

目 錄

第一章 緒 論

- 一、植物生理學與其他科學之關係..... 2
- 二、植物生理學爲一種科學..... 3
- 三、植物生理學與人類之福利..... 5

第二章 溶液及膠體系

- 一、溶液之通性..... 7
- 二、溶液組成之表示方法..... 7
- 三、電解質與非電解質..... 8
- 四、酸、鹼及鹽..... 9
- 五、規定溶液..... 10
- 六、氫離子濃度..... 10
- 七、緩衝作用..... 12
- 八、膠體系之通性..... 14
- 九、膠體系之界面面積..... 14
- 十、吸附作用..... 15
- 十一、膠體系之命名..... 15
- 十二、布朗運動..... 16
- 十三、荷電性..... 16
- 十四、凝塊作用..... 17
- 十五、膠凝體之性質..... 18

第三章 植物細胞

- 一、細胞之起源及發育..... 19

- 二、植物細胞之構造..... 20
- 三、細胞膜..... 22
- 四、細胞體..... 23
- 五、液胞..... 27
- 六、細胞壁..... 27

第四章 擴散作用、滲透作用及浸潤作用

- 一、氣體之擴散作用..... 33
- 二、影響氣體擴散速率之因子..... 35
- 三、溶質之擴散作用..... 36
- 四、膜與通透性..... 37
- 五、自由能與水勢之觀念..... 38
- 六、滲透壓..... 39
- 七、膨壓..... 40
- 八、滲透作用量之問題..... 40
- 九、影響溶液滲透勢之因子..... 42
- 十、浸潤作用..... 43
- 十一、浸潤作用之動力學..... 44
- 十二、滲透作用對浸潤作用之影響..... 44
- 十三、浸潤作用量之問題..... 45

第五章 植物細胞之水分關係

- 一、植物細胞爲滲透體系..... 47
- 二、原生質分離..... 48
- 三、植物細胞中滲透勢之大小..... 49

四、影響植物細胞滲透勢之因子	50	九、水分進入根部之途徑	92
五、植物細胞之滲透量	51	十、菌根	93
六、植物中水分滲透移動之動力學	54	十一、根部對水分之吸收	94
七、水分移動之浸潤機程	55	十二、水分吸收作用之機程	94
八、滲透勢與基質勢之關係	55	十三、影響水分吸收速率之環境因子	96
九、植物中代謝作用促進之水分移動	55	十四、葉部對水分之吸收	99

第六章 植物水分之蒸散

一、葉蒸散作用	58	一、水分在植物體內之輸送路線	100
二、氣孔	58	二、莖之解剖	101
三、氣孔之大小及分佈	59	三、植物體內水分輸導機程之理論	109
四、氣孔開閉之機程	63	四、水分凝聚力之大小	112
五、氣孔之擴散能力	66	五、水柱中張力之發展	112
六、蒸散量	67	六、蒸散作用與植物體內水分移動之關係	115
七、影響蒸散作用之因子	68	七、水分之側向移動	115
八、植物構造形性上對蒸散速率之影響	71	八、水分之向下輸送	116
九、蒸散作用之日週期	71	九、凋萎	116
十、影響葉溫之因子：蒸散作用功能	74	十、水分蒸散作用與吸收作用日週期之比較	117
十一、植物中液態水分之失去	77	十一、植物細胞中水勢之日變化	118

第七章 水分之吸收

一、土壤之組成	79	十二、永久凋萎	118
二、田間情況下之土壤水分關係	81	十三、植物體內水分之再分配	119
三、永久凋萎百分率	83	十四、抗旱	121
四、土壤水勢	84		
五、根及根系	85		
六、根之吸收帶	86		
七、根之解剖	87		
八、根毛	91		

第八章 植物內部之水分關係

一、水分在植物體內之輸送路線	100
二、莖之解剖	101
三、植物體內水分輸導機程之理論	109
四、水分凝聚力之大小	112
五、水柱中張力之發展	112
六、蒸散作用與植物體內水分移動之關係	115
七、水分之側向移動	115
八、水分之向下輸送	116
九、凋萎	116
十、水分蒸散作用與吸收作用日週期之比較	117
十一、植物細胞中水勢之日變化	118
十二、永久凋萎	118
十三、植物體內水分之再分配	119
十四、抗旱	121

