)、生態(ecology)、公平(fairness)、謹慎(care)等四點，有機農業該如何進行管理，方能真正回饋於生態環境的維護，提昇耕地環境的品質，最終達到永續經營，甚至農作物產量與品質的提昇，是有機農業最終的一個目標。因而，在精準農業的概念下，對於有機農業亦應當發展出一套適合於台灣有機栽培管理之模式。

針對台灣有機農場管理者經常缺乏精準之維護管理方法，在傳統的管理模式只是對其色澤做判斷，建立一套正確而快速的管理模式是有其必要性。因為傳統的管理模式係將土壤、植株樣品送至實驗室樣品分析檢測，耗費較多的人力、物力，並且需要經過一段時間才得到分析結果。如果能透過遙感探測所建立關聯模式就能快速了解作物氮素維護管理上的需求，且透過遙感探測科學所發展出的分析技術及所提供的空間與光譜資訊構成一完整的空間分析系統，進而可以改善有機農業的維護管理系統及生產品質。尤其是對於未來的展望能建立正確的方向及研究的延續，對於實際的運用將是一項重大突破。

本研究擬瞭解有機栽培對土壤理化性質及作物生育的影響，並

應用遙感探測科學所發展出的即時分析技術於改善有機農業的維護管理及生產品質，同時，在節能減碳議題受到關注的今日，也藉此試驗證實有機栽培對於土壤有機碳庫的蓄積能力確實有所助益。



第二章、前人研究

第一節、台灣有機農業現況

台灣自民國76年中開始進行有機農業的可行性試驗研究，於民國84年起正式選定農戶進行有機農業栽培試作，之後並致力於培育適合有機栽培之作物、有機栽培技術之研發、有機肥料的開發、非化學性農藥的研究等。農委會於88年3月15日公告「有機農產品生產基準」、「有機農產品驗證機構輔導要點」及「有機農產品驗證輔導小組設置要點」等規定，至93年已輔導「財團法人國際美育自然生態基金會」、「臺灣省有機農業生產協會」、「財團法人慈心有機農業發展基金會」及「台灣寶島有機農業發展協會」等四家民間有機驗證機構，成為農委會核可授權之有機農產品驗證機構，有機農業驗證面積自85年之160公頃，至95年年底已達1708公頃，十年內增加多達十倍以上之面積。

第二節、有機耕作對土壤性質之影響

一. 有機肥的種類

(一) 泥炭有機肥：

泥炭是古代生物長期沈積轉化之產物，在土壤中分解緩慢，對長期性土壤有機質的增加是最有效的質材。泥炭含有多量的腐植酸，另含有黃酸及腐植膠，有機質含量高，為一穩定性高及不易分解的土壤改良劑。

(二) 腐植酸：

腐植酸的性質呈酸性溶於鹼，不溶於酸的酚類聚合物，其不易被分解且構造穩定，可供長效性有機肥料的應用，是優良的土壤改良劑。液劑腐植酸可深施入土壤底層，對增加深層土壤有機質助益良多。惟商品腐植酸若未調整其營養元素成分者，宜配合化學肥料施用。

(三) 動物廢棄物之有機肥料：

1. 動物糞便類(雞糞、豬糞、牛糞等)之成分視其飼料之不同及添加材料的多寡，影響品質甚大。此類有機肥料應注意其腐熟程度及重金屬含量。

2. 廢棄殘體類(魚粉、骨粉、羽毛、皮毛、廢皮革粉等)主要成分為氮肥，屬速效性之有機肥料，惟其中骨粉含較高之磷鈣肥，屬於較緩慢分解的有機磷肥。

(四) 植物殘體或廢棄物之有機肥料：

較常見的為堆肥，其品質是依使用材料、營養含量之多寡及腐熟度的差別而有不同。一般豆餅渣類較易分解，屬速效性有機肥料，含氮肥也較高，而樹皮、木屑、殼渣及植體等類堆肥則屬較不易分解的有機質肥料，可視為良好的土壤長期改良劑。惟以樹皮及木屑類為材料者之堆肥，應特別注意其腐熟度(堆積時間需較長)。

(五) 萃取或濃縮有機肥料

商品中從動、植物中萃取的有機物，呈液體或濃縮粉/粒狀，含有各種有機物及營養元素(包括微量元素)，甚至含有酵素、植物賀爾蒙及抗生素等萃取物，為一速效及綜合性的有機肥料。

二. 有機肥對土壤一般性質之影響

(一) 土壤含氮量之固定

有機肥相較於化學肥料緩效釋放的特性，可提供土壤足夠的有效氮，在適當的施用頻率下，並不會造成土壤中硝酸鹽類的大量累積，可減低土壤鹽化的程度(曹等, 2001)。

(二) 生物多樣性與土壤團粒結構

施行有機栽培的田區，因無速效化學肥料及農藥，又直接增加土壤中的有機碳源，土壤的生物多樣性會明顯的提昇。土壤微

生物的活躍可促進土壤團粒結構的形成，使土壤鬆軟，避免硬實，同時形成一穩定的土壤微生物相，減低土壤病害的發生率。研究顯示，施用有機肥增加了土壤的團聚化作用，可在一定程度上減低耕作對團粒結構的破壞(安等, 2008)。

(三) 土壤酸鹼度

長期施用腐植質之紅壤地，可減少對石灰的需要量，改善土壤酸性。長期施用有機肥料，對增加土壤中有效磷含量亦有所助益(楊, 1988；劉等, 2006)。同時，有機栽培之耕地可在較少的肥料施用量下得到與傳統農法相近之產量，對土壤肥力及土壤生物多樣性等整體耕作環境特性皆有所改善(Mäder et al., 2002)。

在台灣，推行十餘年有機農業之後，研究報告也顯示長期施用有機堆肥，土壤 pH 值、有機質含量、土壤團粒穩定度、總體密度、土壤肥力等均優於慣行農地，同時改善土壤菌相，使土媒病害大幅減少發生(蔡, 2002)。

三. 有機耕作對土壤碳庫之影響

土壤有機碳庫(soil organic carbon pool, SOC)所代表的是土壤有機碳的含量或儲存量。對生物圈而言扮演重要角色，其變化會直接影響(1)土壤供給氮、磷、鉀及各類營養元素之能力；(2)吸附

大量陽離子避免淋洗流失；(3)自礦物中抽取營養元素供植物利用；(4)有機酸可溶解或分解礦物質使其釋放養分；(5)具保水能力；(6)促進與穩定土壤團粒作用；(7)降低土壤總體密度以利根系發展；(8)供給微生物所需之能源；及(9)使土壤顏色暗化促進吸收熱能以提高土溫，與土壤許多物理、化學與生物性質有密不可分的關係(郭，1997；陳等，1998)，進而影響土壤之生產力，對於作物生長與發育而言是相當重要的部份。

Majumder et al. (2008)並指出如要維持土壤有機碳含量，至少每年需 3.3 Mg C ha^{-1} (包含作物殘株貢獻)。Johnson et al. (2006)也指出生產糧食作物之農地以板犁方式整地，需有 $2.5 \pm 1.0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 的碳素釋入以維持SOC；不整地方式僅需 $1.8 \pm 0.44 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 碳素釋入。透過每年田間的碳素釋入總量，包含來自有機堆肥或作物之貢獻，在目前為止足以估計田間SOC，但Stewart et al. (2007)的研究則表示未來土壤有機碳仍有飽和的機會，只是目前仍處在直線關係，尚未達到反曲點。

土壤有機碳量被證實與耕作制度、耕犁方式、及肥料管理等人為操作有關，在肥料管理方面，不施肥耕地土壤，有機質會逐年下降，合理化學氮肥用量則可以維持水準(約 90 Mg ha^{-1})，有機堆肥的施用($20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)對於土壤有機質的恢復效果非常良好

(陳等, 1998)。Majumder et al. (2008)於印度亞熱帶地區以水稻 (*Oryza sativa* L.)與埃及三葉草(*Trifolium alexandrium* L.)輪作 20 年田間試驗結果也指出, 合理施用化學肥料能維持土壤有機碳; 如再施加堆肥, 則會使碳庫續儲量增加, 且 SOC 增加與碳素釋入量 (包含有機肥與未收穫之地上部、地下部殘株之碳素總和)呈正相關。有機肥除了本身之碳素貢獻之外, 更可以增加土壤生產力而促進作物生長, 使乾物重增加, 也使殘株之貢獻量提高, 因此產量與碳庫之間具有相當顯著的線性關係。

研究顯示, 土壤有機碳和全氮含量呈顯著正相關, 而同時施用有機肥與無機肥料的農地, 相較於傳統僅使用無機化學肥料的農地, 在一定程度上可促進土壤碳、氮的固定與累積(劉等, 2008)。有機栽培可改善土壤的團粒結構, 而土壤團聚結構內的細顆粒有機碳含量顯著高於粗顆粒有機碳含量, 說明施用有機肥有利於團聚體內細顆粒有機碳的累積, 提高土壤活性有機碳含量(安等, 2008; 徐等, 2006)。

第三節、有機耕作對作物生育及營養成份之影響

儘管目前研究大多仍顯示有機農產品在產量及營養成分上與傳統農產品的差異並不顯著(Magkos et al., 2003; Diane and John, 2002;

鍾, 1998), 但仍有研究指出, 有機栽培的農產品具有較高的維他命 C、鐵、鎂與磷含量, 同時減低作物中所帶有的硝酸鹽含量(Worthington, 2001; 曹等, 2001), 另外也發現, 在長期有機栽培的情況下, 番茄中的類黃酮物質相較於傳統耕作有明顯的增加(Mitchell et al., 2007), 顯示有機栽培下的農產品, 仍具某些優良特性。經試驗, 在長期的有機栽培管理下, 蔬菜產量呈現逐年增高的趨勢, 在後期甚至不需太多的施肥量, 其中的重點在於適當的施肥管理, 避免土壤鹽害發生。

第四節、即時診斷技術在作物管理之應用

一、光譜遙測之原理與應用



當電磁能(electromagnetic energy)投射在任一物體表面時, 會產生反射(reflectance)、穿透(transmittance)及吸收(absorption)三種作用。遙測即為利用感測器紀錄物體反射或放射電磁能的變化。電磁能依波長之不同可分為無線電波、微波、熱紅外線、反射紅外線、可見光、紫外線、X 射線等。應用於遙測的主要反射光譜波段涵蓋紫外光($< 400 \text{ nm}$)、可見光($400 \sim 700 \text{ nm}$)、近紅外光($700 \sim 1300 \text{ nm}$)及中紅外光($1300 \sim 2500 \text{ nm}$)等, 在此等波段範圍下植被及地物皆可描繪出典型的反射光譜特徵曲線(Fuchs, 1990)。光譜遙測即利用作物在各波段的反射, 辨別出不同物種植被、監視生

長狀態及偵測受災地區等。

光譜遙測之應用層面甚廣。在環境遙測上如地貌地物景觀、植被分佈與植相鑑別、水體分布、河川溝渠、土地利用、交通與工程、地形與土質及水質與水源等。在作物生產上，諸如作物分佈與面積、生育階段、生長狀態、產量預測、逆境效應及災害檢測等均是，同時也可應用於農地監測，產業動態追蹤、農業資源利用、土地管理及地圖更新等用途。

光譜遙測在農業方面之應用，對於土壤性質之探測，利用在可見光區至近紅外光區反射光譜的反射值可用於判釋土表的有機物含量與水分含量(Krishnan et al., 1980; Kano et al., 1985; Dalal and Henry, 1986; Henderson et al., 1989; Henderson et al., 1992; Sudduth and Hummel, 1993)；利用彩色紅外線影像可用於判釋田間土壤滲入速率與微地形起伏的空間分布(Lillesand and Kiefer, 1994)；應用微波亦可判釋土表水含量(Ulaby et al., 1974; Bernard et al., 1982; Ulaby et al., 1983)、土表粗糙度(Ulaby et al., 1978; Choudhury et al., 1979)、土壤質地(Ulaby et al., 1978)等重要性質的空間分布。

在作物生長與產量方面，常用的波段以綠光(green, G; 520~600 nm)、紅光(red, R; 630~700 nm)、近紅外光(near-infrared, NIR;

700~1300 nm)為主(Leblon et al., 1991; Benedetti and Rossini, 1993; Ma et al., 1996; 楊, 1999)。在可見光區和近紅外光區的反射光譜可被用於作物地表覆蓋率(Huete, 1987; Maas, 1998)、葉面積指數(leaf area index, LAI) (Pollock and Kanemasu, 1979; Gardner and Blad, 1986; Peterson et al., 1987)、葉綠素含量(Thomas and Gausman, 1977; Ercoli et al., 1993)、植株營養狀況(Al-Abbas et al., 1974; Milton et al., 1989; Milton et al., 1991; Adams et al., 1993; Blackmer et al., 1996)、乾旱逆境(申和李, 1998)及作物產量(Kanemasu et al., 1990; Thenkabail et al., 1994)之估測。另外在中紅外光區的反射光譜可用於葉片水分含量測定(Inoue et al., 1993)。由熱紅外線影像可用於區別受到水分逆境傷害的區域 (Jackson, 1982; Inoue, 1990)。微波則可用於估測葉面積指數 (Ulaby et al., 1983; Prevot et al., 1993)。Yoder 和 Pettigrew-Crosby (1995)利用葉片及植被於 400~2500 nm 的反射光譜資料建立植物體內氮素與葉綠素之含量及濃度的預測模式。

二、植生指數

植生指數(vegetation index, VI)為植被光譜特徵之數學轉換,藉由光譜特徵估測作物植被外觀物理性狀,此一數學轉換具有標準化不同環境狀況光譜偵測值之功能,即排除作物生長環境差異造

成之光譜偵測值差異。用來計算植生指數以進行色素含量估算之波段，必須對色素含量具有高敏感度，且不易受其他因子影響。相對而言，影響這些波段反射率之主要因子即為各種色素。植生指數計算公式之變數，多取自綠光、紅光及近紅外光等波段輻射值。因綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射近紅外光之特性，可用於植物資源之探測，且多使用可見光與近紅外光之比值或差值，尤其以紅光及近紅外光波段為主。蓋綠色植物生長越旺盛，其吸收之紅光越多，而反射之近紅外光越強，紅光及近紅外光之差即越大(Price and Bausch, 1995; Green et al., 1997; 黃等, 1996)。

由植被反射光譜的分析，發現不同波段反射比值的變化與作物的生理反應及生長狀況有密切關係(Bauer, 1975; Walburg et al., 1982; Ma et al., 1996; Masoni et al., 1997)，而以不同波段反射比值所計算之各種植生指數則受到植被的發育及組織介量，如葉面積指數、株高、水分含量、生質量(biomass)、色素含量、細胞壁組成、葉表面特徵及葉片內部構造等之影響，此性質可利用於作物植被的分類及發育階段的判定(Kanemasu, 1974; Tucker, 1979; Elvidge and Chen, 1995; Price and Bausch, 1995)。(附表 1)為根據紅光及近紅光波段計算之幾種常見植生指數(Elvidge and Chen, 1995)，較常使用的植生指數以常態化差異植生指數(normalized

difference vegetation index, NDVI)為主。NDVI 廣泛應用於分析評估綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率及生質量等。黃等(1996)曾用法國 SPOT 衛星影像來推估森林植物 NDVI 之變遷；以九份二山為樣區，利用地震前後之 SPOT 衛星影像計算崩塌區位之植被植生指數、量化崩塌區位及其植生復育情形，結合數位地形分析，提供植生復育區位資訊，作為崩塌地監測與治理評估之用 (Yang et al., 2002；楊等，2000)。利用 NDVI 來長期監控森林火災生態恢復過程及其地面植被之變遷 (Oechel and Reid, 1984; Jakubauskas et al., 1990)、其樹冠結構之變化 (Malanson and Trabaud, 1987)、其初級生產力之恢復 (Specht, 1981) 與生態恢復之速度與模式 (Viedma et al., 1997) 等。Choudhury (1994) 應用 NDVI 來推估植生之蒸發散量。Mojarro (1988) 以 NDVI 作為反應乾物質產量之指標，而 Gilbert 等 (1990) 亦利用 NDVI 分辨柑橘受霜害的程度。Cihlar 等 (1991) 應用植生指數 NDVI 來監測生態系內植物生長情形及潛在蒸發散量的變異。各類植生指數已成為遙測地面作物各種特性的重要指標，而被廣泛應用。(其它植生指數之公式，其詳細列表見附表 1)

三、葉綠素與光譜遙測估算

光能在被植物利用前，首先必須被吸收，因此需要有吸光的分子參與，此吸光分子稱為色素(pigment)。綠色植物的葉片含有大量的光合色素(photosynthetic pigments)，包括葉綠素(chlorophyll, Chl)和類胡蘿蔔素(carotenoid, Car)，能有效地吸收可見光的部份波段進行光合作用，將光能轉變為化學能以供利用。葉綠素主要吸收藍光及紅光進行光合作用以產生能量，於乙醚溶劑中，Chl *a* 的兩處吸收峰(peak)的位置分別是 430 nm 與 660 nm；而 Chl *b* 的兩處吸收峰則為 435 及 643 nm (林，1984)。Chl *a* 及 Chl *b* 對藍光及紅光波段具有最高之光合有效性，對 500~600 nm 之綠光所具的光合有效性則最低。由於葉綠素對藍光及紅光之吸收特性，反應在視覺上即互補為我們所見之綠色植物。由以上可知，綠色植物葉片在可見光波段的反射光譜主要受到葉綠素吸收之影響。

葉綠素含量的多寡直接影響光合作用能力的高低，其含量之變化亦反應出植物本身之生理狀況。植物葉片的葉綠素含量不僅在不同的發育階段有所變化，在老化的過程中亦逐漸地減少色素含量而改變顏色。落葉植物在秋天葉片老化過程中，其葉片色素質量產生變化，葉片顏色也因而轉變(Hendry et al., 1987；Matile et al., 1989；Matile et al., 1992)。植物遭受逆境時，譬如淹水、乾旱、

高低溫、除草劑或病蟲害時，葉片色素含量與顏色變化與自然老化時之情形相似(Hendry et al., 1987)。因此，葉綠素含量可作為諸如光合作用能力、生長發育階段、生產力及逆境危害之生理指標(Whittaker and Marks, 1975; Danks et al., 1983)。

葉綠素含量之測定通常為破壞性(destructive)的分析方法，以有機溶劑萃取葉片色素後再以分光光度計測定吸收值計算而得(Arnon, 1969; Porra et al., 1989; Yang et al., 1998)。時至今日，非破壞性測定葉片色素含量之技術已迅速發展中，較常用之方法為以葉片或植冠反射光譜來估算色素含量(Baret et al., 1987; Baret et al., 1992; Buschmann and Nagel, 1993; Chappelle et al., 1992; Curran et al., 1991; Gitelson and Merzlyak, 1994a, b; Thomas and Gausman, 1977)。早期的研究中，主要以葉綠素紅光強吸收波段 675 nm 左右之單一反射率計算葉綠素含量(Benedetti and Swidler, 1961; Inada, 1964; Takano and Tsundo, 1970; Wallihan, 1973; Hardwick and Baker, 1973; Macnicol et al., 1976)。近來之研究則以不同波段反射率計算植生指數後估算葉綠素含量，所使用之波段包括有綠光、紅光及近紅外光波段(Buschmann and Nagel, 1993; Carter, 1993, 1994; Chappelle *et al.*, 1992; Gitelson and Merzlyak, 1994a, b, 1996, 1997; Gitelson *et al.*, 1996; Lichtenthaler *et al.*, 1996; Thomas and Gausman, 1977)。藍光波段則較少用於計算葉綠素含量，指數 NPCI

(normalized total pigment to chlorophyll a ratio index)利用紅光波段及藍光波段反射率，其計算公式為 $NCPI = (R_{680} - R_{430}) / (R_{680} + R_{430})$ (Peñuelas *et al.*, 1993, 1997)。另 Gierloff-Emden (1989)的研究中以葉綠素藍光強吸收波段 440 nm 及綠光低吸收波段 550 nm 之反射率比值 R_{400}/R_{550} 計算葉綠素含量。

