

第一章

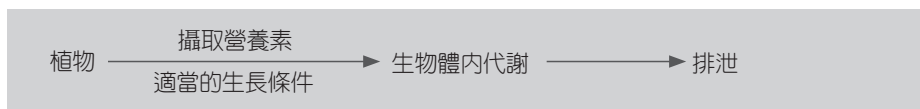
植物營養學簡介

什麼是營養

在說明植物營養學之前，先談一下有關營養的幾個基本概念，以下提出三個問題，首先我們先談什麼是營養及營養素。

營養及營養素

一般人常把營養與營養素混為一談，譬如饅頭，我們只能說它含有營養素（nutrient）或營養物質，但說它有營養則不一定是對的。因為是否有營養應對特定對象而言，如果某人胃腸不好，不適合吃饅頭，那饅頭不但對他無營養，反而會使他的病情加重，所以我們必須清楚地區分營養素與營養。所謂營養素是生物所需或作為食物的任何物質。至於營養（nutrition）則是指生物自其生長環境中攝取營養素，將其代謝以致排泄的全部過程，我們可以圖 1-1 表示。



營養就是這樣的一個過程

圖1-1 營養之示意圖

我們了解了什麼是營養及營養素後，以下將再談談不同的營養形式。

營養形式

由於生物的種類很多，除了本書所著重的植物外，還有動物及微生物。它們的生長與代謝有很多相似的地方，但它們的營養形式則有很大差異。一般常把生物依照營養形式分為兩大類：第一類稱為自營生物（autotroph），第二類稱為異營生物（heterotroph）。

自營生物（autotroph）：是指能利用光（主要為太陽光）或無機的化學能作為能量來源，並能利用無機碳（如二氧化碳）、氮（如硝酸鹽、銨鹽）等作為生物合成的起始物質之任何生物。若能利用光能者，稱為光自營生物（photoautotroph），植物和某些細菌是屬於這一類；若能利用無機物的化學能者，稱為化學自營生物（chemoautotroph），屬於這一類的生物主要為細菌。

異營生物（heterotroph）：只能從有機化合物中獲取碳源及能量，以合成其生物體之物質。所有的動物、許多原生生物、微生物，以及多數的真菌均屬於這一類。

實際上有些生物既是自營又是異營，我們稱其為兼營的（facultative），包括很多細菌以及寄生或食蟲植物。

若從生態學的觀點來看，也可以把自營生物歸屬於初級生產者（primary producer），異營生物歸屬於消費者（consumer），後者又可分為初級、次級等不同等級的消費者。很明顯的，植物是提供異營者食物的最大來源，不同等級的消費者構成食物鏈，人類在目前已是超級消費者了。除了對人有毒或是人不能消化的生物體外，人幾乎可以通吃。最後我們談談與營養有關的第三個問題：植物營養與動物營養有什麼不同？

植物營養與動物營養的差異

由於人是高等動物，又是超級消費者，植物生產與人有密切的關係。為了滿足人的需求，我們應該了解經過演化的過程後，動物與植物營養，除了營養形式不同，還有什麼相異之處。表 1-1 及圖 1-2 做一比較，至於它的深層意義會在以後各章中分別說明。