第九章 代謝作用之動力學及能量學

一、酶	124
二、酶之分類	125
三、酶系之化學性	126
四、酶之誘發	131

五、酶作用之機程	131	六、光合作用中水之功能	179
六、影響酶反應之因子	132	七、氧濃度對光合作用之影響	180
七、自由能	136	八、內部因子對光合作用速率之影響	181
八、高能化合物	136	九、光合作用速率之日變化	182
九、氧化還原反應	139	十、光合作用之數量及效率	182

第十章 光合作用

一、輻射能	141
二、光合作用之總過程	144
三、葉部構造與光合作用之關係	144
四、葉綠體中之色素	145
五、葉綠素	145
六、葉綠素之合成	147
七、類胡蘿蔔素	148
八、藻色素	150
九、葉綠體之構造	150
十、葉綠體之功能	153
十一、光合作用之光反應及暗反應	156
十二、光合單位	156
十三、Hill 反應	157
十四、光合作用中釋出氧之來源	157
十五、細菌之光合作用	158
十六、光合磷酸化反應	158
十七、光合促進效果	158
十八、轉化輻射能為化學能	159
十九、光合作用中碳之途徑	162

第十一章 影響光合作用之因子

一、限制因子之原則	167
二、表面光合作用及真光合作用	169
三、二氧化碳之功能	169
四、光之功能	173
五、溫度對光合作用之影響	177

第十二章 呼吸作用

一、有氧呼吸作用	184
二、呼吸作用之相對速率	186
三、呼吸比	187
四、影響有氧呼吸作用速率之因子	188
五、光補償點	193
六、二氧化碳補償點	194
七、光呼吸作用	194

第十三章 呼吸作用之代謝過程

一、無氧呼吸作用	197
二、酵解作用	201
三、丙酮酸無氧氧化作用	207
四、丙酮酸有氧氧化作用	207
五、電子傳遞及氧化磷酸化反應	212
六、呼吸作用過程之效率	214
七、五碳糖磷酸途徑	215
八、呼吸作用與粒線體之關係	217
九、二氧化碳暗固定作用與有機酸代謝作用之關係	217

第十四章 糖類、脂類及有關化合物之代謝作用

一、單醣之異構現象	221
二、單醣之反應階段	223

三、單醣互轉反應	223
四、植物醇	224
五、少醣之生物合成	225
六、食物貯存用之多醣類代謝作用	226
七、構造用多醣類之代謝作用	231
八、糖苷(配糖物)	235
九、花青素	237
十、花黃素	238
十一、脂類	238
十二、脂肪之合成	239
十三、脂肪酸之 β -氧化作用	244
十四、脂肪酸及甘油與呼吸作用之關係	244
十五、脂肪向糖之轉化作用	244
十六、磷脂類	244
十七、固醇類	244
十八、蠟	245
十九、角質及木栓質	245
二十、異戊二烯類	245

第十五章 礦物鹽類之吸收及利用

一、植物中存在之元素	247
二、土壤中之陽離子置換	249
三、離子之被動吸收作用	250
四、離子之自動吸收作用	252
五、離子自動吸收之擔體說	253
六、鹽類聚積之一般問題	257
七、鹽類聚積與有機酸代謝作用	258
八、地上部器官對礦物鹽類之吸收	259
九、植物中礦物元素之一般功能	259

十、礦物元素之利用	260
十一、必需元素及非必需元素	260
十二、植物中礦物元素之特殊功能	261
十三、礦物元素缺乏之病徵	269
十四、水耕及沙耕	270

第十六章 氮代謝作用

一、蛋白質	272
二、氨基酸	272
三、植物利用氮素化合物之來源	274
四、土壤中氮素化合物之吸收	276
五、硝酸鹽及硫酸鹽之還原作用	277
六、氨基酸之合成	277
七、天門冬醯胺及麥醯胺	279
八、核苷、核苷酸及核酸	280
九、蛋白質之合成	285
十、植物鹼	293