用來估算葉綠素含量之植生指數主要以紅光及近紅外光波段計算而得。葉綠素位於紅光之吸收峰波段約在 675 nm，此一波段之反射率亦常用於計算植生指數估算葉綠素含量(Chappelle *et al.*, 1992; Thomas and Gausman, 1977)。Gitelson and Merzlyak (1994a, 1996)以兩種落葉樹楓樹與栗樹的研究中，指出 675 nm 附近波段反射率(R_{675})所計算之植生指數不適用於估算高濃度之葉綠素含量，以 R_{700} 取代 R_{675} 計算之 SRVI 及 NDVI 與葉綠素含量間則具有高度相關。另外在許多研究中顯示，以綠光波段計算之植生指數亦可做為葉綠素含量的指標(Buschmann and Nagel, 1993; Carter, 1993, 1994; Gitelson and Merzlyak, 1994a, 1996, 1997; Gitelson *et al.*, 1996)。以 $\log(R_{800}/R_{550})$ 計算之植生指數可做為菜豆葉片單位葉面積葉綠素含量之指標，另 R_{800}/R_{550} 比值對 Chl *a* 含量亦具有高相關性($R^2 > 0.88$) (Buschmann and Nagel, 1993)。以多種無相關聯之植物為材料的研究顯示， R_{750}/R_{550} 與葉綠素含量具有高度的直線相

關，而 $NDVI_{green}$ 則與葉綠素含量具有高度的指數曲線相關(Gitelson and Merzlyak, 1997)。

四、SPAD 應用現況

SPAD-502 是由 Konica-Minolta 公司生產的一款利用兩特定波長(650nm 和 940nm)之光線穿透葉片以計算其透光係數並轉換成葉片葉綠素含量的相對值之植物生理快速檢驗儀器，可藉以於田間快速測定並了解植物的氮需求情況以及土壤含氮量的多寡。

除了直接的測定葉綠素含量之外，SPAD 被廣泛應用於觀測植物在一些特定情況下的植物生理反應，劉等(2007)利用 SPAD 之光譜來預測白菜葉片中遭受銅汙染的程度；李等(2008)以 SPAD 測定有機肥及無機肥對小麥生長及品質、產量的影響；Wu et al.(2007)則結合硝酸根含量、SPAD 以及衛星照片對馬鈴薯進行不同涵蓋層次的氮肥管理試驗；眭等(2007)則利用 SPAD 檢測辣椒在弱光環境下生理功能的變化情形；Paulo and Charles (2006)則欲藉著 SPAD 和植物外觀特徵在番茄上進行氮肥管理的措施；Netto et al. (2005)則以 SPAD 的測定值與咖啡中的光合色素進行相關係數分析，如此日後即可直接在田間得到 SPAD 讀值後，直接推測光合作用相關色素的含量。

由以上可發現，SPAD 的應用主要著眼於其可攜性以及快速得到結果的特性，在今日的田間試驗當中仍是十分常見的分析儀器，藉由建立其讀值與欲觀測之植物特性做關聯性的分析，可使 SPAD 的數據意義進一步擴展到其他的植物生理相關指標上。



第三章、材料與方法

第一節、試驗地點

試驗地點位於苗栗縣通霄地區經臺灣省有機農業生產協會認證通過之有機農場 (E120°43', N24°27')，位於苗 121 縣道，南勢溪兩邊之河谷地，地形多丘陵緩坡，氣候穩定少雨，屬標準台灣中西部的天氣型態，鄰近河谷地區上下游皆無工廠設施，住家人口亦稀少，為幾無污染之天然環境，是一理想之有機農業推行環境。

試驗時間為 2009 年 10 月至 12 月，進行兩批次之蔬菜栽培，根據氣象局資料 (因苗栗地區無測站，取鄰近台中梧棲之數值做為參考)，當地地區 2009 年 10 月至 12 月之氣溫為 25.0°C、21.6°C、17.1°C，降雨量為 8.3mm、31.6mm、16.6mm，日照時數為 217.7 hr、169.4 hr、155.4hr。

農場溫室主要以十字花科類葉菜類、小黃瓜、苦瓜、空心菜、皇宮菜、番茄等作物進行輪作，室外田區則以玉米、南瓜、絲瓜、茄子、結頭菜、花椰菜、芹菜、波菜、紅鳳菜、A 菜、高麗菜、包心白菜、甘藷葉、蔥、蒜、豆科及萵苣類蔬菜等為輪作物種。

第二節、試驗材料與進行步驟

一、有機栽培年期對土壤性質之影響試驗

於農場當中選擇進行有機栽培管理分別已達1年、3年、5年及7年的溫室（共35棟）以及室外露天田區（共24區塊）進行土壤採樣，以標準土壤取樣器，採二維空間採樣方式隨機取樣4點，混合均勻，採自然陰乾並暫時保存於4°C冰箱以避免大量脫氮，分析前以研鉢壓碎後以20 mesh(孔徑0.84mm)之土壤過篩器進行過篩，送苗栗區農業改良場進行土壤性質分析，分析項目包含酸鹼度、電導度、有機質含量、有效磷、交換性鉀、交換性鎂、交換性鈣、鐵、錳、銅、鋅以及數種重金屬元素含量。



二、 有機栽培年期對作物生育之影響試驗

- (一) 參試品種：青江菜 (*Brassica chinensis* Linn.)、小松菜 (*Brassica rapa* var. *perviridis*)、以及蚵仔白菜 (*Brassica campestris* L. ssp.) 等三種十字花科蔬菜。並先於育苗溫室播種培育幼苗，約2至3週後可移植。
- (二) 試驗設計：參試處理分成3種蔬菜與4種有機栽培年期之田區（選取有機操作年期分別已達1、3、5及7年之溫室，以及有機操作年期達7年之室外田區），計12種處理，採完全逢機設計，3重複，每重複試區面積1.5m×1.5m，行株距青江

菜和小松菜為 20x20 公分，蚵仔白菜為 25x25 公分。

- (三) 栽培管理：青江菜、小松菜以及蚵仔白菜先於育苗溫室播種培育幼苗，約 2 至 3 週後可移植。肥料施用採用有機肥料(特級肥王有機肥料，普士特生物科技有限公司製造，有機質含量 55%、N-P₂O₅-K₂O 為 4-2.3-2，)，溫室施用量為 2 公噸/公頃，室外田區為 4 公噸/公頃(因溫室輪作頻率較室外頻繁，故以建議用量減半施用)，植前當基肥施用，不另行追肥。

室外田區另外會以經腐熟之菇類培養廢包之木屑進行覆蓋以防雜草。移植之後，每週固定進行一次有機綜合防治管理。

- (四) 調查與分析：移植後每隔 5 天，選長整齊植株 6 株，用油性筆圈點葉齡，測量株高及 SPAD 值，並監測土壤 pH 值與 EC 值。移植後 21 天，採收稱鮮重，並取樣進行元素、光合色素、有機碳、反射光譜等分析。種植前與收穫後，分別採集土壤樣品進行檢驗。

第三節、試驗相關調查分析法：

一、株高：

於幼苗移植至田間後每隔五日進行一次測量，每次測量

隨機選取各田區作物各六株進行測量。測量基準為自土表起至植株最上位葉頂端為止。

二、葉綠素含量(SPAD)：

以 Konica Minolta 公司製造之 SPAD-520，取植株最上位完全展開葉之末端三分之一部分測量，於幼苗移植至田間後每隔五日進行一次測量，每次測量隨機選取各田區作物各六株進行測量。

三、葉齡：

於幼苗移植至田間後每隔五日進行一次測量，每次測量隨機選取各田區作物各四株進行測量，以完全展開葉作為計數之基準。



四、土壤取樣：

各試區於植前及採收後，以標準土壤取樣器於隨機四個位置取樣，混合均勻後陰乾並暫時保存於 4°C 冰箱以避免大量脫氮，分析前以研鉢壓碎後以 20 mesh(孔徑 0.84mm)之土壤過篩器進行過篩處理。

五、葉片反射光譜分析：

剪取植株展開葉上半部，葉片反射光譜以配備積分球(integrating sphere)套件之 Hitachi U-3010 光譜儀

(spectrophotometer)進行測定。光譜掃描速率為 600 nm/min，波段範圍自 200 至 900 nm，光譜解析力為 1 nm。測定時以硫酸鋇白板為參考對比。葉片測定反射光譜時以葉脈間之區域為主，反射率為葉片反射輻射值對參考白板反射輻射值之比值。

ND₇₀₅ 為利用 R₇₀₅ 及 R₇₅₀ 計算，計算方式為 $ND_{705} = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$ ；ND_{broad} 為模擬 SPOT 衛星波段，利用寬波段計算之 NDVI，其中 Red 為 610-680 nm，NIR 為 790-890 nm (Hsu et al. 2003b)。

六、葉綠素生成及崩解產物的測定：

根據 Yang 等(1998)所建立之方法進行測定，其步驟簡述如下：

下：

(一) 葉綠素(Chl)及類胡蘿蔔素(Car)的測定

植物樣品以液態氮急速冷凍，並以研鉢磨成細粉後進行冷凍乾燥。然後稱取 0.01 g 樣品細粉，以 80%丙酮(acetone)萃取色素，在 4,500 rpm 離心 5 分鐘，取上清液，以 Hitachi U-2000 分光光度計(spectrophotometer)測定 A_{663.6}、A_{646.6}、A_{440.5} 的吸收值。三者分別為 Chl a、Chl b 及 Car 的強吸收處。以 Porra 等(1989)

的公式計算 Chl *a* 與 Chl *b* 的含量；以 Holm (1954)的方法計算 Car 的含量。

(二) 不同極性崩解物的分離

以同體積正己烷(*n*-hexane)與前述丙酮萃取液混合，以震盪器激烈混合後靜置，直到明顯分層。此時上層為極性較弱的正己烷層，下層為極性較強的丙酮層，分別含不同極性的各類色素。

(三) 含植醇或酯化色素(phytylated or esterified pigments)的測定

取前段所處理過程之正己烷上層液測 A_{661} 的吸收值，此為含植醇色素的綜合吸收值(Shioi and Sasa, 1986)。以吸收值直接比較。

(四) 脫植醇或未酯化色素(dephytylated or nonesterified pigments)的測定

取前述所處理過程之下層液丙酮層測 A_{666} 的吸收值，此即為脫植醇色素之吸收值(Shioi and Sasa, 1986)。以吸收值直接比較。

(五) PPIX、MGPP 及 Pchl_{id}e 的測定

丙酮層的 A_{575} 、 A_{590} 、 A_{628} 之吸收值分別是 PPIX、MGPP 及 Pchl_{id}e 的吸收值，以 Kahn 等(1976)之公式計算其濃度。

(六) Chlide *a* 及 Chlide *b* 的測定

丙酮層的 A_{667} 及 A_{650} 分別是已脫植醇的 Chlide *a* 及 Chlide *b* 之吸收值，其計算公式是根據測定 chlorophyllase 活性的方法 (McFeeters *et al.*, 1971)。該方法以測定生成物 Chlide *a* 及 Chlide *b* 的吸收值後利用 Beer-Lambert 公式換算出兩生成物的莫耳濃度。

(七) MP Car 的測定

丙酮層的 $A_{440.5}$ 是相對極性較大的類胡蘿蔔素(MP Car)之吸收值，再利用 Holm (1954)及 Porra (1989)等的方法計算 MP Car 的含量。

(八) LP Car 的測定

將正己烷層液體以氮氣吹乾後，以 80%丙酮充分溶解並加 25 μ L 的 12.5% HCl 破壞 Chl 後，測定 $A_{665.4}$ 、 $A_{653.4}$ 及 A_{470} 的吸收值。 $A_{665.4}$ 、 $A_{653.4}$ 分別是未脫植醇的 Phe *a* 及 Phe *b* 的吸收值，亦利用公式換算出兩物的莫耳濃度。 A_{470} 是相對極性較小的類胡蘿蔔素(LP Car)之吸收值(Lichtenthaler, 1987)。

七、有機碳測定：

採用 Walkley-Black 濕氧化法(Nelson and Sommers,

1982)。測定步驟如下：

稱取 1–0.5 g 土壤樣品於 500 mL 錐型瓶中，另需空白試驗，加入 10 mL 1N 之重鉻酸鉀溶液後搖勻。隨即迅速加入 20 mL 濃硫酸，靜置 30 分鐘。接著再加入 200 mL 蒸餾水與 10 mL 85%磷酸，放冷後滴加約 30 滴二苯胺指示劑，以 0.5N 亞鐵溶液滴定。其顏色變化由暗褐色逐漸轉為藍色再轉為綠色，當呈現綠色時即達到滴定終點。計算公式如下：

$$SOC(g \cdot kg^{-1}) = 10 \times \left(1 - \frac{S}{B}\right) \times 1.0 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.724}{0.77} \times \frac{1000}{sw(g)}$$

SOC 為土壤有機碳含量，單位為 $g \cdot kg^{-1}$ 或 $\%(w/w)$ ；S 為樣品之亞鐵溶液滴定量(mL)；B 為空白試驗之亞鐵溶液滴定量(mL)；sw 為稱取之土壤樣品重；1.0 為重鉻酸鉀溶液濃度(N)；1.724 為有機碳之轉換係數(Van Bemmelen factor)；0.77 為本法之回收率。

八、總氮量測定

採 Kjeldahl 於 1883 年發明之凱氏定氮法測定植株中所含之總氮量。植株葉片經過液態氮處理並磨碎後，以冷凍乾燥機乾燥完成之後，稱取 0.2 克粉末，置於 Kjeldahl 定氮管中，加入與樣品等量之 $K_2SO_4:CuSO_4$ 混合物(10:1)(作為助燃劑)以

及 3 mL 濃硫酸，放入高溫加熱爐予以分解(完全分解時液體會呈現透明無色狀)。待分解液冷卻之後加入 10 mL 蒸餾水，倒入 Kjeldahl 蒸餾器中，加入 8 mL 之 10N NaOH 溶液，使反應發生。加入 NaOH 前，預先準備一 50 mL 錐形瓶，加入 10 mL 4% 硼酸(H_3BO_3)，及兩滴混合指示劑(methyl red 和 bromcresol green)，置於蒸餾器冷凝管下方，並確定管口浸於硼酸液當中。打開蒸餾器通道使蒸氣進入冷卻器，收集蒸餾液於三角瓶中，自硼酸液變色後再蒸餾 3 分鐘，取出三角瓶以 0.05N HCl 滴定，紀錄滴定量。氮素含量的計算公式如下 (Glowa, 1974；林, 2000)：

$$\text{全氮含量(mg/g dry wt.)} = [(\text{樣品組} - \text{空白組}) \text{滴定量(mL)} \times 0.05 \times 14] / \text{樣品重(g)}$$

九、土壤與植體金屬元素分析(Walsh, 1955)：

樣品前處理採濕式灰化法。

秤取均質後之植體粉末及過篩後之土壤樣品各 1.2 g 於 100 mL 分解燒杯中，加入 15 mL 濃硝酸後，置電墊板中，溫和的煮沸 30-45 分鐘，使易氧化之物質全部氧化。稍微冷卻後，加入 10 mL 70-72% 過氯酸 ($HClO_4$) 輕微煮沸，煮沸至

溶液呈無色或接近無色且有濃密白煙產生。待稍微冷卻後，加入 10 mL 水煮沸以驅走剩餘之二氧化氮煙霧。進一步冷卻後，以濾紙過濾掉雜質(需注意過程中濾紙是否有破)，再加水定量至 100 mL。

之後依比例做 50 倍、150 倍、及 300 倍的系列稀釋，選取各元素適合之稀釋比例作為分析樣品，元素分析使用儀器為 Hitachi Z-2300 型原子吸收光譜儀。得到之數據再依照稀釋倍數換算得到原始樣品之含量。

(註1：本方法僅能得到於強酸消化萃取溶出的重金屬，無法消化完全之金屬氧化物。)

(註2：以 ICP 標準溶液，精確量取 1000 mg/L 標準品 1 mL，以 0.05 N 硝酸溶液定容至 100 mL，作為標準原液。使用時再以 0.05 N 硝酸溶液稀釋成所需濃度之標準溶液。)

十、照度測定：

種植期間，選擇一當天晴朗無雲之日，在正午時間(避免上下午時間陽光照射角度之影響)以 Lutron, LX-102 Light Meter 測量各棟溫室內以及室外之光照度，單位 LUX。

十一、紫外線測定：

種植期間，選擇一當天晴朗無雲之日，在正午時間(以避免上下午時間陽光照射角度之影響)測量各棟溫室內以及室外之紫外線強度，以 Spectroline, DRC-100X Digital Radiometer 測量紫外線強度，紫外線波長分別為：450、205、300、254 及 205 nm，單位 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

十二、土壤 pH 值：

自菜苗移植至田間後每隔七日(含移植當日)於每一試驗區域進行一次土壤採樣，取四個採樣點並混合均勻，與等體積之蒸餾水均勻混合後以 Spectrum, IQ150 pH meter 測量土壤酸鹼度。



十三、土壤 EC 值：

自菜苗移植至田間後每隔七日(含移植當日)於每一試驗區域進行一次土壤採樣，取四個採樣點並混合均勻，與等體積之蒸餾水均勻混合後，以 Spectrum, Field Scout Soil EC meter 測量其土壤電導度，單位 dS/m 。

第四節、統計分析

藉由統計軟體 SAS 9.1 程式做統計分析 (SAS Institute), 變方分析以 GLM 程序作顯著性測驗; 以 Duncan 新多變域測驗法做各因子內之均值差異比較; 變數間之相關係數以 CORR 程序進行顯著性測驗。



第四章、結果與討論

第一節、有機耕作對土壤理化性質之影響

根據苗栗改良場的土壤檢驗報告，依有機栽培年期分類得到(表 1-1)及(表 1-2)之結果，顯示不論溫室內或戶外田區，土壤在經過長期的有機耕作之後，其酸鹼度有上升的趨勢；有機質、有效性磷、交換性鉀、交換性鎂、交換性鈣皆隨有機栽培年份逐漸增加；鐵的增減則並不明顯。微量金屬元素錳、鋅、鎘、鎳、鉻皆有隨有機栽培年期增加而累積的趨勢；銅含量隨有機栽培年期逐漸下降；鉛的變化則不明顯。在溫室內外田區的差異上，溫室內土壤的電導度及有機質皆高於室外田區；元素含量的部分，有效性磷、交換性鈣、交換性鎂、鋅的含量在溫室內皆高於溫室外，而交換性鉀、鐵、錳、銅、鉛的含量則是室外田區高於溫室內，其餘則無明顯之差異。

在三種蔬菜種植期間的前後，對土壤取樣進行元素分析，同時測量土壤有機碳以及總氮之含量，並換算碳氮比，所得到之結果如(表 2-1、表 2-2、表 2-3)，青江菜的結果顯示，其土壤中的鎂與鐵在植後有較明顯的減少，有機碳則有明顯的增加；小松菜的結果顯示，其土壤中的鈉、鉀、有機碳在種植後有明顯的增加，

鎂和鐵則有減少的情況，有機碳則隨有機栽培年期逐漸增加；而蚵仔白菜的結果顯示，鎂和鐵也是出現減少的情況，有機碳亦隨有機栽培年期逐漸增加，符合前人研究對有機耕作對土壤碳庫蓄積影響之研究結果。

此外，針對各年份溫室及室外田區土壤中元素之間進行的相關係數分析(表 3-1 ~ 表 3-5)，所有試驗區域的土壤都顯示出鉀和鈉的含量呈現顯著正相關，鋅與鎂的含量在一年溫室中呈現顯著負相關，但在三、五年溫室中則呈現顯著正相關，錳與鋅的含量在一年及七年之溫室中呈現顯著正相關，鐵與鋅在一年有機栽培溫室土壤中呈現顯著正相關，鐵與鎂在三年溫室有機栽培溫室土壤中呈現顯著正相關，鐵與錳在一年及三年有機栽培溫室土壤皆呈現顯著正相關，銅與鎂在五年有機栽培溫室土壤中呈現顯著正相關，銅與鋅在五年及七年有機栽培溫室土壤呈現顯著正相關，銅與鐵在五年有機栽培溫室土壤呈現顯著正相關，碳與鎂在三年及七年有機栽培溫室土壤呈現顯著負相關，碳與鋅在三年有機栽培溫室土壤呈現顯著負相關，碳與錳在一年有機栽培溫室土壤呈現顯著正相關，但在七年有機栽培溫室土壤卻呈現顯著負相關，碳與銅在七年有機栽培溫室土壤呈現顯著負相關，在三年有機栽培溫室土壤中氮與碳呈現顯著正相關，卻與鎂、鋅、錳、鐵、銅