表1-1 植物營養與動物營養之差異

	植 物	動 物
營養形式	自營生物	異營生物
營養素的大小	顆粒小	顆粒大
營養素的化學能	低	高
代謝傾向	還原	氧化
消化及排泄系統	缺乏	很發達

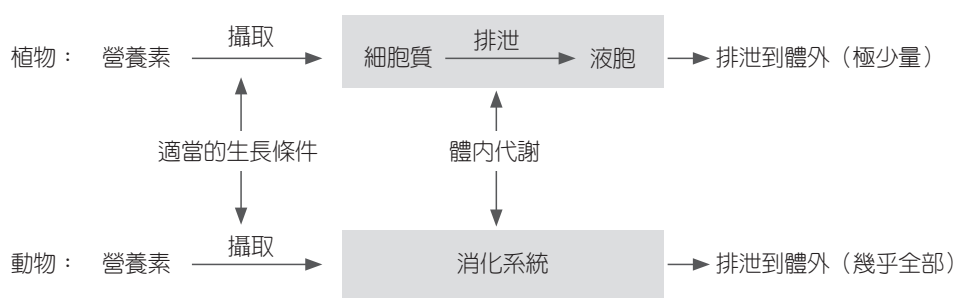


圖1-2 植物與動物在攝取營養及排泄上之差異

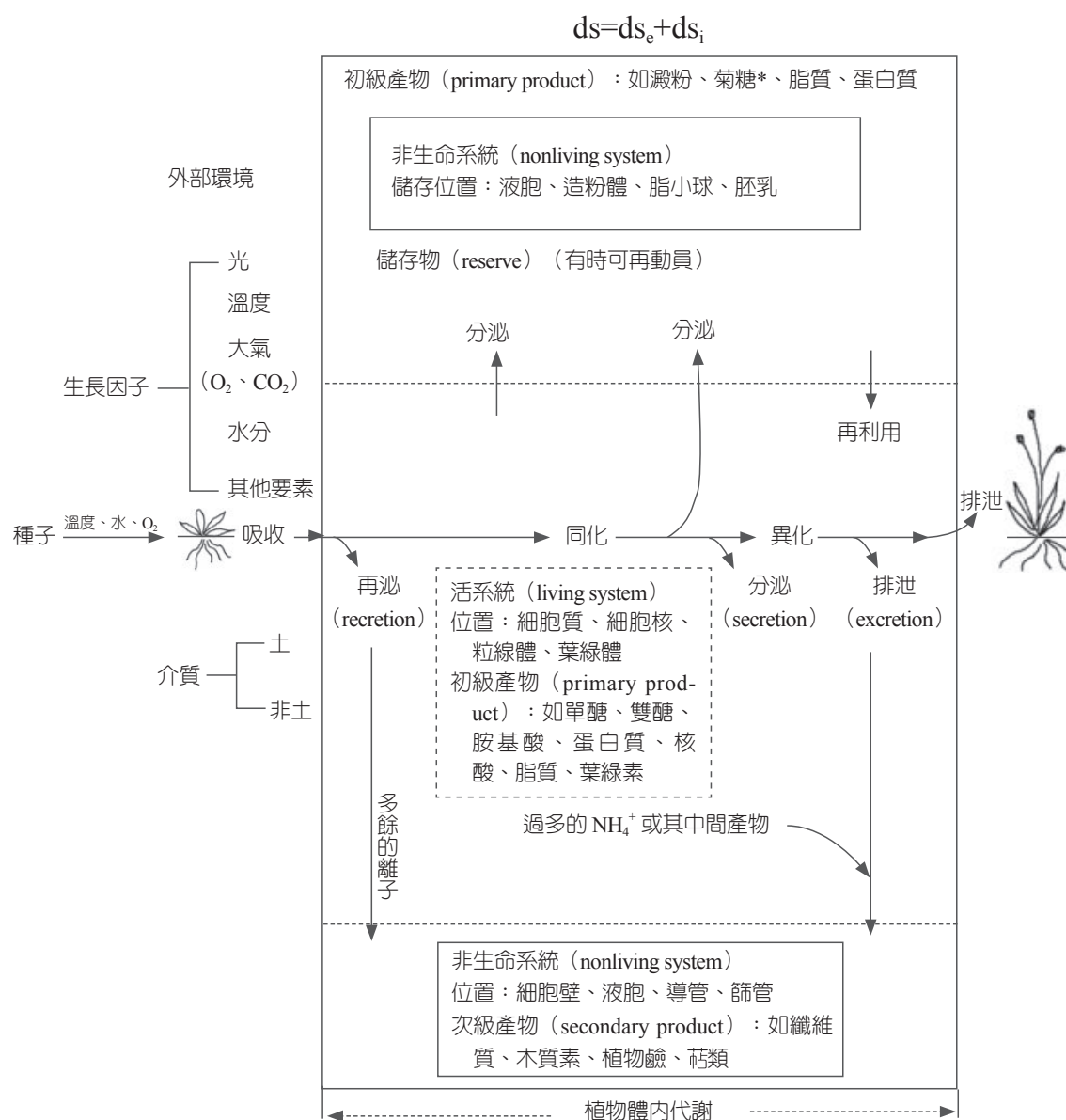
植物營養學是一門怎樣的科學

什麼是植物營養學

根據以上對營養的了解，很容易知道植物營養學是一門什麼樣的學問。簡單說，植物營養學是「研究植物從其生長環境中攝取營養素，將其同化、代謝、以致排泄的全部過程之一門科學」，可以圖 1-3 說明植物營養學的內涵。

由圖 1-3 可知植物之生長與分化，基本上是受植物內在因子及外在環境所影響，所以在早期研究植物生長時，主要考慮如何控制生長因子，使其產品的產量與品質能合乎栽培者的需要，至於植物體內代謝部分所知甚少。直至植物生理學、生物化學、生物物理學、分析化學，不斷進步後，科學家們才漸漸了解植物體內的主要奧祕，既可用熱力學的耗散理論（dissipative theory）： $ds=ds_e+ds_i$ 中熵*的變化，解釋植物維持生命的原理，又能了解到植物攝取營養素後輸送及同化、異化的路徑，所以我們才能畫出這種簡單的示意圖，實際上這是累積無數科學家們的智慧。

