

# 植物 營養學

Plant Nutrition

| 張則周 著 |





# Plant Nutrition

要了解人的營養，必須要認識植物的生產與營養，因為人類的食物主要來自默默奉獻的植物；不幸的是，現代社會為了拚經濟，卻忽視了生態環境，不但殘害植物，破壞生態，同時也犧牲了人類的安全與健康。又因政府缺乏國土整體規劃，工業用地不斷增加，農地不斷縮小，加以全球氣候變遷造成糧食危機，更為臺灣帶來隱憂。

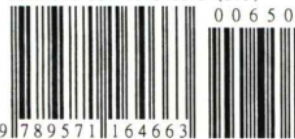
筆者有感於我們每日所吃的食物越來越不安全，而且越來越多仰賴進口，以一位站在多年來從事「植物營養學」研究者的立場，有義務也有責任把這一事實揭露，讓大眾提高警覺，並督促政府及早制定合乎永續發展的農業政策，徹底解決全民賴以生存的食的問題。

本書希望揭開「植物營養學」學術面紗，除了整合有系統的知識，供研習植物營養學的學生及農業生產者或研究者參考外，更希望一般民眾能透過本書對和我們生活息息相關的植物生產與營養有深入了解。並體會到唯有在一個理想的環境與社會，植物的營養與人的營養健康才有保障。



五南文化事業

ISBN 978-957-11-6466-3 (373)



9 789571 164663

0 0 6 5 0

五南圖書出版公司

# 植物營養學

Plant Nutrition

張則周 著

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

植物營養學 = Plant nutrition / 張則周著.

——二版. ——臺北市：五南，2011.11

面：公分

ISBN 978-957-11-6466-3 (平裝)

1. 植物生理學 2. 營養

373.14

100020027



5P14

## 植物營養學

作 者 / 張則周 (206.3)

發行人 / 楊榮川

總編輯 / 龐君豪

主 編 / 王俐文

責任編輯 / 林宛瑤 許杏釗 陳俐君

封面設計 / 斐類設計工作室

出版者 / 五南圖書出版股份有限公司

地 址 / 106 台北市大安區和平東路二段 339 號 4 樓

電 話 / (02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址 / <http://www.wunan.com.tw>

電子郵件 / [wunan@wunan.com.tw](mailto:wunan@wunan.com.tw)

劃撥帳號 / 01068953

戶 名 / 五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市中國區中山路6號

電 話 / (04)2223-0891 傳 真 / (04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電 話 / (07)2358-702 傳 真 / (07)2350-236

法律顧問 / 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 / 2008 年 9 月初版一刷

2011 年 11 月二版一刷

定 價 / 新臺幣 650 元

# 作者簡介

## 張則周

### \*現職

臺灣大學農業化學系兼任教授  
板橋社區大學主任

### \*學歷

臺灣大學農學博士  
臺灣大學農業化學研究所植物營養組碩士  
臺灣大學農業化學系土壤肥料組學士

### \*經歷

臺灣大學農業化學系助教、講師、副教授、教授  
四一〇教育改造聯盟首屆召集人  
環保署及台北縣環保局環評委員暨公害糾紛裁決委員

### \*曾授課程

植物營養學、高等植物營養學、肥料學、土壤學、作物施肥法、植物對離子的攝取與轉運，退休後繼續開授通識課——生命與人

### \*研究重點

植物 / 作物營養調節

曾於1980-1981年赴國際肥料發展中心（IFDC）參與研製緩效性氮肥

植物細胞膜對離子吸收之機制

退休後積極鑽研人文與科際整合，繼續參與環境保護、維護農地、國會監督；為青少年爭取免試升入優質公立高中、取消高中文理分流、倡議大學一二年級不分系；為提升公民素質，思考如何發展非正規教育體制的板橋社區大學的特色。並呼籲政府及早制定國土計畫法及合理的農業政策，以保障作物營養調節的效果、安全的糧食產量、優良的農產品品質，以及臺灣農業的永續發展。