呈現顯著負相關，在一年有機栽培溫室土壤，碳氮比與鎂呈現顯著負相關，但卻與鋅、錳、鐵皆呈現顯著正相關，在三年有機栽培溫室土壤，碳氮比與鋅呈現顯著負相關，而與碳呈現顯著正相關，在五年有機栽培溫室土壤，碳氮比與鈉、鉀呈現顯著正相關，在七年有機栽培室外田區土壤中，碳氮比與鋅顯著正相關。

從生育期間對各年份田區的進行土壤 pH 值測定的結果顯示(表 4)，不同蔬菜品種之間並無顯著差異，而從移植後開始至第 14 天之間的變化亦無顯著差異性，然而在移植後第 21 天，也就是採收前，土壤酸鹼度與移植初期有顯著的上升，說明在一定時間持續性的有機耕作土地，其土壤酸鹼度可逐漸由酸性回復上升。

在生育期間土壤 EC 的測量結果上(表 5)，移植後到移植 14 天之間皆無明顯差異，但採收前(移植後 21 天)與移植初期有顯著的降低，顯示土壤肥力確實會隨作物生長吸收而減低。

第二節、有機耕作對作物生育之影響

圖 1 至圖 15 為三種蔬菜生育期間，移植至田間後每隔五日定期拍照之記錄，溫室部分於此期間皆無遭受病蟲害之侵襲，室外田區因鄰近週遭並無十字花科作物栽種，種植時間上亦已進入冬季，故種植期間並無出現病蟲害發生之情況。

在生育調查上，由株高結果(圖 16)顯示，移植後植株株高皆呈線性增長，直至移植後 20 日皆仍處於上升趨勢。儘管差異並不顯著，七年有機栽培年期之溫室中株高有較高的趨勢，而室外已行七年有機栽培田區的株高則皆略低，推測可能受到較低溫度的影響。

根據 SPAD 檢測的結果(圖 17)，這三種蔬菜的生育期在移植後的 15 日達到生理代謝的生長高峰，顯示在目前採用的肥培管理措施下，三種蔬菜作物的葉綠素合成效率在此時達到各自的最高點(青江菜介於 35~45；小松菜更達到 40 以上；蚵仔白菜則介於 25~35)，此後皆開始逐漸下降，故在植物生理觀點上，此為施加追肥的參考時間點，以促使植株維持生育活性；此外，戶外蔬菜的 SPAD 數值明顯皆高於室內蔬菜，溫室內的光照度可能受到溫室設施的屏蔽影響其光合作用色素的合成。室內溫室部分，在七年有機栽培管理的溫室，SPAD 數值普遍都偏低；而在一年有機栽培溫室的作物上，其 SPAD 值在整個生育期間的增、減幅度並不明顯，其原因還有待進一步的探討。

觀察葉齡的生長記錄(圖 18)，葉齡的變化與不同年期有機栽培的關係並不明顯，各田區之間的增幅皆十分接近，同時呈現些微的指數增加趨勢，此部分可在(圖 1)至(圖 15)的照片上互為印

證，不論蔬菜種類，在種植初期整體植株生長速率皆較慢，到中後期則都呈現快速增長的情形，直到採收(移植後 21 日)之前，葉齡仍保持上升的趨勢。

另一方面，與葉片生長有關的出葉速率則呈現特定的變化(圖 19)，在所有試驗組中，移植後大約五日之內出葉速率都呈現遲滯甚至衰退的情況，合理推測應是幼苗自穴盆中移出種植到田間後，根系尚未完全建立，植株的水份和養份吸收都處於不足的狀態且同時需將大多養分分配於地下部的生長上，因此造成出葉速率的衰退。此後直到採收前青江菜出葉速率並無出現明顯的衰退；小松菜部分，除了室外七年有機栽培年期田區之外，溫室部分的出葉速率已開始出現減退的趨勢；而蚵仔白菜則在一、三年有機栽培溫室以及室外田區出現衰退，五年及七年有機栽培則持續上升。

在反射光譜的分析結果上(圖 20)、(圖 21)發現，不論溫室內或室外田區，可發現在可見光(500~600 nm)以及近紅外光的波段部分，三種蔬菜葉片都有較高的反射率。七年有機栽培溫室的蔬菜，在此二波段區域又較其他溫室蔬菜的反射率略高(圖 20)；而室外的蔬菜葉片反射光譜則低於溫室內者(圖 21)。

根據採收後得到的結果(表 6)，發現三種蔬菜在室外的鮮產量

及乾產量皆高於在溫室中的表現，鮮產量上高出 $1.0 \sim 2.0 \text{ kg m}^{-2}$ ，而室外田區的植體含水量則皆略低於溫室中，顯示植物在室外田區的種植環境下，有較高的產量表現與乾物質累積比例。其中青江菜的鮮產量在各年份溫室中介於 6.63 kg m^{-2} 至 6.83 kg m^{-2} 之間，室外則可達到 8.75 kg m^{-2} 之譜，含水量則都介於 $96.0 \sim 96.5\%$ ；小松菜之溫室內有機栽培鮮產量為 4.92 kg m^{-2} 至 6.69 kg m^{-2} ，室外田區達到 7.00 kg m^{-2} ，植體含水量皆落於 95% 上下；蚵仔白菜之溫室內鮮產量介於 5.92 至 6.83 kg m^{-2} ，植體含水量皆在 96% 上下。

由採收的蔬菜植株進行原子吸收光譜分析得到的元素分析表顯示(表 7)，鈉元素在溫室中三種蔬菜的含量，普遍皆高於室外田區所種植者，同時小松菜與蚵仔白菜的鈉含量也隨著有機栽培溫室的年期增加而有減少的趨勢；而鉀含量在室外田區的三種蔬菜中，則皆有高於種植於溫室內的趨勢，其中小松菜與蚵仔白菜的鉀含量隨著有機栽培溫室的年期增加而有上升之趨勢；在青江菜和小松菜中，室外栽種的鈣含量皆高於溫室內種植；鎂含量在室外田區的三種蔬菜中，含量皆低於溫室內栽培者；鋅含量在各試驗田區及三種蔬菜之間皆無明顯之差異；錳含量在室外田區種植之蔬菜中則明顯高於種植於溫室內，且在各溫室之間，其含量隨著有機栽培年期之增加而有下降的趨勢；在溫室內種植之青江菜

及小松菜中的鐵含量高於室外種植者，但在蚵仔白菜當中差異並不明顯；銅含量在各試驗田區及各蔬菜間之差異則不明顯。

以 Walkley-Black 濕氧化法測得的蔬菜植體有機碳量顯示(表 7)，在室外種植的三種蔬菜之有機碳量，皆高於種植在溫室內者；而以 Kjeldahl 定氮法得到的總氮量則顯示(表 7)，溫室內外以及不等有機栽培年期之間的植株含氮量差異並不明顯，也因此，室外田區植株的碳氮比在三種蔬菜中皆高於在溫室內栽種者。

從蔬菜植株得到的元素含量所進行之相關係數分析(表 8-1 ~ 表 8-5)則顯示，一年有機栽培年期溫室的植體中，銅含量與鉀含量呈現顯著之負相關；氮含量與鉀含量亦呈現顯著之負相關；氮含量與銅含量呈現顯著之正相關。在此氮、鉀、銅三者間出現連鎖的相關性。在三年有機栽培年期溫室之植體中，鋅含量與鎂含量呈現顯著之正相關；鐵含量與鈣含量呈現顯著之負相關；氮含量與銅含量呈現顯著之正相關。在五年有機栽培年期溫室之植體中，鈉含量與銅含量呈現顯著之正相關，但與氮含量則呈現顯著之負相關；鈣含量與鎂、錳、鐵的含量都呈現顯著之正相關；鎂含量與錳及鐵的含量皆呈現顯著之正相關。在七年有機栽培年期溫室之植體中，鎂含量與鈉含量呈現顯著之正相關；鈣含量與鋅及鐵含量皆呈現顯著之正相關；在七年有機栽培年期的室外田區

所種植的蔬菜植體中，氮含量與錳含量呈現顯著之負相關；碳氮比則分別與鋅和銅之含量呈現顯著之負相關。

第三節、反射光譜與光合色素在有機耕作上之分析應用

有機栽培年期的增加，在蔬菜葉片反射光譜上，於可見光與近紅外光區的反射率可呈現特定規律(圖 20 與圖 21)，並與光合色素含量變化之趨勢一致(表 9-1 至表 9-3)。由(表 10)之結果顯示，敏感波段 XS2(610 nm ~ 680 nm)分別與 NDVI、SRVI、及 SPAD 值呈極顯著相關；而另一敏感波段 XS3(790 nm ~ 890 nm)分別與 NDVI、SRVI 值呈顯著相關，；NDVI、SRVI、NDVI_{broad}、SRVI_{broad} 等植生指數及 SPAD 值可作為有機栽培蔬菜老化及葉綠素含量大幅降低時的指標。

根據許(2003)之研究結果顯示，葉綠素與類胡蘿蔔素相關化合物之極性對 NDVI 有顯著相關。在葉綠素相關化合物方面，PPIX、MGPP、Pchl_a、Chl_a 及 Chl_b 等葉綠素的代謝物質都屬於無植醇鏈之 dephytylated 色素，其極性較大而較易溶於水。Chl_a、Chl_b、Phe_a 及 Phe_b 則都屬於含有植醇鏈之 phytylated 色素，其極性較小而傾向脂溶性。此化學結構的差異造成有植醇鏈的葉綠素相關化合物對葉片反射光譜 NDVI 之貢獻度較大。在本

試驗中，有機栽培蔬菜葉片色素含量與植生指數等之相關係數(表 11)，植生指數 NDVI 與 SRVI 與 Phe a/b 呈現顯著相關。

在溫室內外與有機耕作年期土壤特性及元素含量之間所進行的變方分析結果上(表 12-1)、(表 12-2)顯示，有機耕作之年期與土壤酸鹼度及交換性鈣、交換性鎂、錳、鋅的含量高低呈極顯著相關，說明長期有機耕作與土壤酸鹼性的改善兩者之間有相當的關聯性。但另一方面，結果亦顯示溫室內外田區之因素影響土壤性質(溫室內外田區分別與電導度、有機質含量、有效性磷、交換性鉀、交換性鈣、交換性鎂、鐵、銅含量間呈極顯著相關)之關聯性很高，值得進一步的探討其中差異與原因。

利用反射光譜計算植生指數，非破壞性地估算葉片色素含量之變化，進而監測作物生長狀況，於實際田間耕作上為具應用潛力之方法。

第四節、有機耕作對土壤有機碳庫之影響

由表4不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜生育期間土壤pH值之變化隨有機耕作年期增加而逐漸降低，至7年有機耕作年期之田區才又回升，表2-1 ~表2-3中SOC含量以5年有機耕作年期溫室田區之SOC含量達最大。

根據陳等(2008)之研究，溼地之SOC含量與pH值間為負相關，顯示土壤酸性程度來自有機碳。蘆葦根部會釋放出酸性物質，因此有機物質或有機碳越多，根圈環境越偏酸性(陳等，2008)。這樣的結果能說明蘆葦可透過根圈沉降的途徑，將光合作用產物釋放到土壤中(Richert et al., 2000)，增加SOC含量。上述現象亦可說明在有機耕作當中，土壤的酸鹼度與有機碳蓄積量間的關係與先前之研究一致。對照不同有機栽培年份溫室之間的土壤酸鹼度變化趨勢(表4)與土壤有機碳量(圖22)的改變，可發現在進行有機耕作五年時，土壤酸鹼度皆偏低，此時的土壤有機碳蓄積量卻是最高，顯示土壤酸性程度可能與有機碳的積儲量相關。此外，在休耕水田環境，短期試驗之固定量為 $23.28 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (2007年7月至2008年5月)，表土20 cm有機碳含量平均為 45.8 g kg^{-1} ，由(表2-1)、(表2-2)、(表2-3)中，不同有機耕作年期溫室區，種植一期蔬菜前後表土20 cm內之土壤有機碳增加約 $1\sim 9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ，相當於固定了 $3.7\sim 33 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 。不同有機栽培年期(1~7年)溫室區土壤可貯存SOC量約 $31\sim 56 \text{ Mg ha}^{-1}$ ，相當於 $114\sim 206 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 。長年施行有機耕作每年平均可固定 $14 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ，並於持續有機耕作5~7年後，達到最大SOC貯量。明顯地，在未來推廣有機耕作可達到 CO_2 減量、提升農業經濟與農地保育等多重功能，在產量、品質與環境保護、

永續經營之間找到平衡點。

SOC 來源包含地上、地下部殘株以及根圈沉降等(Johnson et al., 2006)，

其含量或者土壤碳固定能力之影響因子相當多，包含土壤性質、植物生物量、氣候與生產過程之操作(Lemus and Lal, 2005)，為未來值得繼續探討之議題。

第五節、有機耕作對 CO₂ 減量之貢獻

本篇所探討的碳庫對象僅為Walkley-Black 濕氧化法所估計之SOC含量，有許多前人研究指出此方法所測量之有機碳僅能代表可氧化有機碳，並不能代表土壤整體之有機碳(Chen et al., 2004)，因此未來必須搭配其他土壤碳庫指標，例如微生物碳或總碳含量(C%)，才能更完整的了解土壤中各種碳庫在時間上的動態變化；如要進一步釐清碳素來源或探討有機耕作之貢獻，必須測量蔬菜與土壤在各時期之 $\delta^{13}\text{C}$ ，透過其變化估計植物之貢獻程度(Balesdent and Balabane, 1992; Sá et al.2001; Liang et al., 2002)。以前人試驗之結果加以參照，有機耕作對於大氣CO₂減量是相當有幫助，遠遠高於台大試驗農場水田土壤7.5-12 g kg⁻¹，與五節芒或培地茅類似，皆對土壤有機碳庫蓄積有相當好的幫助(Chen et al.,

2007)，其有機碳含量遠高於一般關渡水稻田表土的 41 g kg^{-1} （資料源自張尊國博士）。包含被收穫之地上部貢獻，即一般生長狀態之最大生物量，以植物平均總碳含量(C%)估算，休耕水田與河岸泥灘之草稈固碳量分別為 7.55 與 4.71 Mg ha^{-1} ，相當於 27.7 與 $17.3 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ （陳等, 2008）；林務局以年材積生長量計算，即未計算根圈固碳，估計林地 CO_2 週年固定量約為 7.45 - $14.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，仍低於長期有機耕作田區土壤。採有機耕作初期，每年至少可固定 6 ~ $15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，若以 CO_2 減量成本每公斤新台幣 6.6 元估算，各約為每公頃新台幣 3.6 萬與 9 萬元，此部分未來若納入排放配額之交易，對於投入有機農業栽培管理者亦是可觀的收入。



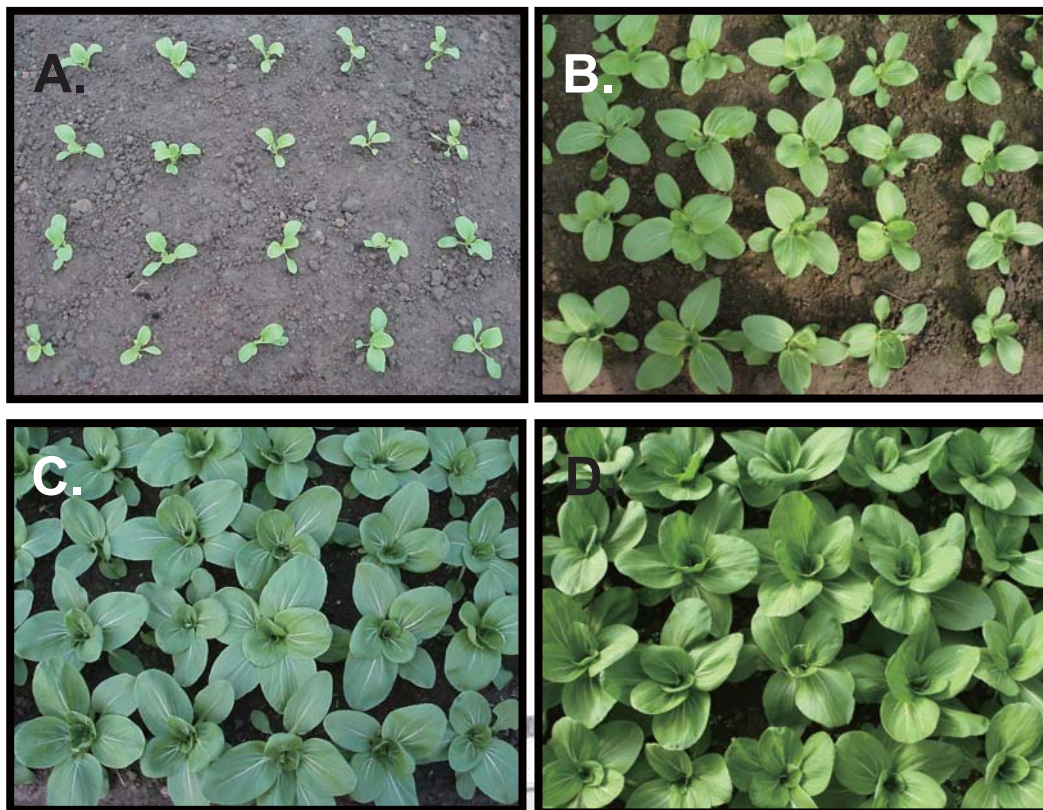


圖 1、7 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 2、7 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)

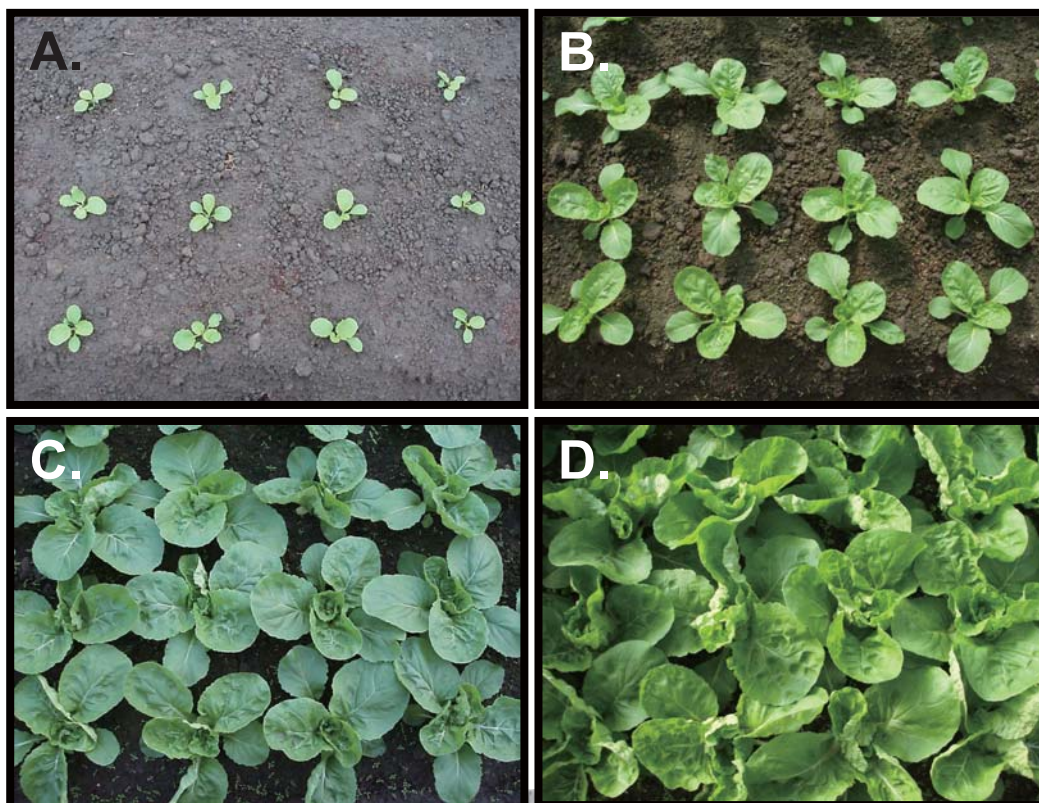


圖 3、7 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)