*註：熵（音商），英文為 entropy(S)，它是一個態函數，是表示系統狀態之變數的函數（ $ds \geq dQ/T$ ），也是系統內部亂度或有序度的量度。根據熱力學第二定律，任何一個封閉系統內的熵都會繼續變大，直至均衡狀態，也就是系統內的物質趨向最大亂度。唯有系統與環境間有物質、能量和信息的交換，才有可能維持穩定狀態或朝向有序性和組織化的方向發展。植物既然是一種生物體，它就有自創生的（autopoietic）能力，因此，在它吸收了環境提供的能量（主要為太陽能）後，就能將毫無規律的 CO_2 固定成醣類，進而轉變或合成蛋白質、脂質等，並根據遺傳潛力進行生長與分化。我們如果以 ds_e 來衡量由系統外帶來的熵值變化（在生物生長過程 $ds_e < 0$ ），以 ds_i 來衡量系統內不可逆過程造成熵的增加量（只能是正，即 $ds_i \geq 0$ ），則植物的生長與衰老就可用 $ds_e \geq ds_i$ 或 $ds_e \leq ds_i$ 來決定，亦即可以用 $ds=ds_e+ds_i$ 來決定植物生長發育的狀態。



註：1.再泌（recretion）：植物將已吸收，但未經同化作用的簡單物質排出活系統外，稱之為再泌，如多餘的鈣可排至液胞與草酸結合，形成草酸鈣結晶。

2.分泌（secretion）：植物將已吸收之簡單物質，經同化成複雜的有機物後，自一活系統輸送至另一活系統的作用，稱為分泌，如醣類、脂類、蛋白質、植物激素等，這些物質常可被活系統轉換再利用。

3.排泄（excretion）：植物將已吸收之簡單物質，經同化和異化作用後，將之排出於活系統外的作用，稱之為排泄，尤其在氮肥過多時，植物可以合成一些不易再分解的次級產物，以減輕毒性。