第十七章 溶質之輸送

一、韌皮組織之解剖	295
二、植物中溶質輸送之一般問題	299
三、有機溶質之向下輸送	300
四、有機溶質之向上輸送	301
五、礦物元素之向上輸送	302
六、葉部及其他側生器官中礦物元素之輸出	306
七、溶質之側向輸送	307
八、木質部中溶質輸送之機程	307
九、韌皮部中輸送作用之基本生理問題	307
十、韌皮部中輸送機程之學說	311

第十八章 植物激素

一、生長素	315
二、生長素之化學性質	317
三、生長素之作用	319
四、生長素之轉運	325
五、濫長素	326
六、濫長素之化學構造	327
七、濫長素之作用	327
八、濫長素之合成及轉運	331
九、細胞分裂激素	331
十、細胞分裂激素之作用	333
十一、細胞分裂激素之合成	336
十二、離層酸	336
十三、離層酸之作用	337
十四、維生素	338
十五、乙烯	339
十六、乙烯之作用	339
十七、植物中之其他似激素物質	340
十八、激素作用之機程	341
十九、激素間之相互反應	342

第十九章 營養生長

一、同化作用	343
二、生長過程	343
三、分生組織	344
四、初生生長之動力學	345
五、側生器官之發育	351
六、莖及根之側生生長	352
七、合成培養基中根尖及莖尖之培養	356
八、全能性	357
九、形態發育之遺傳基礎	358
十、生長作用之測量及指標	359
十一、生長速率	359

十二、食物之累積	359
----------	-----

第二十章 影響營養生長之環境因子

一、影響植物生長之環境因子	362
二、溫度對生長過程速率及其範圍之影響	364
三、植物生存之溫度界限	365
四、溫度對形態發生之影響	365
五、溫期效果	366
六、寒害及抗寒	367
七、熱害及抗熱	369
八、輻射能對營養生長之影響	370
九、光質對營養生長之影響	373
十、植物內部水分情況對營養生長之影響	381
十一、土壤溶液濃度對營養生長之影響	383
十二、土壤空氣中氣體濃度對營養生長之影響	384
十三、礦物元素對生長之影響	385
十四、氮素對生長之影響	385
十五、大氣氣體及污染對生長之影響	385

第二十一章 生殖生長

一、花之發生及發育	388
二、花粉及授粉	390
三、花粉爲枯草熱之致病因子	393
四、胚之發生及胚乳之生長	394
五、單性生殖	394
六、種子之發育	395
七、果實之發育	396

八、單爲結果	397
九、果實發育之生理問題	398
十、胚之培養	400

第二十二章 影響生殖生長之環境因子

一、光度對生殖生長之影響	402
二、光質對生殖生長之影響	402
三、光持續時間對生殖生長之影響	402
四、光期效果之季節及地理問題	405
五、基本分類上之長日照及短日照植物	406
六、光期效果誘導作用	407
七、光期效果機程之概述	408
八、長日照及短日照植物反應上之基本差異	411
九、長日照及短日照植物光期效果機程上之基本相似	414
十、植物過程之規律性狀	416
十一、內生規律性與光期效果之關係	417
十二、溫度影響生殖生長	420
十三、春化處理	421
十四、醣及氮代謝作用	422

第二十三章 生長相關及生長週期

一、生長相關性	423
二、生殖發育與營養發育間之相關性	423
三、枝根比	424
四、頂芽優勢	427

五、頂芽優勢之機程	427
六、形成層之活動	429
七、葉與芽間之生長相關性	430
八、極性	430
九、生長週期	431
十、生長之日週期	431
十一、營養生長之季週期	433
十二、營養生長及生殖生長之循環性週期	435
十三、熱帶植物營養生長之循環性週期	436
十四、葉着色之季週期	437
十五、離層	437
十六、離層形成之機程	439
十七、葉以外其他器官之離層	440