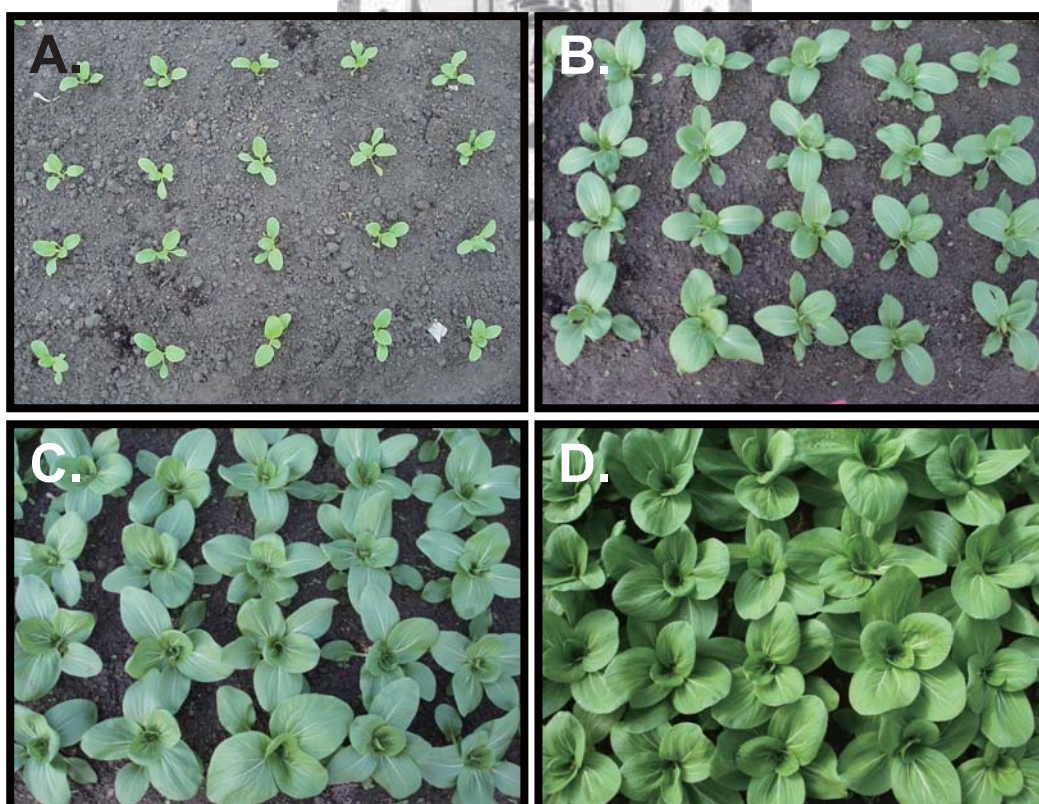


圖 4、5 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)

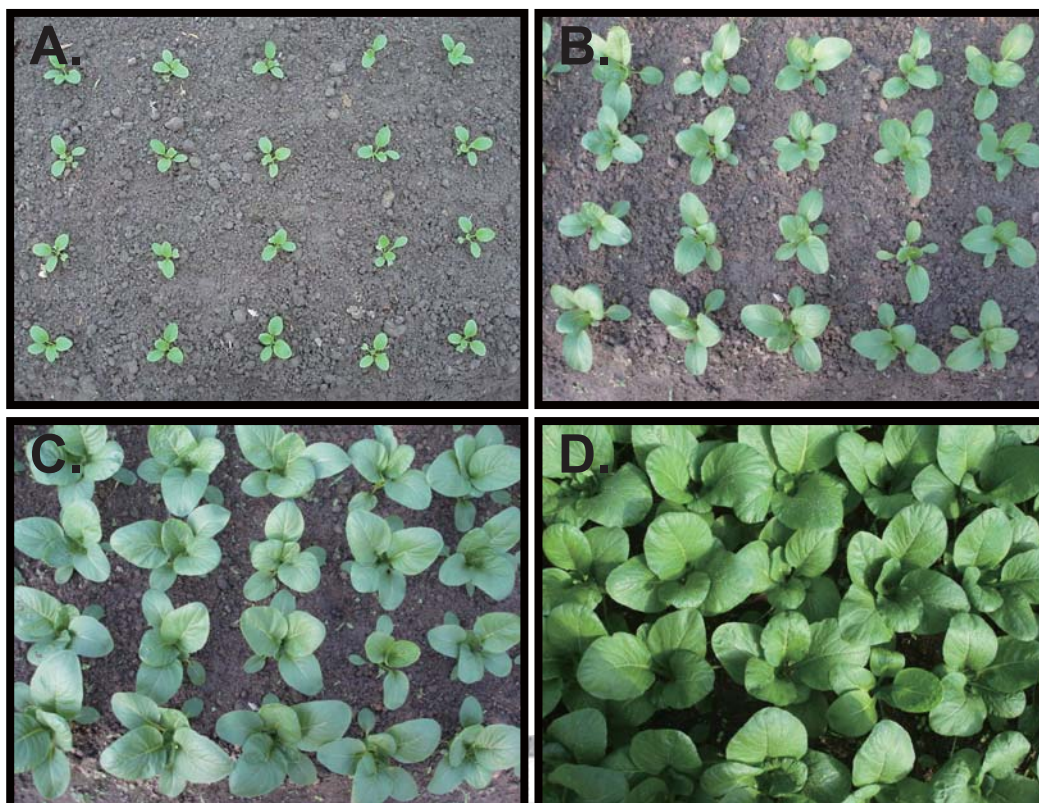


圖 5、5 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 6、5 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 7、3 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 8、3 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 9、3 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)

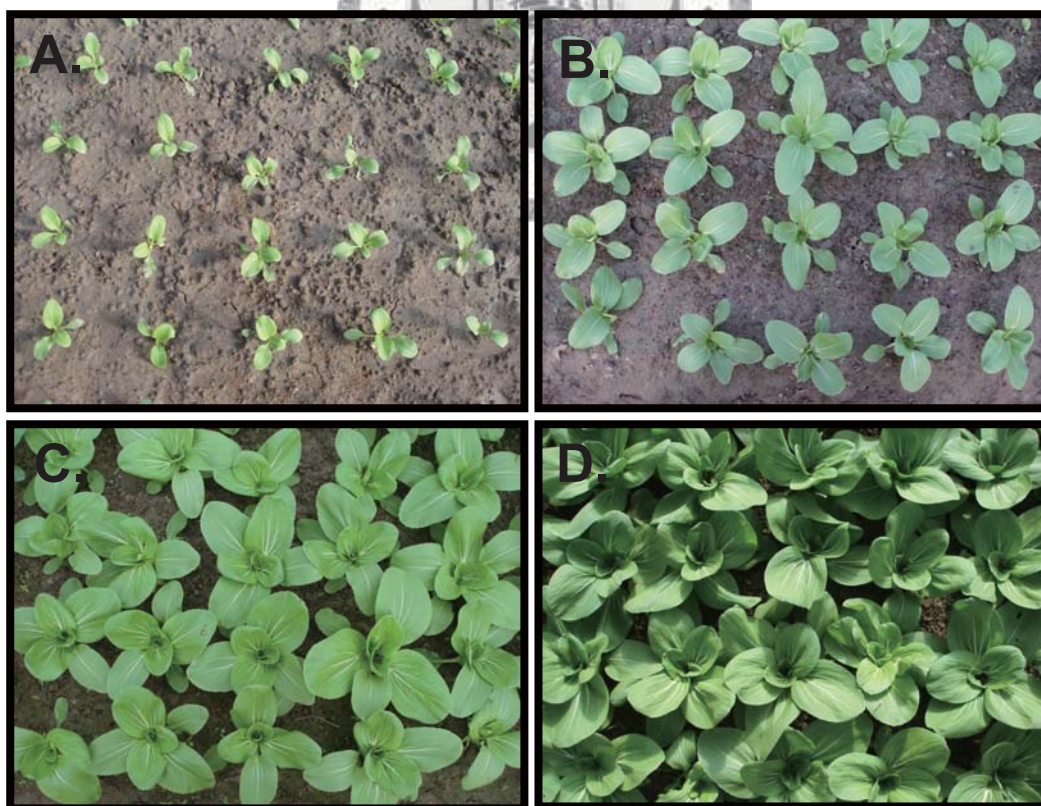


圖 10、1 年有機栽培溫室田區青江菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)

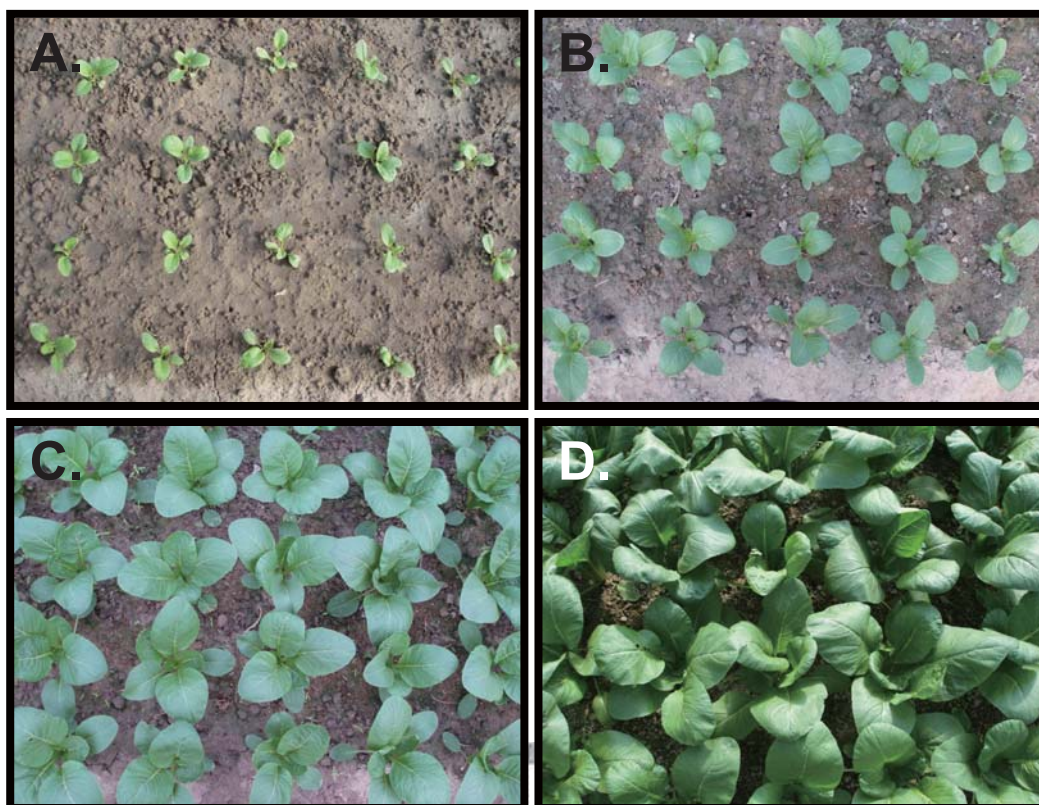


圖 11、1 年有機栽培溫室田區小松菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 12、1 年有機栽培溫室田區蚵仔白菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 13、7 年有機栽培室外田區青江菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 14、7 年有機栽培室外田區小松菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



圖 15、7 年有機栽培室外田區蚵仔白菜移植後的生育情形。(A.移植後 5 日;B.移植後 10 日;C.移植後 15 日;D.移植後 20 日)



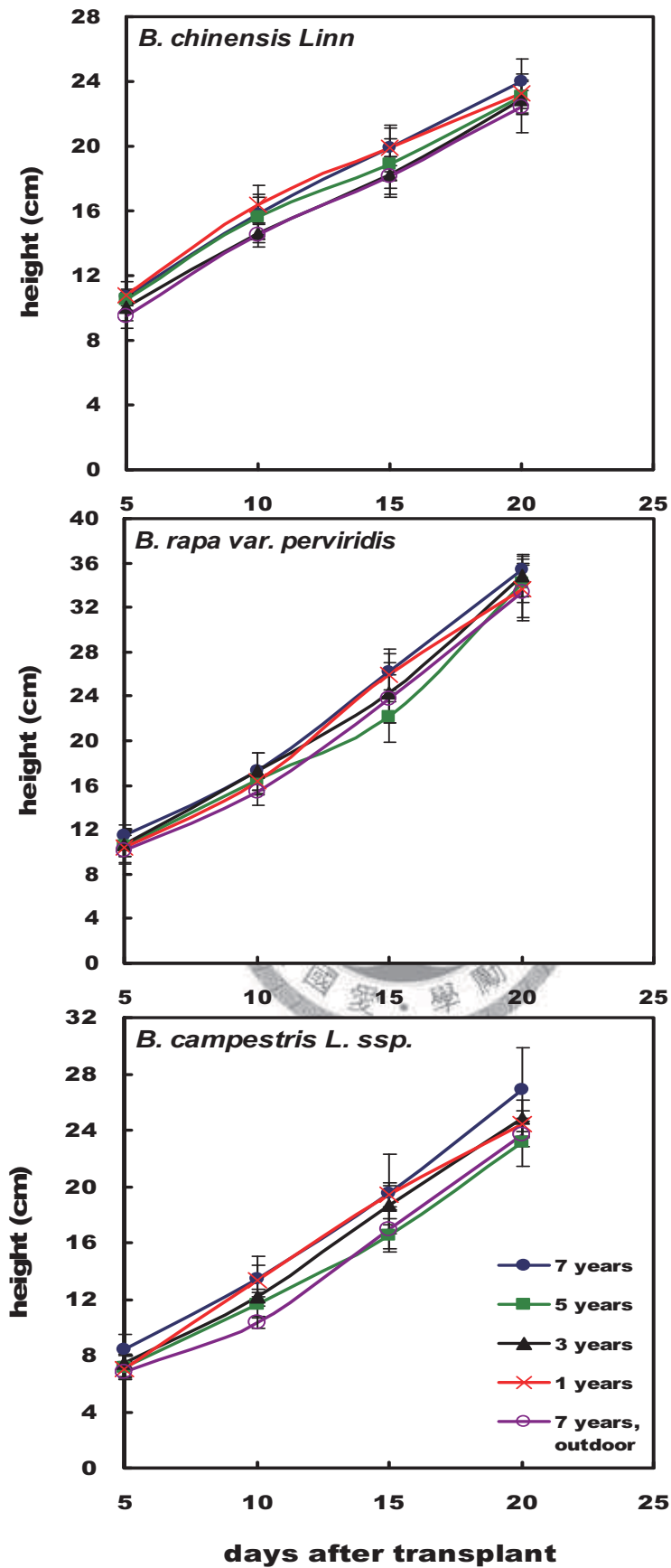


圖 16、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜生育期間株高變化。
(上：青江菜、中：小松菜、下：蚵仔白菜)

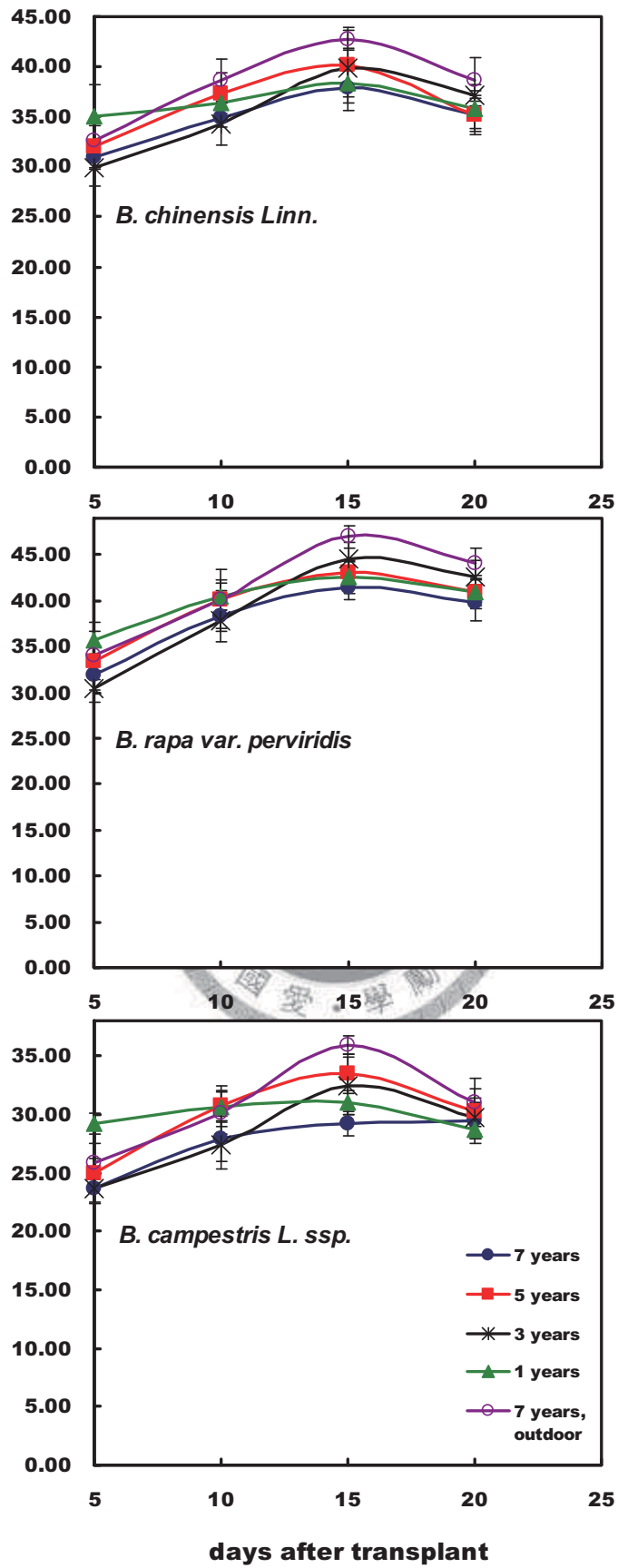


圖 17、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜生育期間葉片 SPAD 值。(上：青江菜、中：小松菜、下：蚵仔白菜)

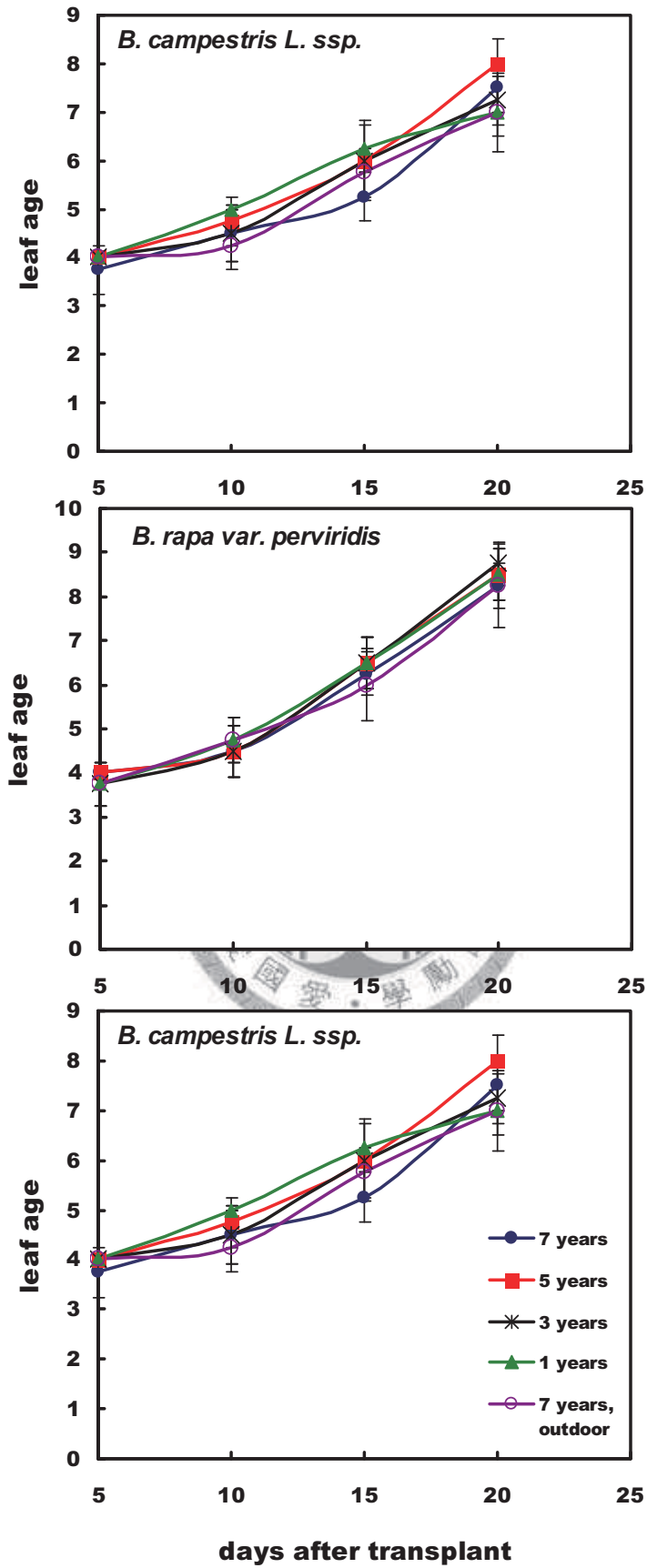


圖 18、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜生育期間植株葉齡變化。(上：青江菜、中：小松菜、下：蚵仔白菜)