*菊糖（insulin）為果聚糖（fructosan）之一種，是多種菊科植物塊根或塊莖中儲存之碳水化合物。

圖1-3 從營養觀點透視植物的生長過程

植物營養學研究之範圍

從以上的介紹可知植物營養學涉及之範圍很廣，如植物生長之立地環境、土壤及其肥力、肥料及其施用，植物之生理、生態以及以營養調節，與作物產量及品質等。所以，植物營養學的內容可包括：(1)植物需要之養分；(2)植物對養分的吸收及運輸；(3)植物對營養素之代謝；(4)植物生長及作物生產之營養調節，以及農產品與人的營養間之關係。

植物營養學在農業生產上所處之地位

作物生產上有兩大重要課題：第一是育種；第二是栽培。前者是選擇或利用雜交，甚至採取遺傳工程的方法，培育出高產量、優良品質或能抵抗及適合特殊環境的品種；後者則針對特定之品種給予適當的栽培條件，使其發揮最大的生產潛力。簡而言之，植物營養學是一門利用營養要素調節植物生育，使其生長形態、產量及品質能符合人類的主觀目的之學問。因此，若希望發揮植物之生產潛力，在利用營養素或肥料調節之前，除了應先了解植物之特性、植物生長的立地環境、病蟲害之種類以及施肥與灌溉方法外，對營養素調節後，植物之品質是否適於儲藏、加工、運輸，也應做仔細的考量。所以不能只注意植物營養學所在的地位，還要考慮到與其他部門的關係（圖1-4）。

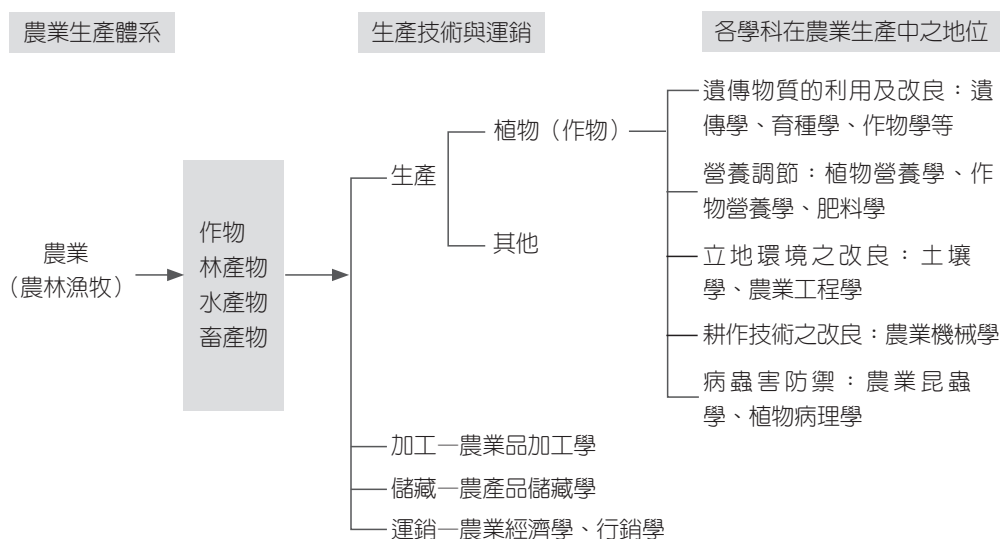


圖1-4 植物營養學在農業生產中之地位

植物營養學與其他學科之關係

植物營養學是由植物生理學發展而來。若從農業的觀點看，我們應把植物營養學的範圍縮小為作物營養學。嚴格地說，經過人工栽培的植物，都可稱為作物。由於植物或作物的生長與立地環境有關，所以生態學、農業氣象學、土壤學是研習植物營養學必備的知識。由於植物營養素的代謝在不同植物中有共同性，亦有相異性，要了解其詳細過程，必須要有植物學、作物學及生物化學的基礎。利用營養素調節植物生產，必須要研究肥料學及相關的工業化學、農產品的生產、運輸、銷售，這又與農業經濟學有關。農產品廢棄物的處理，以及肥料不當施用對環境造成的污染，則又進入環境科學的領域。由此看來，植物營養學絕不是一門孤立的科學，它與許多科學甚至與人文學都有密不可分的關係，圖 1-5 說明植物營養學與其他學科的關係，但這絕不是它的全部關係。