### \*著作

《植物營養學》

《打造公民社會必須從教育做起》

《台灣，你要走向何方？人，才是台灣的未來》

《你不可不知的台灣農業》

獻給我敬愛的母親：

她是一位聰慧勤勉的傳統長者，一生吃苦耐勞，全心全意為家庭奉獻。自小雖有強烈的求知慾，但因缺乏學習的機會與環境，她的資質與潛能一直遭到壓抑與淹沒，以至無法活出璀璨的一生！

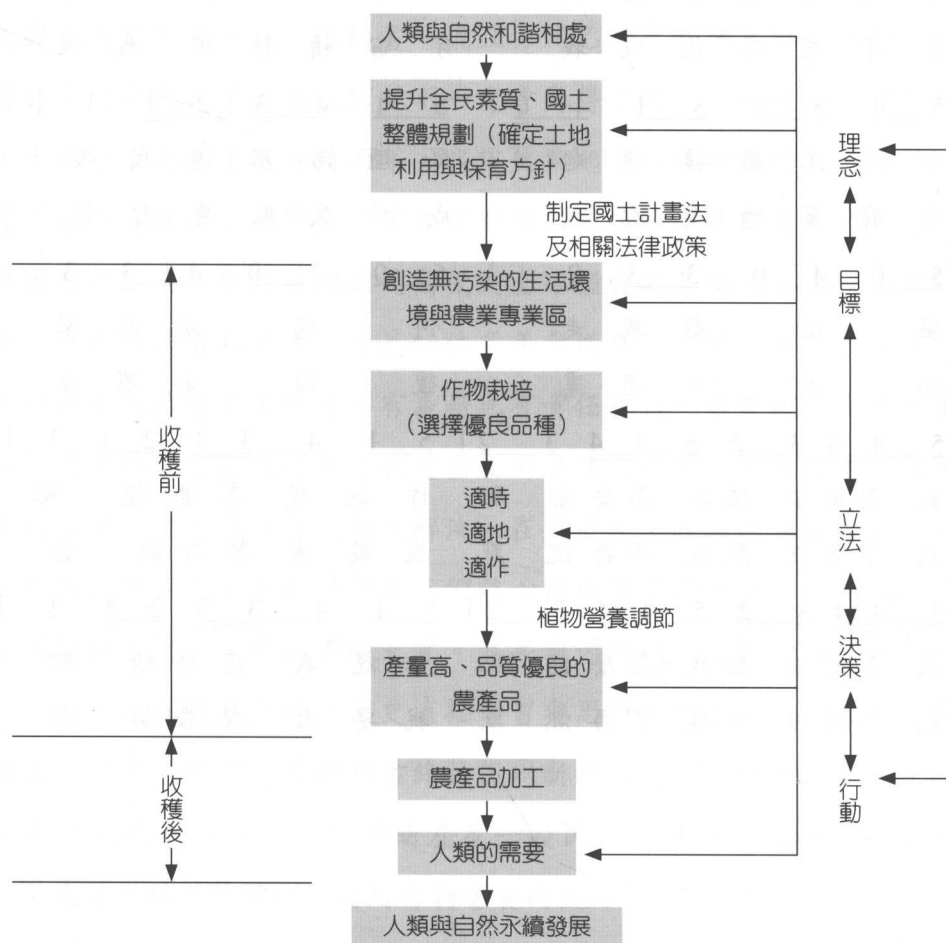
為了使國人不再有這樣的遺憾，我決心在有生之年，盡全力為無法公平獲得知識的人，爭取求知的權利與機會，並審慎地提供淺顯易懂與生活息息相關的知識與訊息，藉此來告慰母親在天之靈。



知識是人類共同的文化資產。唯有知識普及，才能使大多數人都有理解、享用、批判與創新知識的能力與機會，知識也才真正能從掌握權力與提升名位者的工具地位中解放出來！

# 卷頭語

人類的食物主要來自默默奉獻的植物。我們想要吃到有營養的食物，必須要有清潔的水、新鮮的空氣以及沒有污染的土壤。現代社會爲了拼經濟，忽視了生態環境，不但殘害了植物，破壞了生態，同時也犧牲了人類的安全與健康。我們現在都走在這條路上，前面的路應該怎麼走，主要決定於政府與人民的智慧及行動。