第二十四章 發芽及休眠

一、種子之構造	442
二、發芽	445
三、水與發芽之關係	446
四、光與發芽	447
五、溫度與發芽	448
六、胚發育爲發芽及休眠之因子	449
七、氧與發芽	450
八、大麥種子中之發芽過程	450
九、發芽過程之一般問題	451
十、種子之壽命	451
十一、芽之休眠	452
十二、芽休眠之打破	453
十三、芽休眠之延長方法	455

第一章 緒 論

在三十餘年前，當這本書的初次出版時，人類社會仍局限於較小的範圍。自那以後，人類即開始登陸月球，並發現月球亦不過是一無生命之不毛之地而已。同時，我們的探測，也已伸展到我們久已認為可能有生物棲息的行星火星。但就我們的了解上，發現火星也不過是一個大的月球而已。假若宇宙之大及其永恒，正如吾人所想像者，則在其他銀河星群上，必將顯現某些生命之存在。但是，那些都僅可能永遠超乎我們能力達到之外，而僅只於想像而已。但很久很久以前，我們即已了解，在這地球上的生命，為唯一生命現象。至少，就我們太陽系而言，確是如此。

綠色植物為這一具有生命的地球上的基本建造者。它是介乎我們人類存在之活的世界，及無生物生息的死的世界之間極具意義的橋樑。除極少數不甚重要之例外，綠色植物為唯一能夠利用存在於週圍之簡單無機物質，而將之構成複雜有機分子之生物。而所有各種生物，均由此種有機分子所構成，且由此種有機分子取得能量。它們為所有生物中，能夠轉化日光能，為複雜有機化合物之化學能者。簡而言之，綠色植物為不僅供給它們自己，且供給所有包括人類在內之一切生物食物之主要來源。

世界上之含葉綠素（綠色）植物，不下數十萬種，其大小、構造及生理性狀，均有所不同。由於它們間之差異，使這些生物因而分布在各種不同區域。事實上，綠色植物分布於所有各種陸地表面，包括沼澤地到半乾燥之沙漠；並且可於熱帶、溫帶，以及甚至接近北極氣候下生存；它們也存在於大部份之海洋、湖泊及江河，而為數極豐。另外，大量生活在水中之綠色植物，係漂浮之單細胞或呈群聚之生物，此統稱之為浮游植物（Phytoplankton）。植物即如此地伸展其綠色羽翼，覆蓋於地球之表面。唯有極端乾燥及極端寒冷之區，才沒有植物之生命。故植物亦如其他生物一樣，能永存不滅。

就生物學之研究上，對植物之研究，應為人類知識中最基本的一環。在經驗上言，人類自他首次學習在地面上播種，使植物得以依照人們的願望生

長，而改變其野生方式開始，即已研究植物。但在吾人今日極端複雜之文明情況下，僅具備植物之經驗知識，是不夠的。唯有在有訓練、有組織之科學步驟下，去研究植物，使有關植物的知識，變為有用，如此，才能將之在吾人操縱下，以促進人類之利益。

一、植物生理學與其他科學之關係

植物學通指植物生命之科學。但就一般所瞭解，植物學一語，並不完全包括這一廣泛的知識。例如，很多其他階段的知識，如農藝、園藝及森林，都屬植物生命科學的範圍。故實質上，很多的工作者，對發展這一廣泛的植物學，都早就已經貢獻了他們的力量。

對植物之研究，可從各種不同之觀點方面，加以進行。而植物生命之科學，依例都分為很多部門。其中為大家所熟知者，有生理學、解剖學、遺傳學、生態學、形態學、病理學及分類學等。此種分類，可得到有系統的知識，對強調植物生命上某些重要之點，極為有用。但是，自然科學都切忌如此分割，而應連成一貫。這樣，由這一面，而連貫到另一面。因此，對植物生理學或其他植物學方面，如要劃出一定之界限，多少都不免於欠妥。故此學科之每一方面，幾乎都與其他上述學科，聯成一氣。