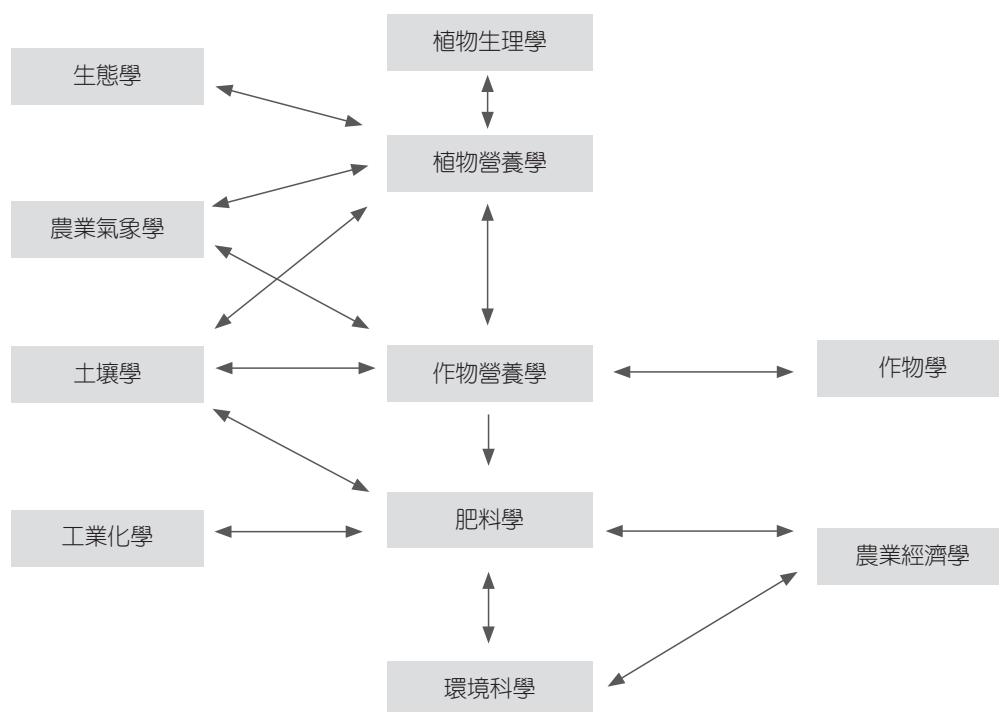


圖1-5 植物營養學與其他科學的關係

研究植物營養學的方法

研究的層次

研究植物營養學可分為不同的層次（詳見表 1-2），最複雜的是田間的群落，其次是植物全株，再者為器官、組織；最簡單的，也是最小的單位則是細胞。對群落的研究，已發展出許多測定各種環境因子及作物生長發育中生理變化的方法；對細胞的研究，則已能利用膜片鉗定技術，來探討植物細胞對離子的吸收機制。

表1-2 植物營養學研究層次與特性

	研究層次與特性
植物層次	群落 → 個體 → 組織 → 細胞、胞器、細胞膜、基因
研究範圍	生態學上 → 生理學上 → 生化學上
試驗方法	田間試驗 → 盆栽試驗（土 / 非土） → 實驗室實驗
環境	田間 → 溫室、人工氣候室 → 生長箱 （開放系） → （封閉系）
控制之難易	不易控制 → 易控制