環境倫理、國土規劃與農產品品質關係圖



# 我要大聲告訴你

(原名土壤歌)

C4/4Agitato

張則周 詞 / 譜

5 4 3 5 4 3 2 | 4 3 2 4 3 2 1 |  
你 說 我 土 我 真 土 你 說 我 肥 我 不 肥  
你 說 我 土 我 不 土 你 說 我 肥 我 真 肥

5 5 6 5 4 3 2 0 | 5 5 2 4 3 02 1· 0 |  
水 稻 收 穫 雜 糧 種 一 年 四 季 忙 不 停  
億 年 岩 石 化 成 我 宇 宙 精 髓 被 我 吸

5 4 3 2 5 1 4· 0 | 5 1 4· 3 2· 1 1 |  
如 今 工 廠 接 連 起 黑 煙 污 水 迫 我 吸  
孕 育 萬 物 要 看 我 成 功 失 敗 要 看 你

5 0 4 0 3· 3 2 | 5 0 1 0 4· 3 3 |  
風 雨 趕 我 走 何 處 是 我 家  
今 天 不 遠 慮 後 悔 來 不 及

5 4 4 3 2 5 4 4 3 2 | 5 1 4 3 3 2· 1 1 |  
我 怎 麼 能 肥 我 怎 麼 能 肥 你 說 我 怎 麼 能 肥  
我 不 再 沉 默 我 不 再 沉 默 我 要 大 聲 告 訴 你

5 4 4 3 2 5 4 4 3 2 | 5 1 4 3 3 2· 2 1 |  
我 怎 麼 能 肥 我 怎 麼 能 肥 你 說 我 怎 麼 能 肥  
我 不 再 沉 默 我 不 再 沉 默 我 要 大 聲 告 訴 你

# 序

很高興這本書終於能與讀者以新的面貌見面，同時也覺得對社會大眾盡了一份責任！記得張仲民教授，在退休前曾鼓勵筆者在精力還充沛的時候，最好把所教所學的《植物營養學》寫成一本書。但是筆者總覺得有很多師長與先進更有資格寫這樣的書，況且坊間已經有好幾本與《植物營養學》有關的中文參考書了，我來寫並不一定會寫得更周延。這樣一晃十五年過去了，十年前，也就是退休前兩年，我突然興起了一種強烈的寫書念頭，為了修習「植物營養學」的學生之需要及提供研習植物營養朋友們的參考，固然是原因之一，最主要的原因則是驚覺到全球糧食的危機，而海峽兩岸耕地卻日益減少及持續遭到污染。身為一位多年來從事「植物營養學」研究及關心兩岸社會發展的農業工作者，有義務也有責任把這一事實披露出來，讓大眾提高警覺，積極督促政府早日制定國土計畫法及正確的農業政策，保障全民維生的「食」之問題能得到徹底解決。在將多年來授課的講義編寫成書後，感到實例仍然不足，幸賴學者專家們熱心提供寶貴的資訊、實驗成果，使本書在理論與實用上，得以不斷充實。九年前因緣投入了板橋社區大學的建校迄今，盼望能為民眾提供一個更直接學習與思辨的場域，因此延宕了最後修訂此書的進度。所以當看到此書終於能以新的面貌即將付梓時，心中倍感興奮，希望它也能為社區大學的朋友及一般民眾提供最基本植物營養學的知識，以及另一種從整體理解食用作物營養的觀點。

多年來大學理、工、農、醫，多數的新知是來自國外，教師們多採用英文參考書。在有些英文名詞譯法尚未統一前，學術上的術語也多採用英文在流通。同時學科不斷地在分化，學生所學的越來越專精，知識也日益窄化。又由於各領域中「顯學」的出現，以及必修課教師對學生的要求，寬嚴不