然而，就基本上言，植物生理學當係包括發生在植物中各反應過程知識之植物學之一分支。在所有各種葉綠素植物中，其生理上之一般反應，均為相同。否則，當無植物生理學這一科學可言。但是，植物在外部構架上、內部解剖上及形性之樣式上，均有顯著差異，致導致生理作用上之不同。例如，一株櫟樹之生理，自不同於一株番茄之生理，與馬之生理不同於貓之生理者，其理相同。但是，這兩種動物，都共同具有很多生理上相同之元素，但仍有其生理上之顯著差異存在。因之，在上述兩種植物之間，自然也存在着相同道理。

植物在各方面之不同變化，反映出對遺傳結構上具有基本影響。一種植物與另一種植物間生理反應之不同，其在遺傳上之不同反應，與它們通常在外形態上所表現之不同者，情形一致。通常，遺傳差異在生理上之表現，較之形態上者為銳敏。例如，某種植物之一種品種，較同種植物之其他品種，能夠忍受低溫，但這兩種品種在形態上却不易區別。故每當對二種植物或同種植物之二不同品種，就同一反應過程或植物感應上，予以比較研究，則其遺傳組成上之影響，即會發生。

然而，就以後所討論，知代謝作用之控制，並不僅僅依賴於遺傳結構，

而是受遺傳因子與環境情況間交互反應之影響。因之，關於環境因子對植物反應過程影響之研究，即為植物生理學之主要範圍。對於這些因子，如日光、溫度、濕度及土壤濕度，在植物反應過程如光合作用、呼吸作用、蒸散作用及生長上之影響，都可在實驗室或田間進行研究。像這種生理學與生態學之結合，可稱為生理生態學。

在植物生理學之基本觀念上，早就認為通常發生在植物中之各種反應過程，可以簡單之化學、物理過程解釋之。因此，植物生理學遂又發展為植物生物化學及植物生物物理學。於是，利用實驗上的化學及物理技術。對闡明很多發生在植物中之生理過程，有了實質的進步。但是，想藉化學及物理學的原理，來完全闡釋大多數的這些反應，則尚有困難。這並不是因為這基本知識有錯誤，而是因為在生物上所發生的很多反應過程，較之那些在無生命方面所發生者，更為複雜。因為生物組織具有一些令人困擾的性質，而增加很多不易解決的事例。

植物反應過程不發生在細胞的空隙部位，而發生在細胞的構造單位中。故在構造與反應過程間之關係，至為密切，且互為關聯。例如生長，為一組相關生理過程之綜合，因而造成細胞、組織及器官之發育。一旦當細胞或構造之結構發育具體化，則對在組織中所進行之生理過程，有顯著影響。此中，構造係由生理過程塑造而成，而生理過程又反而受構造之影響。因之，生理過程與構造，實為植物生長與形態上不可分之一體兩面。

二、植物生理學為一種科學

此書為過去所有植物生理學方面知識之縮影。所謂植物生理學這一門科學，亦如同其他科學者然，是由這方面的學者，逐步予以建立而成。故本書之作者及讀者，對有助於促進這方面學識的先進，都應致予謝意。雖則有些科學家及學者，所提供之貢獻雖小，但這一知識，乃是靠不斷的累積，然後才能得以保存，並予以傳播。全部植物生理學，是一代一代由這方面的學者之努力，乃得以發揚光大。但是，僅能有極少數的聞名的植物生理學者之名字，可在各教科書之首，予以介紹。其他的一些工作者，雖則貢獻甚大，也只能作無名英雄了。

所有科學之起始，均導源於對自然現象之觀察。有些科學如地理學及天文學，主要是由對自然之觀察資料作基楚而建立，其實驗僅是由觀察自然本身而得。但在其他科學如物理化學方面，多數之基本事實，是由人類自己深思熟慮之實驗結果所得。而生物科學，則介於上述那些必須完全基於觀察之

科學，與主要基於實驗為事實根據之科學二者之間之科學。

植物生理學是生物學科中最着重實驗之部份。但依據之適當實驗，都是由對植物形態作過周密觀察之結果所提供。在最嚴格進行的實驗中，凡是可影響植物反應過程及發育的所有環境因子，均須在控制之中，而使植物生長在這種能夠控制之環境下，以進行實驗。實驗中所採取之生物單位，可依實驗目的之不同，分為細胞體、細胞、組織、器官，或整株植物，或一群植物。