控制與非控制試驗相互配合

一般植物營養學試驗常用的方式有二：一為在封閉體系下，控制變因的方法；一為在開放體系中，利用模式及統計的方法。前者可在人工氣候室或生長箱利用栽培盆或玻璃器皿培養作物或細胞，在一定的光照、溫度、溼度、營養等條件下，改變一種因子，觀察該因子所引起的影響。例如利用變換氮素的濃度，來了解氮肥在此生長條件下對產量或品質的影響。至於開放型田間試驗，則是在一定營養條件下，利用生物統計技術尋找各種因子對產量的影響。當然開放體系與封閉體系各有優點，亦有所限制。因農業生產多在田間作業，氣候難以掌握，若要依靠模式及統計學原理，達到預測的目的，則必須對模式中任何變數與資料來源都有深層的認識，而這些卻依賴在控制條件下試驗的結果。因此，控制與非控制條件下之試驗必相互結合與印證。

多學科之科際整合

在科學發展初期我們研究科學多重視事物的整體，偏向於綜合（synthesis）之研究。但科技發展以後，許多學科經過分化，變成多種學門，研究科學則多重視分析（analysis）。固然分析對事物之個別屬性漸能掌握，但對於事物整體關係則常有忽視。有鑑於此，各方有識之士極力鼓吹多學科之科際整合（interdisciplinary integration），植物營養學亦不例外。以營養素而論，若無精密的分析技術則無法確定微量元素是否為必需元素；以吸收而言，若對細胞膜之構造以及第一訊息（first messenger）和第二訊息無確切了解，則不易徹底認識吸收的真正機制。同樣的，要改良品種，預測稻穀產量，或制定栽培政策，必須結合遺傳、氣象、土壤、農藝、生理、生化、肥力、統計等各領域專家的意見做整合性的研究，較能做出實用的模擬軟體。因此要解決任何一個複雜的農業生產問題時，不但應與相關領域的專業研究者合作，同時也要不斷學習與自己專長相關的新知。

是何？為何？會如何？

植物營養學是一門應用科學，最終目的是希望能夠增產或改良品質。所以當我們知道了什麼因子可增產或改良品質，並根據這些研究結果，應用在實際的生產上，似乎已達到了植物營養學的目的。但科學最終目的以及研究科學的樂趣絕不僅止於此，應進一步的問「會如何？」或「會怎麼樣？」。譬如我們都知道茶葉中含有香味及抗氧化劑，我們固然要知道氮肥的形態以及施用量對它的香味或抗氧化物質形成的影響，但也要研究影響的機制，以及當環境因子改變時，可能發生的變化。甚至茶葉經發酵後，香味是否會改變？抗氧化劑的效果是否還存在？科學就是在不斷猜想、反駁與驗證中向前推進的。植物營養學能在短短數十年中有如此豐富的内容與成果，正是無數從事研究者吸取了各相關領域的知識與經驗，不斷地在追求「是何？為何？會如何？」的結果。

第二章

植物營養學發展簡史

人類的進步主要依賴傳承與創新。因此了解過去的歷史，不但可以擷取先人的經驗為創新提供靈感與啟示，而且可以藉由前車之鑑，提醒我們不要重蹈覆轍。所以本章希望能對過去植物營養學的發展，做一重點回顧。

人類的知識主要來自生活與實踐，當人類從採拾及漁獵經濟漸漸邁入農牧經濟時，生活逐漸穩定，也開始較能仔細地觀察到植物生長及家畜繁殖的過程。植物的生長必須要有水及肥沃的土地，家畜的繁殖又要依賴植物為生，所以中東的兩河流域及中國的黃河長江流域，都可能是農業發源的地方。但是當發現在同一土地種植作物太久，產量大減時，就會開墾另一塊土地，這就是所謂遊耕。慢慢發現在土地休耕一段時間後又可再種植，或是在同一土地輪耕不同的作物，可以增產，就開始了休耕與輪作制度。直至觀察到人與家畜排泄的糞便及植物的殘體，也可以使植物生長良好，人們漸漸懂得把排泄物及殘體耕入土中，開始有了植物養分的觀念。所以若追溯植物營養的歷史，粗略的估算距今至少也有八千年以上。往後對植物生長原理的探討，東西文化顯現不同的內容；但基於生產的目的，東西大國也有相似的發展。