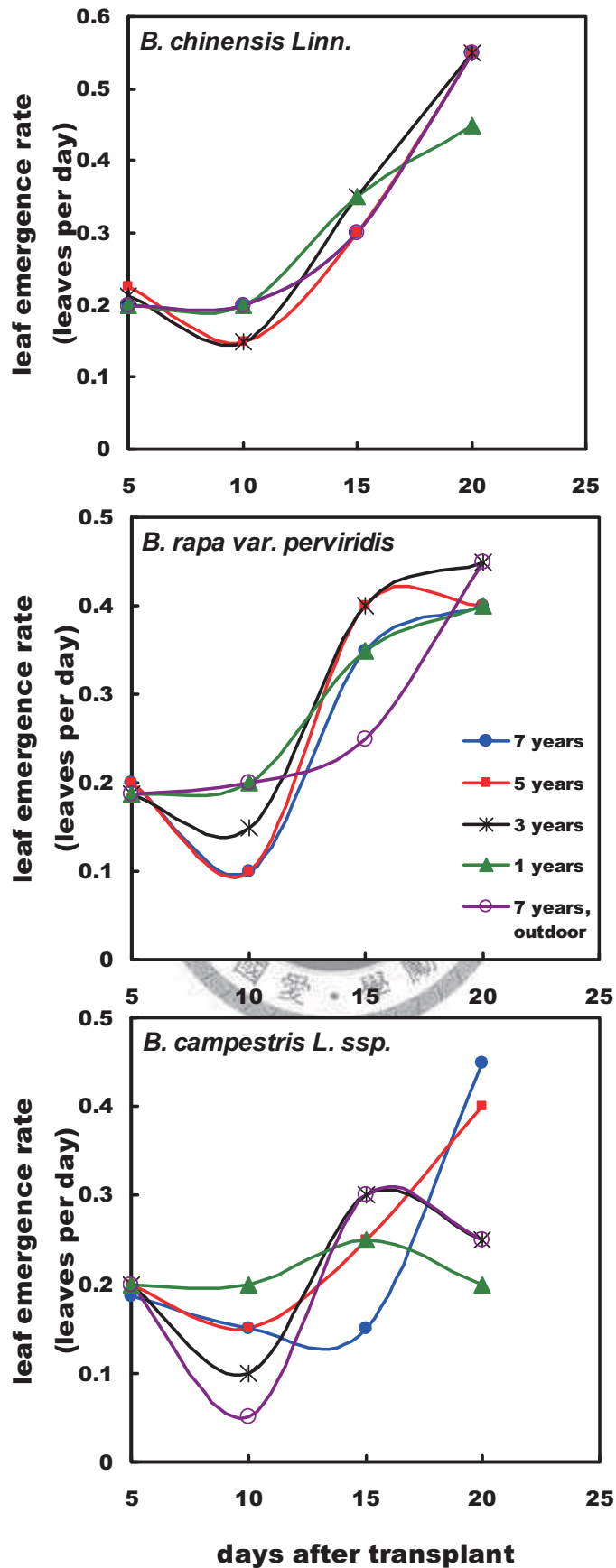


圖 19、不同有機耕作年期試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜生育期間之植株出葉速率。(上：青江菜、中：小松菜、下：蚵仔白菜)

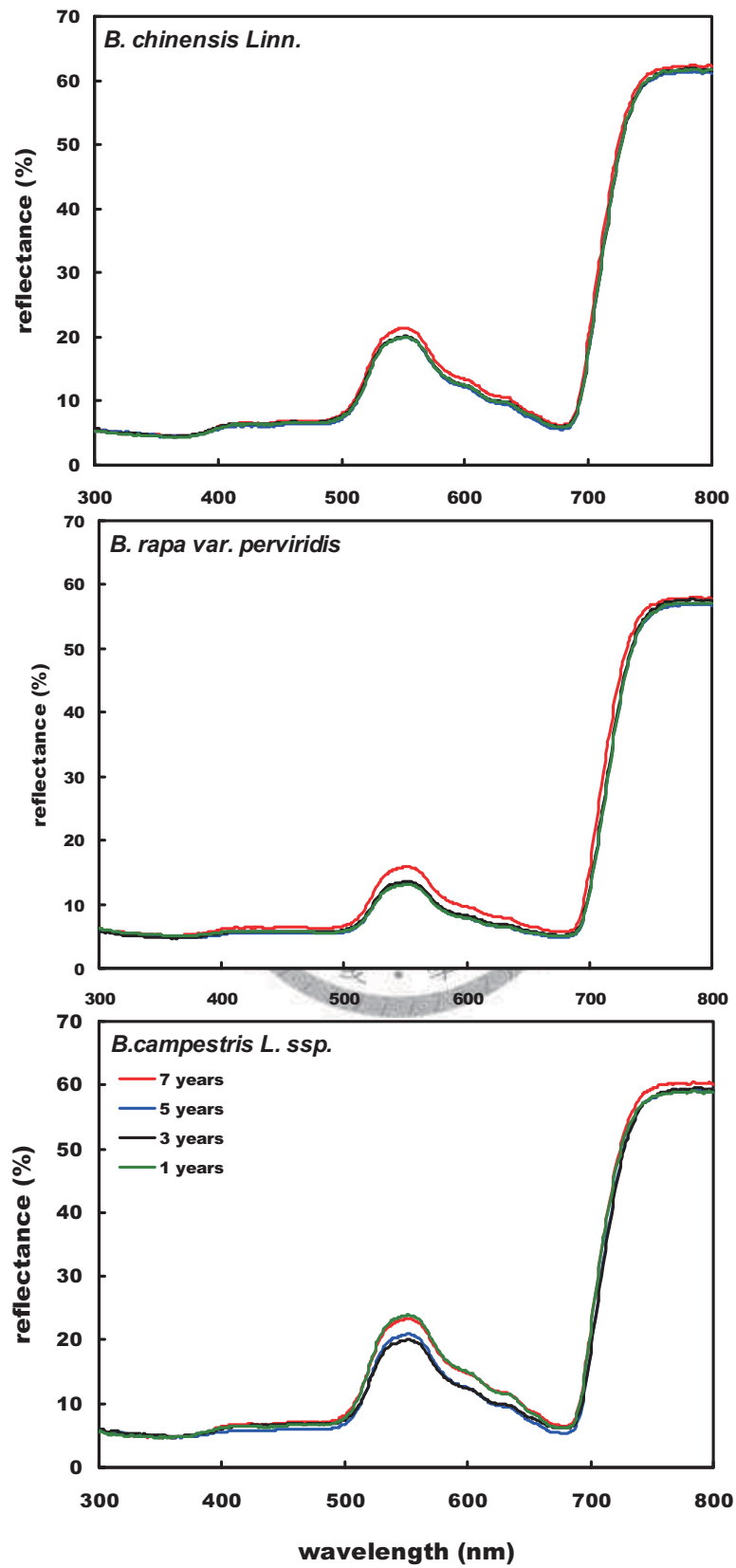


圖 20、不同有機耕作年期溫室試區青江菜、小松菜與蚵仔白菜採收葉片之反射光譜。(上：青江菜、中：小松菜、下：蚵仔白菜)

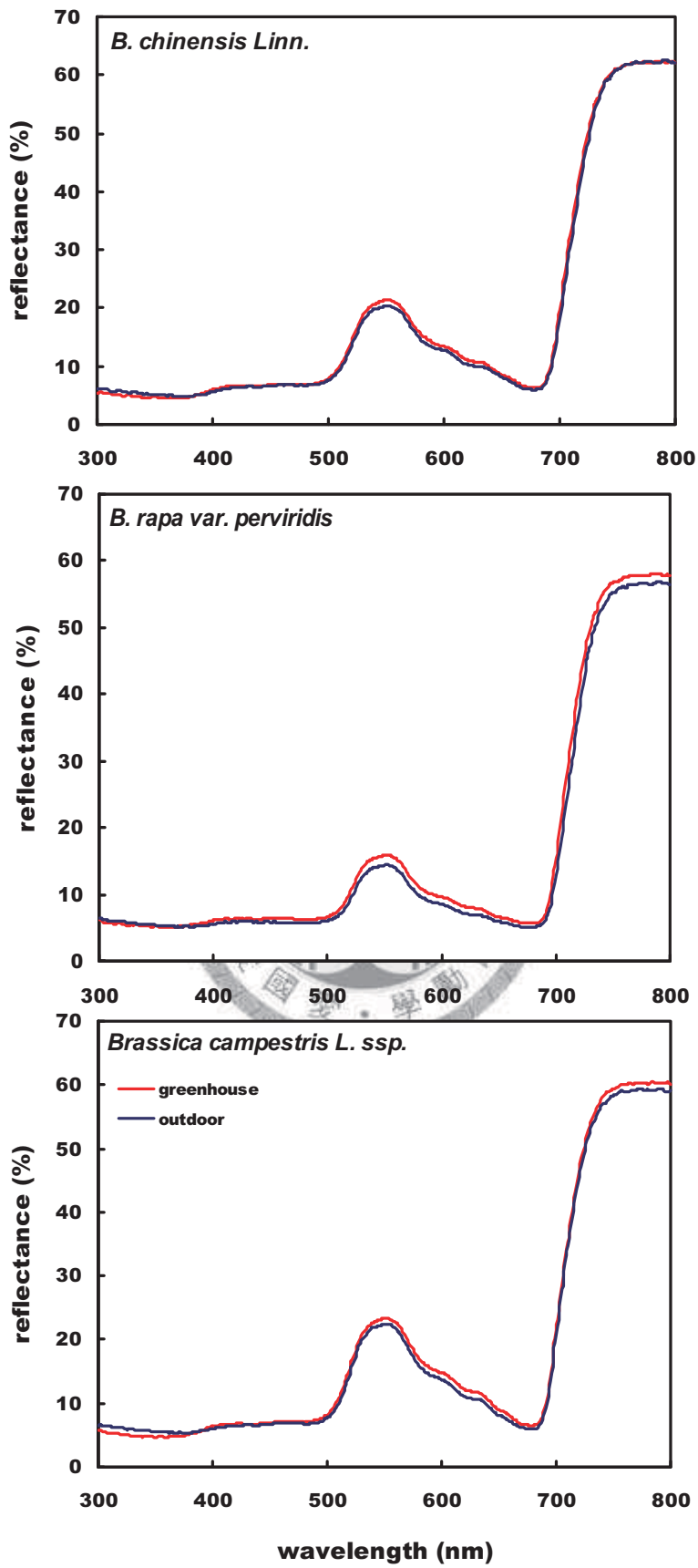


圖 21、不同有機耕作年期溫室內及室外田區青江菜、小松菜與蚵仔白菜採收葉片之反射光譜比較。(上：青江菜、中：小松菜、下：蚵仔白菜)

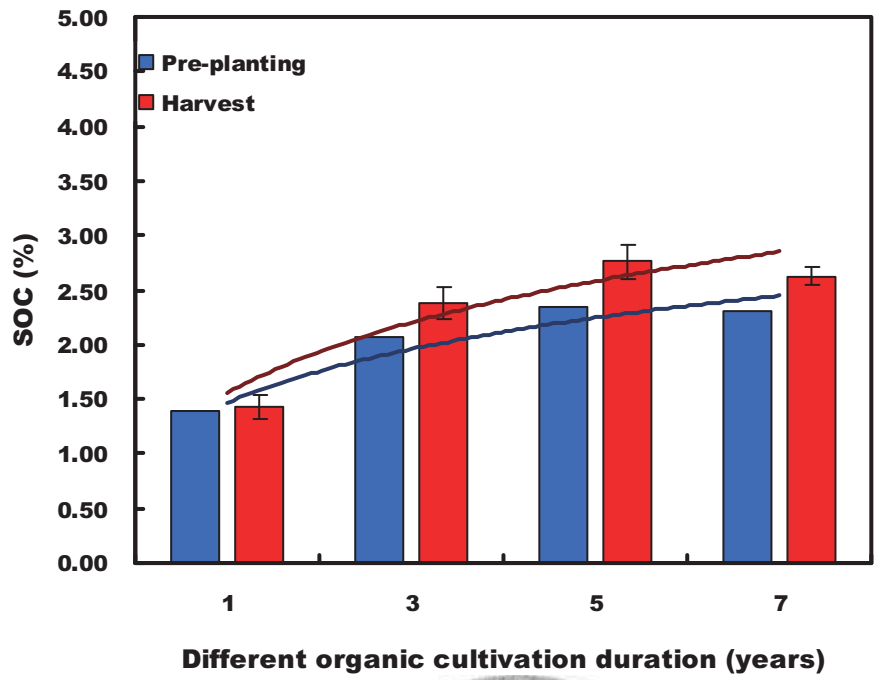


圖 22、不同有機栽培年期溫室田區蔬菜種植前與種植後土壤有機碳(SOC)含量之變化。

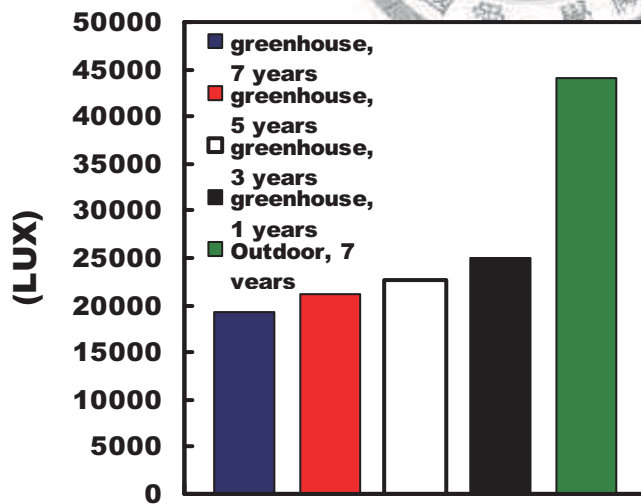
* 植前： $y = 0.7078\ln(x) + 1.4676$ $R^2 = 0.9176$

* 植後： $y = 0.9304\ln(x) + 1.5583$ $R^2 = 0.8822$





補充圖 1、溫室內及溫室外光照度比較。



補充圖 2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區於 98 年 12 月份之晴朗正午時之光照度比較。

表 1-1、不同有機耕作年期溫室內及室外田區土壤性質及巨量元素含量。

有機栽培 年期	酸鹼度 1:1	電導度 ds/m	有機質 %	有效性磷 mg kg ⁻¹	交換性鉀 mg kg ⁻¹	交換性鈣 mg kg ⁻¹	交換性鎂 mg kg ⁻¹	
室內溫室	1	4.86±0.33	0.28±0.07	2.31±0.34	121.80±22.06	100.60±11.67	857.40±83.62	245.20±18.23
	3	5.15±0.28	0.26±0.03	3.96±0.50	118.60±55.81	95.40±32.48	1283.60±81.85	373.00±57.88
	5	4.99±0.50	0.35±0.11	4.18±0.50	133.50±28.02	79.75±25.85	1412.00±203.30	363.25±86.85
	7	5.87±0.30	0.30±0.07	3.99±0.42	126.80±55.07	114.20±35.27	1839.80±369.69	492.00±88.91
室外田區	1	4.30±0.13	0.12±0.05	2.70±0.48	76.20±48.88	121.80±45.58	570.20±106.65	187.00±57.31
	3	5.19±0.49	0.19±0.06	3.05±0.47	52.50±4.80	176.25±25.46	1137.25±254.29	251.75±27.58
	5	5.18±0.20	0.15±0.03	3.13±0.34	112.00±34.88	205.20±45.16	1032.40±106.95	276.60±39.38
	7	5.75±0.29	0.13±0.01	3.22±0.86	102.00±60.81	242.75±155.39	1467.50±532.80	317.25±86.93

表 1-2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區土壤微量元素含量。

年份	鐵	錳	銅	鋅	鎳	鉻	鉛	
1	300.40±61.07	8.60±1.47	1.53±0.42	4.32±0.46	nd	1.26±1.39	0.61±0.97	3.30±0.33
3	331.20±63.88	19.40±5.50	1.44±0.39	7.20±0.99	0.03±0.01	1.28±0.68	0.36±0.38	3.56±0.46
5	264.00±44.19	14.25±0.50	1.34±0.30	7.70±0.65	0.02±0.00	2.44±1.90	1.13±0.95	3.57±0.77
7	347.20±15.01	26.20±5.40	1.23±0.55	9.76±1.85	0.04±0.03	2.06±1.68	0.78±0.87	3.10±0.38
-----mg kg ⁻¹ -----								
1	444.40±133.04	6.01±2.40	2.41±0.26	3.88±1.12	nd	1.06±0.38	0.22±0.21	4.78±1.13
3	506.00±121.28	20.00±8.29	2.46±0.57	5.88±0.81	nd	2.25±1.70	0.65±0.79	3.72±0.34
5	402.80±64.22	25.99±20.61	2.18±0.38	7.23±1.83	nd	1.57±1.30	0.62±0.80	4.08±0.96
7	423.75±144.12	47.25±3.62	1.94±0.55	8.74±4.54	0.03±0.00	2.56±1.78	1.12±1.00	3.35±1.14

表 2-1、不同有機耕作年期溫室內及室外田區青菜種植前後土壤元素含量變化。

		有機栽培年期													
		Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio				
		mg kg ⁻¹											%		
植前	溫室	1	332.0	1.99×10 ³	2.74×10 ³	50.62	51.45	10.83×10 ³	7.47	1.39	0.15	9.44			
		3	791.7	4.75×10 ³	3.75×10 ³	73.33	107.50	17.25×10 ³	10.83	2.07	0.20	10.30			
		5	457.6	2.75×10 ³	2.25×10 ³	52.41	49.08	10.57×10 ³	8.32	2.35	0.24	9.88			
	室外	7	625.0	3.75×10 ³	3.75×10 ³	69.17	71.67	15.17×10 ³	9.17	2.31	0.22	10.57			
		7	624.5	3.75×10 ³	3.75×10 ³	49.96	149.04	16.32×10 ³	7.49	1.35	0.13	10.32			
		溫室	1	581.4	3.49×10 ³	2.49×10 ³	53.99	58.97	12.46×10 ³	7.48	1.54	0.15	10.18		
			3	539.9	3.24×10 ³	2.99×10 ³	65.61	102.16	15.99×10 ³	9.97	2.42	0.22	11.10		
室外	5	622.4	3.73×10 ³	2.73×10 ³	63.90	53.11	11.49×10 ³	9.13	2.83	0.25	11.50				
	7	457.2	2.74×10 ³	2.74×10 ³	66.50	68.99	14.34×10 ³	9.14	2.71	0.22	12.49				
		7	748.8	4.49×10 ³	3.24×10 ³	55.74	167.22	14.68×10 ³	6.66	1.40	0.13	10.97			