在田間情況下測量反應過程之速率或形態發生上發育之型式，是一個比較不嚴格但在某種目的上可能具有知識價值的植物實驗，因為植物是受自然環境複雜因子之影響。在這項實驗下，如果發現結果具有價值，那就需要在實驗進行期間，對這種假定有效的環境情況，採取對照及持續性的步驟。

任何科學之基本構成方式，都包含着觀察及實驗所得之事實與資料在內。但是，單靠事實，是不足以建立一種科學知識的寶庫。要建立此種寶庫，則須更進一步將一般通則演繹成公式化。雖則此種通則僅為一個概要，但在通過廣闊的科學領域，是有其價值的。通常，這是以假說開始，繼之以反覆實驗。這實驗最好不由原假說的提出者來進行，而是由其他的科學家來進行。如此反覆實驗後，可使起始的假說具體化，然後，或加以修正，或予以摒棄。

通常，實驗會引起更多的問題，而不一定是獲得答案。對於思想銳敏之研究人員，則可因此而發現新的問題，同時也產生解決問題的新方法。在這種情形下，才會由一個實驗，導致更多的其他實驗，於是，有更多的事實累積，更多的學說被提出。因之，有些被提出的假說，固可得到支持，但有些却被摒棄，有些則需要予以修正。然而，大部份的假設，不論是健全的，或是欠合理的，都需要再作更多的觀察及實驗，由於此種勞苦的結果，才能逐漸地建立廣大的、複雜的、以及變化無窮的所謂科學這一知識體系。

所謂實驗科學的本質，即是以實驗來解釋所有的自然現象。由最新實驗上所獲得之發現，將原有之觀念，不斷地加以修正，使科學之法則，日趨健全。因之，可在不同之接受階段，將這些新的修正併入科學之學說及通則。其中，有些則依賴於曾被這方面權威所接受的事實基礎，作為依據；有些則由於缺乏可靠的實驗結果予以支持，雖然亦可獲得部份承認，但亦必被另一些人所摒棄。因之，最後，不管是何種科學，總有某些學說是欠妥，因而，遂發現僅有極少數之學說，可予提倡。同時，也因而瞭解今天所被一般推崇的學說，遲早都會因為新的發現，或是對已知的事實有了不同的解釋，而需予以摒棄或修正。

然而，並非所有之科學家，對同一組事實之解釋都能一致。對於學生及外行，雖然這些記載都是與科學之研究精神一致，但仍不無令他們困惑之處。當實驗之資料不夠完全時，則對於解釋科學現象之假說，自會產生不同的觀念。在澄清科學通則時，關於對實驗及觀察解釋之不一致，則常是不可避免的情形。因之，爭論亦常集中於實際資料之某些漏洞。於是，種種這些都刺激着大家不斷地研究，因而也使我們人類的知識，益益豐碩。

很多在植物上之實驗工作，多是採用對人們無利用價值且無興趣之植物種類。植物學家都不會為此而致困惑。一個對科學基本觀念有興趣之植物生理學家，常會選擇那些特別易於適合解決他想研究之特殊反應過程或現象之種類，作為實驗之植物。例如，單細胞藻類中之綠球藻（*Chlorella*），為研究光合作用實驗工作中最廣泛採用之植物。此種藻類，在培養基中能得到滿意的生長，故能很快的就可用於實驗室的各種過程，而這些過程又是研究光合作用機程（*Mechanism*）所必需的。如利用其他構造較複雜的植物，則易遭致困擾，如採用綠球藻，則就沒有這些麻煩了。另外又如，蒼耳（*Cockle bur*）為一種無用而平凡之野草，却被廣泛地利用於光期效果（*Photoperiodism*）之實驗。如將此種植物暴露於適當比例之光照與黑暗之週期下，則可引起導致開花之光期反應。因基於這種原因，蒼耳則為特別適合於研究此一機程之植物。