在中國古書中很早就有對農事的描述，例如《尚書》〈禹夏〉中，曾記載禹對九州之土壤已按沃瘠分為九等；西周《周頌》〈良耜〉篇中「荼蓼朽止，黍稷茂止」；《荀子》的〈富國〉篇中「多糞肥田」；《呂氏春秋》的〈任地〉篇所載「力者欲柔，柔者欲力；息者欲勞，勞者欲息；棘者欲肥，肥者欲棘；急者欲後，後者欲急；溼者欲燥，燥者欲溼。」其後西漢（公元前約一百餘年）的《汜勝之書》、東漢王充（公元 1 世紀）所提之「地可使肥，又可使棘的觀念」、北魏（公元四百餘年）的「齊民要術」、南宋（12 世紀）的《陳勇農書》、元代（13 世紀）的《王禎農書》、明朝（14 世紀）的《農政全書》等，對各種作物如何栽培，記載的非常詳盡。

在西方，公元前 3 世紀，希臘哲學家泰奧弗拉斯托斯（Theophrastus）就已知

道在貧瘠的土壤上施用肥料，並按肥效大小將肥料排成順序。到了古羅馬時代，農業方面已有很大的進步，其中有幾位代表性人物在農業上多所貢獻。第一位加圖（Cato, 234-149BC），他認為植物要生長的好，第一為良好的耕作，第二為因土種植，第三為施廐肥。第二位是法農（Vanon, 公元前 1 世紀），他將羅馬的土壤依作物產量劃分成 300 個不同的土種，他認為許多土壤是需要改良和施肥的，且是第一位提出農業與畜牧間應建立「偉大的聯盟」者。第三位則是庫魯梅拉（Columella），他系統地提出了防止土壤肥力下降的措施，要為每種作物選擇合適的土壤、適宜的耕作及施肥方法，並對土壤及肥料按其性質分類。這些與農業生產有關的見解及成就，在公元 1240 年由 Petrus Crescentius 首先集成一冊，在當時成為最流行的論述，影響後代深遠。到了 15 世紀末、16 世紀初，很多農業書籍出現，陸續於義大利及法國出版。由於許多獨到的觀點，缺乏有力的論證予以支持，於是人們開始重視實驗，利用實驗證實理論，開啓了農業化學研究之先河。

由於中國是一個大的內陸國家，在植物的栽培上，主要著重生產，雖然在農業上早已累積豐富的知識，並提供許多國家栽培及育種的經驗。但對植物生長機制的探討，則很少受到重視。西方國家則不然，希臘、羅馬以及歐洲的國家由於地理位置相鄰，又有不同的文化互相激發，學者們除了實用的栽培技術外，對植物生長原理很早即產生濃厚的興趣，並出現多元的看法，這些看法漸漸發展成理論，隨著歷史的演變，理論也不斷地被修正，形成植物營養學的主流。根據庫恩（Thomas Kuhn, 1970）的見解，任何一個歷史階段，科學發展都會或多或少受到當代典範（paradigm）的影響¹，任何典範，在經過相當長的一段時間後，又會受到一些學者們的挑戰。最後，當舊典範發生危機，新典範則逐漸取代舊典範。植物營養學的發展史，雖然很難依據不同的典範劃分成幾個固定的時期，但是為了回顧植物營養學發展的趨勢，學者們常根據不同的觀點，把以西方為主的植物營養學歷史分成幾個階段。著者則從植物養分與植物生長關係的觀點，參考植物營養學先進們的看法（Russell, 1961; Epstein, 1972；何等人，1987），把植物營養學的發展分為五個階

¹ 典範（paradigm）：是由同一研究領域的科學家們形成的科學社群，在進行相關議題研究時的共同信念、指導原則以及研究方法。舊典範被新典範替代的過程：前典範時期→典範確立→常態科學運作→舊典範發生危機（反常事例不斷出現）→科學革命（新典範更有說服力）→新典範代替舊典範。