表 2-2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區小松菜種植前後土壤元素含量變化。×10³

	有機栽培年期	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	-----%				
									C	N	C/N ratio		
植前	溫室	1	332.0	1.99×10 ³	2.74×10 ³	50.62	51.45	10.83×10 ³	7.47	1.39	0.15	9.44	
		3	791.7	4.75×10 ³	3.75×10 ³	73.33	107.50	17.25×10 ³	10.83	2.07	0.20	10.30	
		5	457.6	2.75×10 ³	2.25×10 ³	52.41	49.08	10.57×10 ³	8.32	2.35	0.24	9.88	
	室外	7	625.0	3.75×10 ³	3.75×10 ³	69.17	71.67	15.17×10 ³	9.17	2.31	0.22	10.57	
		7	624.5	3.75×10 ³	3.75×10 ³	49.96	149.04	16.32×10 ³	7.49	1.35	0.13	10.32	
		溫室	1	540.8	3.25×10 ³	2.25×10 ³	54.08	56.57	12.27×10 ³	7.49	1.45	0.14	10.25
			3	873.5	5.24×10 ³	3.49×10 ³	69.88	105.66	17.10×10 ³	9.98	2.21	0.21	10.75
植後	溫室	5	582.4	3.49×10 ³	2.00×10 ³	49.08	49.92	9.61×10 ³	7.49	2.87	0.27	10.74	
		7	624.0	3.74×10 ³	3.49×10 ³	66.56	69.88	14.89×10 ³	9.15	2.54	0.23	10.92	
	7	707.7	4.25×10 ³	2.25×10 ³	49.13	179.02	15.82×10 ³	6.66	1.18	0.12	10.14		

表 2-3、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蚵仔白菜種植前後土壤元素含量變化。

		有機栽培年期											
		Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio		
		mg kg ⁻¹										-----%	
植前	溫室	1	332.0	1.99×10 ³	2.74×10 ³	50.62	51.45	10.83×10 ³	7.47	1.39	0.15	9.44	
		3	791.7	4.75×10 ³	3.75×10 ³	73.33	107.50	17.25×10 ³	10.83	2.07	0.20	10.30	
		5	457.6	2.75×10 ³	2.25×10 ³	52.41	49.08	10.57×10 ³	8.32	2.35	0.24	9.88	
		7	625.0	3.75×10 ³	3.75×10 ³	69.17	71.67	15.17×10 ³	9.17	2.31	0.22	10.57	
植後	室外	7	624.5	3.75×10 ³	3.75×10 ³	49.96	149.04	16.32×10 ³	7.49	1.35	0.13	10.32	
		1	746.3	4.48×10 ³	3.48×10 ³	48.09	48.09	10.53×10 ³	6.63	1.32	0.15	8.92	
		3	500.0	3.00×10 ³	2.75×10 ³	64.17	92.50	14.63×10 ³	9.17	2.49	0.23	11.05	
		5	583.3	3.50×10 ³	2.50×10 ³	56.67	50.83	10.50×10 ³	8.33	2.57	0.24	10.84	
	7	498.3	2.99×10 ³	2.99×10 ³	66.45	69.77	15.24×10 ³	9.14	2.62	0.23	11.19		
	室外	7	498.3	2.99×10 ³	1.99×10 ³	49.00	167.77	14.74×10 ³	7.48	1.29	0.13	10.23	

表 3-1、1 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	---	1.00***	0.52	-0.29	-0.19	-0.04	-0.76	-0.20	0.04	-0.27
K		---	0.52	-0.29	-0.19	-0.04	-0.76	-0.20	0.04	-0.27
Mg			---	-0.95*	-0.87	-0.85	-0.93	-0.79	0.62	-0.95*
Zn				---	0.97*	0.97*	0.84	0.91	-0.55	1.00***
Mn					---	0.98*	0.78	0.98*	-0.38	0.97*
Fe						---	0.68	0.93	-0.51	0.97*
Cu							---	0.76	-0.35	0.83
C								---	-0.18	0.90
N									---	-0.58
C/N										---

*，**，***分別為 0.05，0.01，0.001 顯著水準

表 3-2、3 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	--	1.00***	0.91	0.86	0.81	0.90	0.65	-0.88	-0.85	-0.75
K		--	0.91	0.86	0.81	0.90	0.65	-0.88	-0.85	-0.75
Mg			--	0.99**	0.91	0.95*	0.90	-1.00**	-0.99**	-0.92
Zn				--	0.87	0.91	0.90	-1.00***	-0.98*	-0.97*
Mn					--	0.99**	0.91	-0.87	-0.94*	-0.71
Fe						--	0.88	-0.92	-0.95*	-0.77
Cu							--	-0.89	-0.95*	-0.84
C								--	0.98*	0.96*
N									--	0.91
C/N										--

*，**，***分別為 0.05，0.01，0.001 顯著水準

表 3-3、5 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	--	1.00***	0.44	0.53	0.81	0.21	0.22	0.86	0.41	0.96*
K		--	0.44	0.53	0.81	0.21	0.22	0.86	0.41	0.96*
Mg			--	0.98*	0.84	0.93	0.95*	0.05	-0.55	0.63
Zn				--	0.91	0.94	0.95*	0.20	-0.40	0.72
Mn					--	0.74	0.75	0.58	-0.01	0.93
Fe						--	1.00***	-0.07	-0.57	0.45
Cu							--	-0.08	-0.59	0.46
C								--	0.80	0.80
N									--	0.27
C/N										--

*，**，***分別為 0.05，0.01，0.001 顯著水準

表 3-4、7 年有機耕作年期溫室田區土壤元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	--	1.00***	0.97*	0.59	0.76	0.51	0.80	-0.84	0.13	-0.86
K		--	0.97*	0.59	0.76	0.51	0.80	-0.84	0.13	-0.86
Mg			--	0.75	0.88	0.58	0.91	-0.94*	-0.01	-0.89
Zn				--	0.94*	0.41	0.95*	-0.92	-0.58	-0.58
Mn					--	0.67	0.95*	-0.99**	-0.26	-0.82
Fe						--	0.43	-0.62	0.44	-0.87
Cu							--	-0.98*	-0.41	-0.71
C								--	0.24	0.84
N									--	-0.33
C/N										--

*，**，***分別為 0.05，0.01，0.001 顯著水準

表 3-5、7 年有機耕作年期室外田區土壤元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	--	1.00***	0.40	0.65	0.25	0.11	-0.87	0.10	-0.38	0.56
K		--	0.40	0.65	0.25	0.11	-0.87	0.10	-0.38	0.56
Mg			--	0.47	-0.78	0.42	0.09	0.71	0.45	0.49
Zn				--	-0.04	-0.49	-0.53	0.73	0.38	0.99**
Mn					--	-0.40	-0.69	-0.65	-0.71	-0.12
Fe						--	0.21	-0.30	-0.35	-0.52
Cu							--	0.19	0.58	-0.43
C								--	0.88	0.80
N									--	0.49
C/N										--

*，**，***分別為 0.05，0.01，0.001 顯著水準

表 4、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜生育期間土壤 pH 值。

蔬菜	有機栽培 年期	移植後天數				
		第 1 日	第 7 日	第 14 日	第 21 日	
青江菜	溫室	1	6.09	6.36	6.45	6.56
		3	6.35	6.30	6.34	6.40
		5	5.89	5.73	5.78	5.70
		7	6.80	6.77	6.89	6.90
	室外	7	6.16	6.26	6.18	6.49
小松菜	溫室	1	6.09	6.35	6.13	6.35
		3	6.35	6.28	6.35	6.36
		5	5.89	5.96	6.01	6.10
		7	6.80	6.78	6.90	6.77
	室外	7	6.16	6.15	6.11	6.20
蚵仔白菜	溫室	1	6.09	6.26	6.25	6.49
		3	6.35	6.24	6.34	6.45
		5	5.89	5.99	5.89	5.98
		7	6.80	6.76	6.75	6.84
	室外	7	6.16	5.92	6.12	6.03
LSD _{0.05}	蔬菜間	0.069				
	移植日	0.079				

表 5、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜生育期間土壤 EC 值。

蔬菜	有機栽培 年期	移植後天數				
		第 1 日	第 7 日	第 14 日	第 21 日	
----- dS/m -----						
青江菜	溫室	1	0.37	0.32	0.31	0.24
		3	0.37	0.42	0.42	0.30
		5	0.53	0.63	0.61	0.61
		7	0.73	0.57	0.63	0.49
	室外	7	0.35	0.36	0.29	0.32
小松菜	溫室	1	0.37	0.27	0.33	0.31
		3	0.37	0.46	0.41	0.31
		5	0.53	0.45	0.38	0.37
		7	0.73	0.79	0.73	0.63
	室外	7	0.35	0.37	0.38	0.23
蚵仔白菜	溫室	1	0.37	0.33	0.34	0.27
		3	0.37	0.44	0.42	0.29
		5	0.53	0.46	0.52	0.36
		7	0.73	0.65	0.68	0.52
	室外	7	0.35	0.47	0.47	0.32
LSD _{0.05}	蔬菜間	0.04				
	移植日	0.046				

表 6、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜產量、含水量及 SPAD 值。

		有機栽培年期	產量 (鮮重) -- kg m ⁻² --	產量 (乾重) -- g m ⁻² --	含水量 ---%---	SPAD
青江菜	溫室	1	6.71	246.29	96.33	35.78±1.89
		3	6.83	247.84	96.37	37.20±1.04
		5	6.63	253.28	96.18	35.18±1.91
		7	6.63	251.69	96.20	35.25±1.66
	室外	7	8.75	341.54	96.10	38.70±2.19
小松菜	溫室	1	4.92	257.80	94.76	40.95±1.80
		3	6.69	302.40	95.48	42.62±1.81
		5	5.85	270.71	95.37	40.87±1.44
		7	5.21	269.16	94.83	39.75±1.92
	室外	7	7.00	341.17	95.13	44.05±1.65
蚵仔白菜	溫室	1	6.45	250.30	96.12	28.67±1.11
		3	6.83	245.03	96.41	29.67±1.70
		5	5.92	254.51	95.70	30.22±1.94
		7	6.37	251.60	96.05	29.48±1.50
	室外	7	7.36	335.95	95.44	31.03±2.06
LSD _{0.05}	鮮重 vs 蔬菜		0.66			
	鮮重 vs 年期		0.85			
	乾重 vs 蔬菜		1.34			
	乾重 vs 年期		1.73			
	水分 vs 蔬菜		0.39			
	水分 vs 年期		0.50			

表 7、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜元素含量。

蔬菜	有機栽培年期	%										mg kg ⁻¹				
		Na	K	Ca	Mg	C	N	C/N ratio	Zn	Mn	Fe	Cu				
青江菜	溫室	1	1.15	8.04	1.51	0.57	26.71	4.70	5.69	43.26	15.81	381.86	3.33			
		3	1.52	6.31	1.87	0.72	28.51	4.66	6.12	45.72	15.79	305.07	3.33			
		5	2.07	6.16	1.95	0.67	26.18	4.66	5.62	51.58	14.98	285.36	6.66			
		7	0.60	9.67	1.44	0.50	27.25	4.94	5.51	26.51	7.46	176.47	3.31			
小松菜	室外	7	0.55	9.93	2.02	0.55	29.33	4.68	6.26	45.72	43.23	156.28	3.33			
		1	1.20	6.03	2.40	0.67	28.97	5.36	5.40	39.04	18.27	446.01	4.98			
		3	1.20	6.12	1.79	0.92	29.61	5.69	5.21	54.77	19.92	368.46	26.56			
		5	0.99	7.49	2.21	0.74	30.03	5.31	5.65	47.15	16.54	337.47	4.14			
蚵仔白菜	室外	7	0.68	8.25	1.36	0.55	28.24	6.16	4.59	22.50	7.50	141.67	1.67			
		7	0.85	8.18	2.71	0.58	29.07	4.83	6.02	50.00	39.17	164.17	5.83			
		1	2.22	7.06	2.43	0.80	26.77	5.00	5.35	49.08	23.29	355.24	4.16			
		3	1.42	7.27	1.69	0.87	27.53	4.82	5.71	52.46	18.32	489.59	4.16			
蚵仔白菜	溫室	5	0.90	7.17	2.69	0.87	26.84	4.88	5.50	59.95	19.15	467.11	4.16			
		7	0.84	8.67	1.76	0.70	28.26	4.42	6.40	36.42	9.93	346.03	2.48			
		7	0.27	8.69	2.18	0.57	28.00	4.45	6.29	44.81	50.62	453.94	3.32			
	室外	7	0.27	8.69	2.18	0.57	28.00	4.45	6.29	44.81	50.62	453.94	3.32			

表 8-1、1 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	---	-0.02	0.56	0.92	0.89	0.96	-0.70	0.04	-0.44	-0.01	-0.64
K		---	-0.84	-0.42	0.43	-0.31	-0.70	-1.00**	-0.89	-1.00*	0.78
Ca			---	0.84	0.12	0.77	0.21	0.85	0.50	0.82	-0.99
Mg				---	0.63	0.99	-0.35	0.44	-0.05	0.39	-0.90
Zn					---	0.72	-0.95	-0.42	-0.80	-0.47	-0.23
Mn						---	-0.47	0.33	-0.17	0.27	-0.84
Fe							---	0.68	0.95	0.72	-0.10
Cu								---	0.88	1.00*	-0.79
C									---	0.90	-0.40
N										---	-0.76
C/N											----

*，**分別為 0.05，0.01 顯著水準



表 8-2、3 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	---	0.37	0.20	-0.87	-0.88	-0.94	-0.12	-0.97	-0.71	-0.99	0.99
K		---	-0.83	0.14	0.12	-0.022	0.88	-0.6	-0.92	-0.51	0.21
Ca			---	-0.67	-0.65	-0.53	-1.00*	0.058	0.55	-0.055	0.37
Mg				---	1.00*	0.99	0.6	0.71	0.26	0.78	-0.94
Zn					---	0.99	0.58	0.72	0.28	0.79	-0.95
Mn						---	0.46	0.81	0.41	0.87	-0.98
Fe							---	-0.15	-0.62	-0.03	-0.28
Cu								---	0.87	0.99*	-0.91
C									---	0.80	-0.58
N										---	-0.95
C/N											---

*，**分別為 0.05，0.01 顯著水準

表 8-3、5 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	---	-0.95	-0.81	-0.81	-0.25	-0.83	-0.77	1.00*	-0.58	-0.71*	0.39
K		---	0.60	0.60	-0.06	0.62	0.54	-0.97	0.80	0.89	-0.10
Ca			---	1.00**	0.76	1.00**	1.00*	-0.77	-0.01	0.17	-0.85
Mg				---	0.76	1.00*	1.00*	-0.77	-0.01	0.17	-0.86
Zn					---	0.75	0.81	-0.17	-0.65	-0.51	-0.99
Mn						---	1.00	-0.78	0.02	0.19	-0.84
Fe							---	-0.72	-0.08	0.10	-0.89
Cu								---	-0.64	-0.76	0.32
C									---	0.98	0.53
N										---	0.37
C/N											---

*，**分別為 0.05，0.01 顯著水準



表 8-4、7 年有機耕作年期溫室田區蔬菜植株元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	---	-0.52	0.88	1.00*	0.83	0.96	0.89	-0.32	0.76	-0.48	0.66
K		---	-0.05	-0.47	0.05	-0.25	-0.07	0.97	-0.95	-0.50	0.30
Ca			---	0.90	1.00*	0.98	1.00*	0.18	0.35	-0.84	0.94
Mg				---	0.86	0.97	0.91	-0.26	0.72	-0.53	0.70
Zn					---	0.96	0.99	0.27	0.25	-0.89	0.97
Mn						---	0.98	-0.02	0.53	-0.72	0.85
Fe							---	0.15	0.37	-0.83	0.93
Cu								---	-0.86	-0.68	0.50
C									---	0.21	0.01
N										---	-0.98
C/N											---

*，**分別為 0.05，0.01 顯著水準

表 8-5、7 年有機耕作年期室外田區蔬菜植株元素含量之相關係數矩陣。

	Na	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	C	N	C/N ratio
Na	---	-0.31	0.75	0.11	0.95	-0.98	-0.84	0.88	0.74	0.99	-0.92
K		---	-0.86	-0.98	-0.60	0.12	-0.25	-0.72	0.41	-0.17	0.65
Ca			---	0.73	0.93	-0.61	-0.28	0.98	0.12	0.65	-0.95
Mg				---	0.43	0.08	0.45	0.57	-0.59	-0.04	-0.48
Zn					---	-0.87	-0.62	0.99	0.48	0.89	-1.00*
Mn						---	0.93	-0.77	-0.86	-1.00*	0.83
Fe							---	-0.48	-0.99	-0.91	0.57
Cu								---	0.33	0.80	-1.00*
C									---	0.83	-0.43
N										---	-0.86
C/N											---

*，**分別為 0.05，0.01 顯著水準



表 9-1、不同有機耕作年期溫室內及室外田區青江菜採收時光合色素含量。

有機栽培年期	溫室				室外
	1	3	5	7	7
SPAD	35.78	37.2	35.18	35.25	38.7
Chla	8.16×10^3	8.76×10^3	9.03×10^3	7.69×10^3	8.77×10^3
Chlb	3.44×10^3	4.34×10^3	4.50×10^3	3.32×10^3	5.09×10^3
Chla+b	11.60×10^3	13.10×10^3	13.53×10^3	11.01×10^3	13.86×10^3
Chla/b	2.4	2.08	2.03	2.34	1.78
Car	4.70×10^3	4.78×10^3	4.85×10^3	4.50×10^3	4.96×10^3
Car/Chl	0.41	0.37	0.36	0.41	0.36
Phy	457.51	520.07	578.98	501.88	560.09
Dephy	127.93	134.06	143.42	117.04	186.2
Phy+De	585.44	654.13	722.4	618.93	746.29
Phy/De	3.68	4.06	4.13	4.25	3.02
PPIX	1066.51	1133.91	1288.68	1045.97	1397.43
MGPP	703.8	748.15	801.82	724.67	1098.58
Pchlde	544.47	497.23	515.62	453.63	731.87
total	2314.77	2379.29	2606.12	2224.27	3227.87
PPIX%	46.4	47.84	49.4	46.95	43.29
MGPP%	30.19	31.24	30.78	32.61	34.06
Pchlde%	23.41	20.92	19.82	20.44	22.65
Chlide a	1.72	1.78	1.89	1.57	2.45
Chlide b	1.31	1.34	1.42	1.19	1.98
Chlide a+b	3.03	3.12	3.31	2.76	4.44
Chlide a/b	1.31	1.33	1.33	1.32	1.24
Phe a	1711	2038	2384	2035	2163
Phe b	564	737	850	741	906
Phe a+b	2275	2774	3234	2776	3068
Phe a/b	3.03	2.77	2.81	2.74	2.39
Chlide/Phe a	1×10^{-3}	0.88×10^{-3}	0.85×10^{-3}	0.81×10^{-3}	1.14×10^{-3}
Chlide/Phe b	2.31×10^{-3}	1.82×10^{-3}	1.82×10^{-3}	1.68×10^{-3}	2.19×10^{-3}
LPCar	249	288	330	319	408
MP Car	1480	1524	1577	1290	1990
LP/MP	0.17	0.19	0.22	0.25	0.21

表 9-2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區小松菜採收時光合色素含量。

有機栽培年期	溫室				室外
	1	3	5	7	7
SPAD	40.95	42.62	40.87	39.75	44.05
Chla	6.98×10^3	9.05×10^3	9.37×10^3	8.96×10^3	7.08×10^3
Chlb	2.80×10^3	5.12×10^3	6.05×10^3	5.45×10^3	2.70×10^3
Chla+b	9.78×10^3	14.17×10^3	15.42×10^3	14.41×10^3	9.78×10^3
Chla/b	2.49	1.81	1.56	1.7	2.68
Car	4.28×10^3	4.93×10^3	4.96×10^3	4.83×10^3	4.29×10^3
Car/Chl	0.44	0.35	0.32	0.34	0.44
Phy	442.4	715.8	722.2	634.0	499.4
Dephy	107.7	171.7	169.5	171.7	65.69
Phy+De	550.2	887.5	891.7	805.8	565.1
Phy/De	4.11	4.37	4.33	3.9	8.27
PPIX	0.92×10^3	1.20×10^3	1.25×10^3	1.19×10^3	0.62×10^3
MGPP	608.8	1055.8	929.3	1013.1	330.9
Pchlde	429.1	703.3	688.5	691.1	291.3
total	1.96×10^3	2.96×10^3	2.87×10^3	2.90×10^3	1.24×10^3
PPIX%	46.86	40.13	43.61	41.19	51.69
MGPP%	31.16	35.79	32.37	34.99	25.39
Pchlde%	21.98	24.08	24.02	23.82	22.92
Chlide a	1.44	2.28	2.24	2.27	0.87
Chlide b	1.16	1.81	1.72	1.76	0.65
Chlide a+b	2.6	4.09	3.96	4.03	1.52
Chlide a/b	1.24	1.27	1.3	1.32	1.36
Phe a	1722	3203	3188	2702	2028
Phe b	648	1181	1166	996	721
Phe a+b	2369	4383	4353	3698	2749
Phe a/b	2.67	2.71	2.75	2.72	2.81
Chlide/Phe a	0.84×10^{-3}	0.72×10^{-3}	0.71×10^{-3}	0.83×10^{-3}	0.42×10^{-3}
Chlide/Phe b	1.82×10^{-3}	1.54×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.72×10^{-3}	0.88×10^{-3}
LPCar	323	590	523	468	330
MP Car	1188	1781	1862	1919	990
LP/MP	0.27	0.34	0.28	0.24	0.33