一，有時學生在一個學期只為應付一兩門課已是焦頭爛額，根本沒有餘力去閱讀其他課程的英文參考書。在這樣的狀況下，如果各科教師願意把上課所教內容整理成一本中文書籍，能使學生對課程容易了解、節省閱讀時間，進而產生興趣，則學生自動閱讀其他中英文參考書的意願才有增加的可能。如果這樣的書，一般社會大眾也能看得懂，並從中獲得與切身相關的資訊，知識才能更發揮它原有的功能。

近年來許多自然與社會科學的學者們譯介了許多科普的書籍，對提升民眾科學知識的水平確實有莫大的貢獻。不過相對地，把專業知識與國內環境和生活結合的書籍與報導則顯然不足。由於很多的學者常認為撰寫學術著作，尤其是用英文寫的或是在國外雜誌發表的，遠比用中文寫的通俗讀物更容易受到學界的肯定。因此國內外每年生產幾十萬篇的文獻與專書，都是放在大學或各研究機構的書架上，只能供少數的研究者或學習者之參考。雖然也有人偶爾在媒體上介紹新知，卻只是零星的、片段的，並不能滿足大眾的需求。這樣本屬於人類資產的知識漸與大眾脫節，唯有少數懂得專業知識的人，才能踏入菁英階層、參與公共事務的討論與決策，殊為可惜。有時參與決策者為了「私利」，甚至與行政、立法、媒體結合，刻意藉專業知識之名，誤導一般民眾，使民眾陷入危險而不自知！

大家都了解，塑造一個理想社會，必須靠全體公民知性與人格的成熟與扮演「積極公民」的角色。知識份子能在國家預算拮据、失業率日增的臺灣社會裡，吹著冷氣，安定工作、專心研究、學習、成長，主要是靠勞心與勞力的生產者在默默支援。可是社會中，下層勞動者的成長與生活卻得不到知識份子及掌握權力與資源者的相對回饋！想想看，種植水稻的農民，辛苦一年，最多一甲地也不過淨得一萬元；學校及研究機構購買一臺精密的分析儀器動輒數百萬；參選國會代議士動輒數億；政府任意利用勞退基金、郵政儲金為特定財團紓困，為違規超貸的銀行沖銷呆帳，動輒數千億；強調清廉法治的國會議員，至今卻仍在阻止制定有效防止貪瀆洗錢的「陽光法案」。臺

灣國民所得雖逐年增加，試問農民的耕作技術和生活水準是否已普遍改善？大眾的知識水準及民主素養是否已普遍提升？青少年何時才能快樂地接受優質基礎教育，而免遭升學煎熬？我們居住的環境，是否已實質改進了？國會中的代議士為多數人福祉服務的比例是否逐年增加？民眾對公共事務可獲得多少完整和正確的資訊？民眾每天是否能吃到健康的食物？這些不都是知識份子及居高位者應深切關心與反省，並有責任告知民眾的嗎？

因此我盼望這本書不但能對學習「植物營養學」的學生或在各研究機構研習植物營養的朋友有所幫助，同時更希望大部分的民眾都能看得懂，最少能看懂前三章及最後一章以及附錄的幾篇文章，因為這些內容都與我們的營養與健康有密切的關係，相信讀者會覺得當把學術的面紗揭開，專業知識也並不是那麼艱深，是任何人都可以接近的。而且大部分學者專家研究的知識也是任何人都有權知道的。因為知識就是人類經驗的深化與累積，它與我們的生活是分不開的。所有的知識不過是發覺問題、認識問題與解決問題的過程。哪一個孩子不好奇？哪一個人不希望自己健康？哪一位公民不希望我們的社會逐漸變好？您如果平時願意花一些時間在認識植物上，在了解每日食用的稻穀蔬果上，或是願意翻一翻這本小書，可能會發現一些平時一直在忽略的問題；對一些本來認為是想當然耳的問題，也會產生不同的看法；甚至會發覺不論是解決植物的營養或是人的營養問題，最後都會與政治、教育及價值觀有密切的關係：像我們怎麼才能產生一個賢能負責的政府？怎麼才能選出為全民福祉、認真立法與監督政府的代議士？人類應如何對待人與自然？我們應該怎樣的生活？因為沒有有遠見的政府及無污染的環境，大部分在植物的營養及人的營養上所做的努力，不但目標難以實現，而且常常是一場虛功。根據衛生署今年（2008年）發布的統計資料，臺灣惡性腫瘤連續二十六年高居十大死因之冠，死亡人數首度超過 4 萬人，每 13 分鐘奪走一命。這樣嚴重的事實，一般防癌保健專家們，常把致癌的主要原因歸於國人不良的生活和飲食習慣，而對最根本的社會與環境因子則刻意忽視或很少做積極與深