表 9-3、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蚵仔白菜採收時光合色素含量。

有機栽培年期	溫室				室外
	1	3	5	7	7
SPAD	28.67	29.67	30.22	29.48	31.03
Chla	9.14×10 ³	7.94×10 ³	6.58×10 ³	7.48×10 ³	7.58×10 ³
Chlb	4.89×10 ³	3.05×10 ³	2.35×10 ³	2.67×10 ³	2.76×10 ³
Chla+b	14.03×10 ³	10.99×10 ³	8.93×10 ³	10.15×10 ³	10.34×10 ³
Chla/b	1.91	2.72	2.8	2.81	2.75
Car	4883	4562	4043	4422	4428
Car/Chl	0.35	0.42	0.45	0.44	0.43
Phy	700.62	572.08	469.89	518	526.54
Dephy	129.95	92.31	63.31	107.53	86.65
Phy+De	830.56	664.39	533.2	625.53	613.19
Phy/De	5.39	6.24	8.1	4.98	6.92
PPIX	930.71	788.74	504.92	565.35	749.57
MGPP	806.08	569.95	352.86	613.56	563.88
Pchlde	549.29	382.63	252.62	462.23	343.51
total	2286.08	1741.32	1110.4	1641.15	1656.96
PPIX%	40.4	44.65	44.21	34.42	45.75
MGPP%	35.42	33.05	32.24	37.15	34.29
Pchlde%	24.18	22.31	23.55	28.43	19.96
Chlide a	1.74	1.28	0.84	1.41	1.16
Chlide b	1.29	0.93	0.65	1.05	0.88
Chlide a+b	3.03	2.21	1.49	2.46	2.04
Chlide a/b	1.35	1.38	1.29	1.35	1.3
Phe a	3338	2575	1890	2073	2305
Phe b	1067	756	670	665	695
Phe a+b	4405	3331	2560	2738	3000
Phe a/b	3.13	3.44	2.84	3.12	3.32
Chlide/Phe a	0.00053	0.00052	0.00045	0.00068	0.0005
Chlide/Phe b	0.00122	0.00128	0.00101	0.00157	0.00127
LPCar	720	538	307	385	480
MP Car	1070	793	849	1091	758
LP/MP	0.67	0.68	0.37	0.36	0.66

表 10、有機栽培蔬菜葉片色素含量與植生指數等之相關係數矩陣。

	ndvi	srvi	xs2	xs3	SPAD	Chla	Chlb	Chla+b	Chla/b	Car	Car/Chl	Phy	Dephy	Phy+De	Phy/De	PPIX	MGPP	Pchlde	total	PPIX%	MGPP%	Pchlde%	Chlide a	Chlide b	Chlide a+b	Chlide a/b	Phe a	Phe b	Phe a+b	Phe a/b	Chlide/Phe a	Chlide/Phe b	LPCar	MP Car	LP/MP	
ndvi	-	0.99	-0.95	-0.53	0.90	0.12	0.30	0.23	-0.36	0.14	-0.24	0.16	0.29	0.21	-0.19	0.36	0.21	0.30	0.30	0.31	-0.43	-0.05	0.29	0.33	0.31	-0.43	0.08	0.31	0.14	-0.56	0.20	0.11	-0.12	0.47	-0.48	
srvi	-	-	0.95	-0.58	0.88	0.11	0.30	0.22	-0.35	0.13	-0.23	0.19	0.28	0.23	-0.17	0.32	0.20	0.29	0.28	0.27	-0.39	-0.01	0.27	0.31	0.29	-0.44	0.12	0.33	0.18	-0.53	0.16	0.07	-0.06	0.43	-0.43	
xs2	-	-	-	0.73	-0.83	-0.04	-0.26	-0.17	0.30	-0.02	0.20	-0.21	-0.17	-0.22	-0.02	-0.21	-0.10	-0.19	-0.17	-0.28	0.40	0.03	-0.17	-0.21	-0.19	0.38	-0.16	-0.35	-0.21	0.47	0.02	0.11	0.01	-0.34	0.32	
xs3	-	-	-	-	-	0.38	0.14	-0.03	0.05	0.00	0.22	-0.02	-0.31	0.19	-0.18	-0.46	0.30	0.20	0.11	0.23	0.03	0.15	-0.25	0.19	0.17	0.18	0.02	-0.37	-0.34	-0.37	-0.05	0.58	0.61	-0.39	0.15	-0.29
SPAD	-	-	-	-	-	-	0.20	0.38	0.31	-0.46	0.25	-0.32	0.13	0.40	0.23	-0.28	0.47	0.33	0.40	0.42	0.35	-0.44	-0.11	0.40	0.43	0.41	-0.42	0.02	0.31	0.10	-0.72	0.34	0.22	-0.18	0.61	-0.62
Chla	-	-	-	-	-	-	-	0.94	0.98	-0.89	0.98	-0.96	0.80	0.86	0.89	-0.63	0.82	0.85	0.84	0.87	-0.21	0.32	-0.01	0.87	0.83	0.85	0.01	0.72	0.78	0.75	-0.20	0.41	0.38	0.50	0.73	-0.13
Chlb	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-0.98	0.92	-0.99	0.82	0.91	0.92	-0.61	0.84	0.89	0.90	0.90	-0.22	0.29	0.05	0.91	0.89	0.90	-0.19	0.71	0.87	0.77	-0.44	0.43	0.34	0.48	0.84	-0.25
Chla+b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.96	0.96	-0.99	0.82	0.90	0.92	-0.63	0.84	0.89	0.89	0.90	-0.22	0.31	0.02	0.91	0.88	0.89	-0.11	0.73	0.84	0.77	-0.34	0.43	0.36	0.50	0.81	-0.20
Chla/b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.88	0.97	-0.74	-0.92	-0.86	0.67	-0.88	-0.90	-0.90	-0.92	0.14	-0.22	0.02	-0.92	-0.91	-0.91	0.30	-0.63	-0.83	-0.69	0.56	-0.51	-0.40	-0.39	-0.88	0.36
Car	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.93	0.74	0.90	0.86	-0.70	0.86	0.90	0.89	0.91	-0.21	0.31	-0.01	0.91	0.88	0.90	-0.08	0.64	0.73	0.68	-0.26	0.53	0.49	0.46	0.78	-0.18
Car/Chl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83	0.88	0.92	0.59	-0.83	-0.87	-0.86	-0.88	0.19	-0.29	0.01	-0.88	-0.86	-0.87	0.11	-0.74	-0.86	-0.78	0.37	-0.39	-0.32	-0.49	-0.80	0.21
Phy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.63	0.97	-0.22	0.47	0.66	0.66	0.60	-0.42	0.46	0.23	0.63	0.60	0.62	0.07	0.98	0.96	0.99	-0.04	-0.09	-0.14	0.84	0.46	0.24
Dephy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.80	-0.84	0.91	0.98	0.99	0.99	-0.31	0.40	0.08	1.00	1.00	1.00	-0.39	0.49	0.70	0.56	-0.54	0.71	0.64	0.30	0.93	-0.43
Phy+De	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.44	0.65	0.82	0.82	0.78	-0.42	0.48	0.20	0.81	0.78	0.79	-0.07	0.91	0.96	0.94	-0.20	0.16	0.10	0.74	0.65	0.04
Phy/De	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83	-0.81	-0.81	-0.85	0.20	-0.31	0.01	-0.84	-0.84	-0.84	0.39	-0.09	-0.28	-0.14	0.47	-0.91	-0.90	0.04	-0.79	0.56
PPIX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.89	0.85	0.96	0.08	0.10	-0.30	0.92	0.91	0.91	-0.39	0.34	0.56	0.40	-0.57	0.77	0.70	0.11	0.89	-0.49
MGPP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.97	0.98	-0.36	0.50	0.06	0.99	0.98	0.99	-0.38	0.54	0.72	0.60	-0.47	0.66	0.59	0.39	0.88	-0.31
Pchlde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.96	-0.39	0.43	0.21	0.99	0.98	0.99	-0.36	0.53	0.72	0.59	-0.49	0.66	0.60	0.37	0.91	-0.37
total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	0.33	-0.06	0.99	0.99	0.99	-0.39	0.47	0.68	0.53	-0.53	0.73	0.66	0.28	0.92	-0.42
PPIX%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.89	-0.79	-0.30	-0.30	-0.30	0.02	-0.41	-0.35	-0.40	-0.16	0.01	-0.02	-0.51	-0.12	-0.23
MGPP%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43	0.40	0.39	0.40	-0.13	0.46	0.39	0.45	0.17	0.07	0.11	0.57	0.14	0.32	
Pchlde%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.07	0.07	0.13	0.20	0.17	0.20	0.08	-0.13	-0.11	0.25	0.06	0.03		
Chlide a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	-0.38	0.50	0.70	0.56	-0.52	0.71	0.64	0.31	0.93	-0.41			
Chlide b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.45	0.47	0.69	0.53	-0.57	0.72	0.65	0.29	0.94	-0.43				
Chlide a+b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.45	0.47	0.69	0.53	-0.57	0.72	0.64	0.30	0.93	-0.42				
Chlide a/b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-0.45	0.47	0.69	0.53	-0.57	0.72	0.64	0.30	0.93	-0.42				
Phe a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-0.12	0.08	0.65	-0.50	-0.44	0.14	-0.43	0.40						
Phe b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.92	0.99	0.11	-0.24	-0.27	0.91	0.29	0.40							
Phe a+b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.96	-0.29	0.02	-0.08	0.75	0.58	0.07								
Phe a/b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-0.17	-0.22	0.88	0.37	0.32									
Chlide/Phe a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60	-0.41	0.31	-0.73	0.79										
Chlide/Phe b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.97	-0.36	0.76	-0.73											
LPCar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MP Car	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LP/MP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

藍色 5%，綠色 1%，紅色 0.1% 顯著水準

表 11、不同有機耕作年期溫室內及室外田區蔬菜葉片植生指數與敏感波段反射率。

有機栽培年期		溫室				室外
		1	3	5	7	7
青江菜	NDVI ^a	0.429	0.429	0.424	0.393	0.425
	SRVI ^b	2.501	2.502	2.475	2.297	2.477
	NDVI _{Broad} ^c	0.759	0.758	0.766	0.746	0.759
	SRVI _{Broad} ^d	7.282	7.275	7.561	6.881	7.304
小松菜	NDVI	0.531	0.522	0.527	0.442	0.499
	SRVI	3.261	3.186	3.226	2.583	2.993
	NDVI _{Broad}	0.812	0.806	0.815	0.783	0.800
	SRVI _{Broad}	9.649	9.327	9.785	8.202	8.998
蚵仔白菜	NDVI	0.338	0.403	0.396	0.348	0.353
	SRVI	2.021	2.350	2.313	2.069	2.093
	NDVI _{Broad}	0.721	0.751	0.762	0.722	0.738
	SRVI _{Broad}	6.180	7.022	7.399	6.190	6.646

- a. 常態化差異植生指數 $NDVI_N = (NIR-Red)/(NIR+Red) = (R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})$
- b. 簡易比植生指數 $SRVI_N = NIR/Red = R_{750}/R_{705}$
- c. NDVI_B：衛星寬波段之 NDVI 值
- d. SRVI_B：衛星寬波段之 SRVI 值

表 12-1、溫室內外與有機耕作年期土壤特性及元素含量之變方分析。

	酸鹼度	電導度	有機質	有效性 磷	交換性 鉀	交換性 鈣	交換性 鎂
	----- <i>F vaule</i> -----						
溫室內、 外田區	1.05	45.18**	11.21**	25.28**	13.98**	21.15**	42.12**
有機耕作 年期	32.41**	1.95	2.85	1.43	0.78	20.42**	11.53**
溫室內外 × 有機耕作 年期	3.17*	1.63	0.19	1.02	2.90	0.53	1.34

*，**分別代表 0.05 及 0.01 顯著水準。



表 12-2、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量之變方分析。

	鐵	錳	銅	鋅	鎘	鎳	鉻	鉛
	----- <i>F vaule</i> -----							
溫室內、 外田區	13.86**	2.71	25.50**	7.14*	2.65	0.05	0.29	1.75
有機耕作 年期	0.50	6.37**	1.38	9.73**	2.92*	0.36	0.93	1.75
溫室內外 × 有機耕作 年期	0.62	2.25	0.47	0.25	0.38	0.69	0.75	0.67

***，**分別代表 0.05 及 0.01 顯著水準。

表 13-1、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量。

	年期	酸鹼度 1:1	電導度 ---ds/m---	有機質 ---%---	有效性 磷	交換性 鉀	交換性 鈣	交換性 鎂
室外	1	4.37c*	0.13e	2.58d	67c	107bc	594d	191e
	3	5.13b	0.19cde	3.24abcd	52c	184ab	1097c	255de
	5	5.20b	0.17de	3.25abcd	96bc	211a	1035c	282d
	7	5.81a	0.13e	3.01cd	104abc	216a	1446b	302cd
溫室	1	4.90b	0.27abc	3.14bcd	131ab	131abc	1009c	281d
	3	5.09b	0.25bcd	4.17ab	143ab	95bc	1283bc	385b
	5	5.00b	0.36a	4.31a	133ab	76c	1447b	375bc
	7	5.89a	0.29ab	3.78abc	152a	110bc	1812a	487a

*同一欄內字母相同者為鄧式新多變域測驗未達顯著差異($p=0.05$)。



表 13-2、溫室內外與不同有機耕作年期土壤特性及元素含量。

	年期	鐵	錳	銅	鋅	鎳	鉻	鉛	
									-----mg kg ⁻¹ -----
室外	1	424ab*	9.6b	2.18ab	3.9d	0.000b	1.13a	0.21a	4.31a
	3	479a	18.2b	2.35a	5.9cd	0.004b	2.10a	0.55a	3.71ab
	5	420ab	23.0b	2.07ab	6.7bc	0.000b	1.63a	0.37a	4.02ab
	7	410abc	51.6a	1.82abc	9.0ab	0.010ab	2.16a	0.73a	3.20b
溫室	1	339bc	12.8b	1.61bc	6.0cd	0.002b	1.88a	0.58a	3.46ab
	3	328bc	20.0b	1.44c	8.1abc	0.012ab	1.41a	0.18a	3.62ab
	5	290c	14.4b	1.37c	7.7abc	0.004b	2.11a	0.71a	3.7ab
	7	358abc	25.0b	1.32c	10.2a	0.024a	1.97a	0.82a	3.22ab

*同一欄內字母相同者為鄧式新多變域測驗未達顯著差異($p=0.05$)。

附表 1、紅光與近紅外光相關植生指數方程式[†]

Abbreviation	Name	Vegetation Index	Reference
NDVI	Normalized difference vegetation index	$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
SRVI	Simple ratio vegetation index	$\text{SRVI} = \frac{\text{NIR}}{\text{RED}}$	Jordan (1969)
SAVI	Soil adjusted vegetation index	$\text{SAVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED} + L} (1 + L)$	Huete (1988)
TSAVI	Transformed soil adjusted vegetation index	$\text{TSAVI} = \frac{a(\text{NIR} - a\text{RED} - b)}{\text{RED} + a\text{NIR} + ab}$	Baret <i>et al.</i> (1989)
SAVI ₂	Soil adjusted ratio vegetation index	$\text{SAVI}_2 = \frac{\text{NIR}}{\text{RED} + b/a}$	Major <i>et al.</i> (1990)
PVI	Perpendicular vegetation index	$\text{PVI} = \frac{\text{NIR} - a\text{RED} - b}{\sqrt{1 + a^2}}$	Richardson and Wiegard (1977)
DVI	Difference vegetation index	$\text{DVI} = \text{NIR} - \text{RED}$	Tucker (1979b)
1DL_DGVI	First-order derivative green vegetation index derived using local baseline	$1\text{DL_DGVI} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_n} \rho'(\lambda_i) - \rho'(\lambda_1) \Delta\lambda_i$	Elvidge and Chen (1995)
1DZ_DGVI	First-order derivative green vegetation index derived using zero baseline	$1\text{DZ_DGVI} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_n} \rho'(\lambda_i) \Delta\lambda_i$	Elvidge and Chen (1995)
2DZ_DGVI	Second-order derivative green vegetation index derived using zero baseline	$2\text{DZ_DGVI} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_n} \rho''(\lambda_i) \Delta\lambda_i$	Elvidge and Chen (1995)

[†] The *a* (gain) and *b* (offset) are derived from the NIR vs. RED rock-soil baseline. The L term (soil adjustment factor) in the SAVI ranges from 0 to 1 and is typically set to 0.5.

DGVI legend : *i* = band number ; λ_i = center wavelength at the *i*th band ; $\lambda_1 = 626$ nm ; $\lambda_n = 795$ nm ; ρ = reflectance ; ρ' = first derivative reflectance ; ρ'' = second derivative reflectance.

(Elvidge and Chen, 1995)

附表 2、不同有機耕作年期溫室內及室外田區晴天正午日照度以及紫外線強度。

有機栽培年期	照度	紫(外)光波長				
		450 nm	405 nm	300 nm	254 nm	
	--LUX--	----- $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ -----				
溫室	1	25000	470	5670	1810	0
	3	22700	500	5690	2100	0
	5	21200	490	5840	2090	0
	7	19200	510	5860	1980	0
室外	7	44100	670	7840	2930	10



參考文獻

- 李春明，熊淑萍，趙巧梅，楊穎穎，馬新明。(2008)。有機無機肥配施對小麥冠層結構、產量和蛋白質含量的影響。中國農業科學，41(12):4287-4293。
- 林安秋。(1984)。作物之光合作用。臺灣商務印書館股份有限公司。台灣、台北。
- 劉素紅、劉新會、侯娟、遲光宇、崔保山。(2007)。植物光譜應用於白菜銅脅迫響應研究。中國科學，E輯：技術科學，37(5):693-699。
- 劉暢，唐國勇，童成立，夏海鰲，蔣平，林蘊華。(2008)。不同施肥措施下亞熱帶稻田土壤碳、氮演變特徵及其耦合關係。應用生態學報19(6):1489-1493。
- 劉建玲，廖文華，王新軍，賈可，孟娜。(2006)。大量施用磷肥和有機肥對白菜產量和土壤磷積累的影響。中國農業科學，39(10):2147-2153。
- 徐明崗、于榮、孫小鳳、劉驊、王伯仁、李菊。(2006)。長期施肥對我國典型土壤活性有機質及碳庫管理指數的影響。植物營養與肥料學報，(4):459-465。
- 申雍、李佩玲。(1998)。應用 SPOT 衛星影像區分水稻旱害等級與受災範圍之初步研究。中華農業氣象，5:203-208。
- 安婷婷、汪景寬、李雙異、于樹、朱平。(2008)。施用有機肥對黑土團聚體有機碳的影響。應用生態學報，19(2):360-373。
- 眭曉蕾、毛勝、王立浩、張寶璽、張振賢。(2007)。弱光條件下辣椒幼苗葉片的氣體交換和葉綠素螢光特性。園藝學報，34(3):615-622。
- 黃國楨、王韻皓、焦國模。(1996)。植生指標於 SPOT 衛星影像之研究。臺灣林業。22(1):45-52。
- 楊秋忠。(1988)。坡地紅壤有機腐植質之增進。土壤肥料試驗報告。
- 楊純明。(1999)。光譜遙測在精準農業之應用。衛星資訊與精準農業作物生產系統研討會。
- 楊棋明、陳建璋、周昌弘。(2000)。地震崩塌地之生態研究：以衛星遙測與灰預

測理論分析先鋒植被之恢復速度與空間分布。中央研究院「九二一災後重建相關研究計畫」執行報告書。第 65~87 頁。

蔡永暉。(2002)。「有機農業 14 年試驗成果報告」，高雄區農業專訊，42:15-16

蔡永暉、張耘誠、徐卉明。施肥對設施有機蔬菜穩定生產及土壤性質之影響研究
高雄區農業改良場研究彙報，15(3):13-31。

郭士魁。1997。土壤學。之宜出版社。修訂八版。p127-157。

陳昶璋、許明晃、黃盟元、楊志維、楊棋明、黃文達。2008。關渡自然保留區蘆葦對土壤有機碳庫影響之研究。中華民國雜草學會會刊。

陳尊賢、許正一、蔡呈奇。(1998)。台灣農地土壤有機碳儲存量及其在永續性土壤管理系統之應用。土壤與環境，1:295-306。

許明晃。(2003)。甘藷葉片色素含量與反射光譜關係之研究。國立台灣大學農藝學系博士論文。

鍾仁賜。有機肥料對作物品質的影響。(1998)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告「台灣土壤生態及生產力增進之研究」。
<http://140.112.114.62/handle/246246/29596>。

曹林奎、陸貽通、林瑋。(2001)。生物有機肥料對溫室蔬菜硝酸鹽和土壤鹽分累積的影響。農村生態環境，17(3):45-47。

行政院農業委員會農糧署有機農業全球資訊網。(2009)。台灣有機農業面積歷年統計資料。<http://info.organic.org.tw/supergood/front/bin/home.phtml>。

Adams, M. L., Norvell, W. A., Peeverly, J. H. and Philpot, W. D. (1993) Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: Effect of leaf age and choice of leaflet. Plant and Soil 155/156:235-238.