入的探討，因此掩蓋了政府的疏忽，實在令人失望。想到這裡不由得對多年來從事社會改革及環境保育的朋友們致上最高的敬意。

爲了使本書易懂易讀，盡量使用語體文，又爲了避免過於冗長，割捨了一些章節及實驗例證。只有在第九章爲了介紹國內學者近年來在營養診斷及應用上的成就，用了較多的篇幅。書中最難處理的部分是中文譯名問題，雖然有的名詞已有中文譯名，但譯法尚有爭議，甚至英文名詞亦未統一，例如 3-phosphoglyceraldehyde，也有寫成 glyceraldehyde 3-phosphate，至於 Tricarboxylic acid cycle，又名 Citric acid cycle，也有叫 Krebs cycle，所以中譯名則有三羧酸循環、檸檬酸循環及克列伯氏循環等，如果能統一用 TCA 循環是否容易記憶？固然中文書中夾雜太多英文是不妥的，但在目前的狀況，爲了使讀者容易閱讀及記憶，只得在該名詞第一次出現時盡量用中文附英文及英文縮寫，以後則視情況單獨使用英文，至於罕見之英文人名則直接用英文。這是不得已的做法，請讀者見諒。爲了便於讀者查閱，在附錄中附有中英文名詞對照表。國內正在大力提倡科學，筆者殷切期盼名詞翻譯的問題能早日獲得解決。附錄的幾篇文章則爲筆者近年來對環境及全民健康所提出的幾點淺見，因與植物營養學有密切關係，故附於書後，提供參考。又鑑於臺灣環境日漸惡化，若再不用心保育，徒有植物營養學的知識，亦無濟於事，特將環境倫理、國土規劃與農產品品質關係圖及多年前爲默默孕育萬物的土壤所譜的土壤歌置於卷首，期與讀者共勉。

此書在完稿後承蒙林鴻淇教授在百忙中細心的審閱，李平篤教授對第七章費神逐字檢視在此深表謝忱。本書終於能完成，對張仲民教授多年的叮囑與鼓勵，再一次表示由衷的感謝。

此時，我必須利用這個機會，對直接或間接貢獻於本書的先進與同仁表達最大的謝意：農委會農糧處黃山內處長；農試所農化組郭鴻裕主任、陳琦玲副研究員；臺中區農改場王錦堂股長、蔡宜峰研究員；高雄區改良場羅瑞生副研究員；茶改場林木連場長、蔡俊明助理研究員；中興大學農藝系陳

世雄教授；土環系王銀波教授、莊作權教授、林正鈞教授、申庸教授；屏東科大環工與科學系鄭雙福教授；明道大學精緻農業系陳中教授；農藝系賴光隆教授、沈明來教授、盧虎生教授、曾美倉教授；園藝系張祖亮副教授；生化科技學系蘇仲卿教授、王西華教授、宋賢一教授、楊盛行教授、黃青真教授、莊榮輝教授、王愛玉教授、蕭寧馨教授、楊建志助理教授；農化系洪崑煌教授、王一雄教授、李敏雄教授、陳尊賢教授、鍾仁賜教授、李達源教授、顏瑞泓教授、賴喜美教授、楊光盛兼任副教授、陳建德助理教授、洪傳揚助理教授、陳啓烈博士、陳吉村博士、蘇育菽技正，熱心的提供資訊、文獻、研究成果與寶貴意見、或協助試驗，使本書得以充實，並降低錯誤。