Al-Abbas, A. H., Barr, R., Hall, J. D., Crane, F. L. and Baumgardner, M. F. (1974) Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. Agron. J. 66:16-20.

- Arnon, D. J. (1969) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24:1-5.
- Balesdent, J. and M. Balabane. 1992. Maize root-derived soil organic carbon estimated by natural ¹³C abundance. *Soil Biol. Biochem.* 24, 97-101
- Baret, F., Champion, I., Guyot, G. and Podaire, A. (1987) Monitoring wheat canopies with high spectral resolution radiometer. *Remote Sens. Environ.* 22:367-378.
- Baret, F., Jacquemoud, S. and Guyot, G. (1992) Modeled analysis of the biophysical nature of spectral shift and comparison with information content of broad bands. *Remote Sens. Environ.* 41:133-142.
- Bauer, M. E. (1975) The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. *Adv. Agron.* 27:271-304.
- Benedetti, H. M. and Swidler, R. (1961) Nondestructive method for estimating chlorophyll content of leaves. *Science* 133:2015-2016.
- Benedetti, R. and Rossini, R. (1993) On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sens. Environ.* 45:311-326.
- Bernard, R., Martin, P., Thony, J. L., Vauclin, M. and Vidal-Madjar, D. (1982) A C-band radar calibration for determining soil moisture. *Remote Sens. Environ.* 12:189-200.
- Blackmer, T. M., Schepers, J. S., Varvel, G. E. and Walter-Shea, E. A. (1996) Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agron. J.* 88:1-5.
- Buschmann, C. and Nagel, E. (1993) In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *Int. J. Remote Sens.* 14:711-722.
- Carter, G. A. (1993) Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. *Am. J. Bot.*

80:239-243.

Carter, G. A. (1994) Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicator of plant stress. *Int. J. Remote Sens.* 15:697-703.

Chappelle, E. W., Kim, M. S. and McMurtrey III, J. E. (1992) Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a chlorophyll b, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sens. Environ.* 39:239-247.

Chen, C. C., M. Y. Huang, W. D. Huang, Y. W. Wang, M. H. Hsu and C. M. Yang. (2007a) Effects of silver-grass and vetiver on soil carbon pools. (in Chinese) *Weed Sci. Bull.* 28:131-140.

Chen, J. H., H. F. Tsai and Y. W. Lin. (2004) Evaluation of the suitability of three analysis methods for determining organic matter contents in fertilizers. (in Chinese) *Taiwanese J. Agric. Chem. Food Sci.* 42:116-124.

Choudhury, B. J. (1994) Synergism of multispectral satellite observations for estimating regional land surface evaporation. *Aven. Am.* 49:264-274.

Choudhury, B. J., Schmugge, T. J., Newton, R. W. and Chang, A. (1979) Effect of surface roughness on the microwave emission from soils. *J. Geophys. Res.* 84:5699-5706.

Cihlar, J., St. Laurent, L. and Dyer, J. A. (1991). Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. *Remote Sens. Environ.* 35:279-298.

Curran, P. J., Dungan, J. L., Macler, B. A. and Plummer, S. E. (1991) The Effect of a red leaf pigment on the relationship between red edge and chlorophyll concentration. *Remote Sens. Environ.* 35:69-76.

Dalal, R. C. and Henry, R. J. (1986) Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil*

- Sci. Soc. Am. J. 50:120-123.
- Danks, S. M., Evans, E. H. and Wittaker, P. A. (1983) *Photosynthetic Systems. Structure Function and Assembly*, Wiley, New York.
- Diane Bourn and John Prescott (2002) A Comparison of the Nutritional Value, Sensory Qualities, and Food Safety of Organically and Conventionally Produced Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(1):1–34
- Elvidge, C. D. and Chen, Z. (1995) Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 54:38-48.
- Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A. and Massantini, F. (1993) Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in corn leaves. *Eur. J. Agron.* 2:113-117.
- Fuchs, M. (1990) Canopy thermal infrared observations In: *Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions* (ed. by Goel, N. S. and Norman, J. M.). pp.323-333. Harwood Acad.
- Gardner, B. R. and Blad, B. L. (1986) Evaluation of spectral reflectance models to estimate corn leaf area while minimizing the influence of soil background effect. *Remote Sens. Environ.* 20:183-193.
- Gierloff-Emden, H. G. (1989) *Fernerkundungs-Kartographie mit Satelliten–Aufnahmen*, p. 588. Deuticke, Wien.
- Gilabert, M. A., Seggara, D. and Melia, J. (1990) A simplified algorithm for the evaluation of frost-affected citrus, application of chlorophyll fluorescence. Lichtenthaler, H. K. ed. pp.273-284.
- Gitelson, A. A. and Merzlyak, M. N. (1994a) Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *J. Plant Physiol.* 143:286-292.

- Gitelson, A. A. and Merzlyak, M. N. (1994b) Quantitative estimation of Chlorophyll a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *J. Photochem. Photobiol. (B)* 22:247-252.
- Gitelson, A. A. and Merzlyak, M. N. (1996) Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *J. Plant Physiol.* 148:494-500.
- Gitelson, A. A. and Merzlyak, M. N. (1997) Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *Int. J. Remote Sens.* 18:2691-2697.
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N. and Lichtenthaler, H. K. (1996) Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700 nm. *J. Plant Physiol.* 148:501-508.
- Glowa, W., (1974) Zirconium dioxide and cupric sulphate-new catalyst in the Kjeldahl method for total nitrogen determination. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists* 57, 5:1228–1230.
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., Clark, C. D. and Ellis, A. C. (1997) Estimating leaf area index of mangroves from satellite data. *Aquat. Bot.*
- Hardwick, K. and Baker, N. R. (1973) In vivo measurement of chlorophyll content of leaves. *New Phytol.* 72:51-54.
- Henderson, T. L., Baumgardner, M. F., Franzmeier, D. P., Stott, D. E. and Coster, D. C. (1992) High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:865-872.
- Henderson, T. L., Szilagy, A., Baumgardner, M. F., Chen, C. C. T. and Landgrebe, D. L. (1989) Spectral band selection for classification of soil organic matter content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1778-1784.
- Hendry, G. A. F., Houghton, J. D. and Brown, S. B. (1987) The degradation of chlorophyll – a biological enigma. *New Phytol.* 107:255-302.

- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D. (2005) Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122:113–130
- Holm, G. (1954) Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agric. Scand.* 4:457-461.
- Hsu, M. H., Huang, W. D., Yang, Z. W., Tsai, Y. Z., Yang, C. M. and Chang, S. S. (2003) Study on the chlorophyll biosynthetic and degradative pathway in the leaves of three sweet potatoes. *Chinese Agron. J.* 13:87-98.
- Huete, A. R. (1987) Soil dependent spectral response in a developing plant canopy. *Agron. J.* 79:61-68.
- Inada, K. (1964) Studies on a method for the determining the deepness of green color and chlorophyll content of intact crop leaves and its practical application. 1. Principal for estimating the deepness of green color and chlorophyll content of whole leaves. *Proc. Crop. Sci. Soc. Japan* 32:301-308.
- Inoue, Y. (1990) Remote detection of physiological depression in crop plants with infrared thermal imagery. *Jap. J. Crop. Sci.* 59:762-768.
- Inoue, Y., Morinaga, S. and Shibayama, M. (1993) Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. *Jap. J. Crop. Sci.* 62: 462-469.
- Jackson, R. D. (1982) Canopy temperature and crop water stress. *Adv. Irrig.* 1:43-85.
- Jakubauskas, M., Lulla, K. P. and Mausel, P. W. (1990) Assessment of vegetation change in a fire-altered forest landscape. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 56:371-377.
- Johnson, J. M. F., R. R. Allmaras and D. C. Reicosky. (2006) Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agron. J.* 98:622-636.
- Kahn, V. M., N. Avivi-Bieise and Wettstein, D. von (1976) Genetic regulation of

- chlorophyll synthesis analyzed with double mutants in barley. In: Genetics and Biogenesis of Chloroplasts and Mitochondria. (ed. by Bhuchler, T.). pp.119-131. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam.
- Kanemasu, E. T. (1974) Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum, and soybean. *Remote Sens. Environ.* 3:43-47.
- Kanemasu, E. T., Demetradis-Shah, T. H., Su, H. and Lang, A. R. G. (1990) Estimating grassland biomass using remotely sensed data. In: Applications of remote sensing in agriculture. (ed. by Steven, M. D. and Clark, J. A.). pp.185-199. Butterworths.
- Kano, Y., McClure, W. E. and Skaggs, R. W. (1985) A near infrared reflectance soil moisture meter. *Trans. ASAE* 28:1852-1855.
- Krishnan, P., Alexander J. D., Butler, B. J. and Hummel, J. W. (1980) Reflectance technique for predicting soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1282-1285.
- Leblon, B., Guerif, M. and Baret, F. (1991) The use of remotely sensed data in estimation of PAR use efficiency and biomass production of flooded rice. *Remote Sens. Environ.* 38:147-158.
- Lemus, R. and R. Lal. 2005. Bioenergy crops and carbon sequestration. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24:1-21.
- Liang, B. C., X. L. Wang and B. L. Ma. 2002. Maize root-induced change in soil organic carbon pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 845-847.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods Enzymol.* 148: 350-382.
- Lichtenthaler, H. K., Gitelson, A. A. and Lang, M. (1996) Non-destructive determination of chlorophyll concentration of leaves of a green and an aurea mutant of tobacco by reflectance measurements. *J. Plant Physiol.* 148:483-493.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1994) Remote sensing and image interpretation.

3rd ed. John Wiley & Sons.

- Ma, B. L., Morrison, M. J. and Dwyer, L. M. (1996a) Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. *Agron. J.* 88:915-920.
- Maas, S. J. (1998) Estimating cotton canopy ground cover from remotely sensed scene reflectance. *Agron. J.* 90:384-388.
- Macnicol, P. K., Dudzinski, M. L. and Condon, B. N. (1976) Estimation of chlorophyll in tobacco leaves by direct photometry. *Ann. Bot.* 40:143-152.
- Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U.. (2002) Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science*, 296(5573):1694-7.
- Magkos F., Arvaniti F., and Zampelas A. (2003) Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence. *Int. J. Food Sci. Nutr.*;54(5):357-71.
- Majumder, B., B. Mandal and P. K. Bandyopadhyay. (2008) Soil organic carbon pools and productivity in relation to nutrient management in a 20-year-old rice–berseem agroecosystem. *Biol. Fertil. Soils* 44:451-461.
- Malanson, G. P. and Trabaud, L. (1987) Post-fire development of canopy structure in a Mediterranean shrub, *Quercus coccifera* L. *Phys. Geogr.* 8:105-110.
- Masoni, A., Ercoli, L. and Mariotti, M. (1997) Spectral properties of leaves deficient in iron, Sulfur, Magnesium, and Manganese. *Agron. J.* 88:937-943.
- Matile, P., Duggelin, T., Schellenberg, M., Rentsch, D., Bortlik, K., Peisker, C. and Thomas, H. (1989). How and why is chlorophyll broken down in senescent leaves? *Plant Physiol. Biochem.* 27:595-604.
- Matile, P., Flach, B. M. -P. and Eller, B. M. (1992a) Autumn leaves of *Ginkgo biloba* L.: Optical properties, pigments and optical brighteners. *Bot. Acta* 105:13-17.
- Milton, N. M., Eiswerth, B. A. and Ager, C. M. (1991) Effect of phosphorus deficiency on spectral reflectance and morphology of soybean plants. *Remote*

Sens. Environ. 36:121-127.

Milton, N. M., Ager, C. M., Eiswerth, B. A. and Power, M. S. (1989) Arsenic- and selenium-induced changes in spectral reflectance and morphology of soybean plants. *Remote Sens. Environ.* 30:263-269.

Mitchell A. E., Hong Y. J., Koh E., Barrett D. M., Bryant D. E., Denison R. F., Kaffka S.. (2007) Ten-Year Comparison of the Influence of Organic and Conventional Crop Management Practices on the Content of Flavonoids in Tomatoes. *J Agric Food Chem.* 55(15):6154-9

Mojarro, F. (1988) Analysis of the effect of water, nitrogen and weather on growth, grain yield, biomass production and light use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Ph. D. dissertation, Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Nelson, A. J. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *Methods of Soil Analysis. Part 2.* 2nd. ed, p. 539-579. *In:* A. L. Page, R. H. Miller, and D. T. Keeney. (Eds.) *Agron. Monogr.* 9. SSSA and ASA Press, Madison, WI, USA.

Netto, A. T. , E. Campostrini, J. Gonc, A. D. Oliveira, R. E. Bressan-Smith. 2005. *Scientia Horticulturae* 104 (2005) 199–209

Oechel, W. C. and Reid, C. D. (1984) Photosynthesis and biomass of chaparral shrubs along fire-induced age gradient in southern California. *Bull Soc. Bot. For.* 131:399-409.

Paulo Cezar Rezende Fontes and Charles de Araujo.(2006).Use of a chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. *Journal of Applied Horticulture*, 8(1): 8-11

Peñuelas, J. R., Gamon, J. A., Griffin, K. L. and Field, C. B. (1993) Assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic

- efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sens. Environ.* 46:110-118.
- Peñuelas, J. R., Filella, I. I. And Araus, J. L. (1997) Visible and near-infrared reflectance assessment of salinity effects on barley. *Crop Sci.* 37:198-202.
- Peterson, D. L., Spanner, M. A., Running, S. W. and Teuber, K. B. (1987) Relationships of thematic mapper simulation data to leaf area index of temperate coniferous forests. *Remote Sens. Environ.* 22:323-341.
- Pollock, R. B. and Kanemasu, E. T. (1979) Estimating leaf area index of wheat with Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 8:307-312.
- Porra, R. J., Thompson, W. A. and Kriedelman, P. E. (1989) Determination of accurate extraction and simultaneously equation for assaying chlorophyll a and b extracted with different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochem. Biophys. Acta* 975:384-394.
- Prevot, L., Champion, I. And Guyot, G. (1993) Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using dual-frequency (C and X bands) scatterometer. *Remote Sens. Environ.* 46:331-339.
- Price, J. C. and Bausch, W. C. (1995) Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote Sens. Environ.* 52:55-65.
- Richert, M., S. Saarnio, S. Juutinen, J. Silvola, J. Augustin and W. Merbach. (2000) Distribution of assimilated carbon in the system *Phragmites australis*-waterlogged peat soil after carbon-14 pulse labeling. *Biol. Fertil. Soils* 32:1-7.
- Sá, J. C. M., C. C. Cerri, W. A. Dick, R. Lal, S. P. Venske Filho, M. Piccolo and B. E. Feigl. 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1486-1499.
- Shioi, Y. and Sasa, T. (1986) Purification of solubilized chlorophyllase from *Chlorella*

- protothecoides. *Methods Enzymol.* 123:421-427.
- Specht, R. L. (1981) Primary productivity in Mediterranean-climate ecosystems regenerating after fire. In: Mediterranean-type shrublands (ed. by Castri, D. W. F. and Specht, R. L.). pp.257-267. Elsevier, Amsterdam.
- Stewart, C. E., K. Paustian, R. T. Conant, A. F. Plante and J. Six. 2007. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry* 86:19-31.
- Sudduth, K. A. and Hummel, J. W. (1993) Soil organic matter, CEC, and moisture sensing with a portable NIR spectrophotometer. *Trans. ASAE* 36:1571-1582.
- Gomiero, T. Paoletti, M. G., and Pimentel, D. (2008) Energy and Environmental Issues in Organic and Conventional Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27:239–254
- Takano, Y. and Tsundo, S. (1970) Light reflection, transmission, and absorption rates of rice leaves in relation to their chlorophyll and nitrogen content. *Tohoku J. Agric. Res.* 21:111-117.
- Thenkabail, P. S., Ward, A. D. and Lyon, J. G. (1994) Impacts of agricultural management practices on soybean and corn crops evident in ground-truth data and thematic mapper vegetation indices. *Trans. ASAE* 37:989-995.
- Thomas, J. R. and Gausman, H. W. (1977) Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. *Agron. J.* 69:799-802.
- Tucker, C. J. (1979a) Monitoring corn and soybean development with hand-held radiometer spectral data. *Remote Sens. Environ.* 8:237-248.
- Ulaby, F. T., Batlivala, P. P. and Dobson, M. C. (1978) Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture; Part I-Bare soil. *IEEE Trans. Geosci. Electronics* GE-16:286-295.
- Ulaby, F. T., Cihlar, J. and Moore, R. K. (1974) Active microwave measurements of soil water content. *Remote Sens. Environ.* 3:185-203.

- Ulaby, F. T., Dobson, M. C. and Brunfeldt, D. T. (1983) Improvement on soil moisture estimation accuracy of vegetation-covered soil by combined active/passive remote sensing. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* GE-21:300-307.
- Viedma, O., Melia, J., Segarra, D. and Garcia, H. J. (1997) Modelling rates of ecosystem recover after fires by using Landsat TM data. *Remote Sens. Environ.* 61:383-398.
- Walsh, A., The application of atomic absorption spectra to chemical analysis, *Spectrochim. Acta*, 7 (1955), 108-117; erratum, *ibid.*, p. 252.
- Worthington, V. (2001) Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables, and Grains. *J. Altern. Complement Med.* 7(2):161-73.
- Walburg, G., Bauer, M. E., Daughtry, C. S. and Housley, T. L. (1982) Effects of nitrogen on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn. *Agron. J.* 74:677-683.
- Wallihan, E. F. (1973) Portable reflectance meter for estimating chlorophyll concentrations in leaves. *Agron. J.* 65:659-662.
- Whittaker, R. H. and Marks, P. L. (1975) Methods of assessing terrestrial productivity.
- Wu, J. , Wang D. , Rosen, C. J., Bauer M. E.. (2007) Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. *Field Crops Research* 101: 96–103
In: *Primary Productivity of the Biosphere* (ed. by Lieth, H. and Whittaker, R. H.). pp.55-118. Springer-Verlag, New York.
- Yang, C. M., Chang, K. W., Yin, M. H. and Huang, H. M. (1998) Methods for the determination of the chlorophylls and their derivatives. *Taiwania* 43:116-122.
- Yang, C. M., Chen, J. C., Peng, L. L., Yang, J. S. and Chou C. H. (2002a) Chi-Chi earthquake-cause landslide: grey prediction model for pioneer vegetation recovery monitored by satellite images. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 43:69-75.

Yoder, B. J. and Pettigrew-Crosby, R. E. (1995) Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sens. Environ.* 53:199-211.