陳聖明及楊灌園兩位助理教授在本研究室進修期間長期協助編輯。八十七年農化系土壤肥料組全體修課同學及助理王秀旬小姐、高至廷同學、張弘儒同學及張仁、張中協助打字、製圖、排版、校對；翁建堯博士及林忠治研究生在解決電腦問題，以及廖秀英小姐在研究室中行政事務上之協助，在此一併致上最大謝意。本書能提早出版，主要是五南圖書出版公司董事長楊榮川先生熱心協助，在此特致謝意。我更要感謝的是吾妻王乃涵，近四十年來的鼓勵與支持才能讓我在專業外，有時間及餘力思考社會深層結構的問題。

最後我必須說的是，這本書的完成應該感謝的人還有很多，包括過去所有啓迪、批評、鼓勵、協助我的：師長、各領域的學者、專家、朋友、學生以及家人們，沒有他們的智慧與愛，這本書不可能以這樣的面貌呈現的。恕我未能一一羅列大名，特在此一併至上最誠摯的敬意與謝意。科學的進步很快，筆者所知有限，如果各位讀者與先進發現書中有任何不妥之處，請惠予批評指正，筆者將於再版時做適當的修正，謝謝！

張則周

# 目錄

<b>第一章</b>	<b>  植物營養學簡介</b> .....	<b>01</b>
	什麼是營養	01
	植物營養學是一門怎樣的科學	03
	植物營養學在農業生產上所處之地位	05
	植物營養學與其他學科之關係	06
	研究植物營養學的方法	07
<b>第二章</b>	<b>  植物營養學發展簡史</b> .....	<b>09</b>
	土和水與植物生長關係的探索期（公元 1700 以前）	11
	空氣與植物生長關係的探索期（公元 1700-1840 年）	15
	礦質營養說確立期（公元 1840-1900 年）	20
	礦質營養說發展期（公元1900-1960年）	23
	生長因子綜合理論期（公元1960-迄今）	25
<b>第三章</b>	<b>  植物生長需要什麼養分？</b> .....	<b>27</b>
	物質與能量的生物循環	27
	植物吸收的元素來自環境	28
	植物的組成成分	30
	植物營養元素之分類	38
	植物需要營養的共同性與差異性	44

第四章	植物對養分的攝取.....	53
	植物攝取養分的器官及途徑	53
	根部對養分的吸收	62
	葉部對養分之攝取	84
	養分通過細胞膜之各種方式	86
第五章	植物體內的物質運輸.....	89
	木質部的運輸	89
	韌皮部的運輸	94
第六章	養分吸收、運輸和環境的關係.....	111
	影響養分吸收的因子	112
	植物對逆境的適應	136
第七章	植物對能的轉換與物質的代謝.....	147
	太陽能的利用與碳的固定	147
	呼吸作用與能量的轉移	181
	植物營養素的代謝	195
第八章	植物生長要怎樣調節營養.....	233
	植物的生長與生長因子	233
	植物各生育期的營養特性	249
	施肥與營養調節	253



第九章		土壤及植體分析與營養診斷 .....	307
		分析前的初步診斷 .....	307
		土壤分析 .....	311
		植體分析 .....	330
		診斷系統在臺灣農業上之應用 .....	355
		營養診斷的前瞻 .....	374
第十章		人的營養和農產品品質 .....	377
		人類需要哪些營養素 .....	377
		人類的食物為什麼有主食與副食之分 .....	379
		農產品的營養品質如何判定 .....	381
		植物營養及農產品品質 .....	394
		怎麼才能吃到安全而又健康的農產品 .....	425
附錄一		怎麼吃才能有營養 .....	429
附錄二		21世紀的顯學：土壤科學 .....	439
附錄三		高品質的農產品才是提升國際競爭力的保障 .....	445
附錄四		政府施政，人民應有參與和監督的機制 .....	463
附錄五		土地利用整體規劃讓人與自然和諧 .....	465
附錄六		動土與棄土，應有整體規劃 .....	467
附錄七		由聯考及有機蔬菜看事實真相 .....	469