像由綠球藻及蒼耳這類萬靈植物所得之結果，可推及到其他種類之植物。但是，此處須再強調之一點，即為在一種植物所發生之生理過程，並不都以同樣方式發生在所有其他的植物。植物與植物間所發生之生理異點，可為質或量的差異。例如所有綠色植物均進行光合作用，但完成此過程所附隨之代謝步驟，在各植物並不完全相同。生理上量的差異，在各種植物之間，較之質的差異，更易普遍發生。例如，不同種類之植物，其蒸散率即常十分不同。甚至當各植物均置於相同環境情形下，亦是如此。

三、植物生理學與人類之福利

植物為包括人類在內之所有生物之主要食物，人類可直接利用很多植物與植物之產品，作為食物。而且，人類將之作為食物利用之動物與動物之產品，其最終亦均源於植物。甚至作為人類食物的魚類以及其他水產生物，基本上是從含有葉綠素的浮游植物而取得食物。包括巨大肉食魚類及其他水產動物在內之食物鏈，其中常有一大群生物作為中間食物，但是，所有構成這一食物鏈的生物，其共同起源，則均為浮游植物。

由於世界人口的滋長，對人類食物供給之增加，益愈形重要。因之，要求農業能生產較多糧食的壓力，益愈形嚴重。其中，尤以未開發的國家為然。有些國家，對作物之生產量，已有顯著增加；而且，也在利用一些植物生理原理，促成食物之豐產。然而，但仍有其限度，以致農業無法推進。故食物問題之最終解決方法，可能不是要增加植物，而是要減少人口。

在人類福利上最重要之植物產物，除食物外，在物料方面，包括木材、纖維（棉、麻等）、植物油、橡膠及藥材等。另外，重要之動物產物，如皮革、羊毛等，均為間接來自植物。

直到較近期間，世界上仍然有大量的人民，用去大部分的時間，從事農業上的追求。在今天，大多數的國家，仍以農業為人民主要從事之職業。但在多數高度進步之工業國家，農業之效果較佳，以致從事這方面職業人口之比例，則相當減少，而且正日益萎縮中。許多住在城鎮中的人口，也只有少數是直接依賴植物，作為數口之生計。而大多數的城市人口，則對美的、消閒方面的植物，却產生興趣。故對成百萬的城市人口而言，室內植物，裝飾之小灌木，花卉、蔬菜、果樹及蔭棚樹木等，都是這些消閒方面的植物，也只有這些才是他們唯一最直接接觸到的，也是能給予他們最大興趣的植物種類。因此，這些植物，有些成為都市人民的副業，有些則成為美的享受及體育活動方面需要之植物來源。又為滿足消閒方面之不同需要，則又有無數的市立、省立及國立的公園，森林以及運動場所，而這些場所的吸引力，則有賴於自然植物之具備與否，故植物在這方面之效用，遂與日俱增。

因此，當人類繼續居住於地球，植物與人之關係，就非常重要。故植物生理學者對世界人類所作之最有意義貢獻，即為要對植物的更加了解，對其生長更予控制。

第二章 溶液及膠體系

生命體系之動力現象，可藉溶液（Solution）及膠體系（Colloidal system）之生理化學性狀，而予以充分解釋，此溶液與膠體系之另一成分則為水。在生理上極為活動之植物細胞中，存量最豐富之化合物為水。基於水具最大溶解能力，致在植物細胞中呈液態之水，永非純水，而包含有溶於其中之其他物質。而且，植物中之水，通常含有非如真溶液（True solution）中之分散顆粒。當分散顆粒呈某種範圍之大小時，則由水分及顆粒所形成之體系，即為膠體系。

同樣，在生物的自然環境中，水亦永含分散之顆粒，以及溶於水中之物質。例如溪中、湖中、海洋中之水，及土壤中之水，即是如此。甚至雨水，為自然蒸餾之產物，其中亦溶有來自大氣中之氣體及其他物質。

一、溶液之通性

單純溶液至少要包含兩種成分，其中之一（溶質）係均勻地分散於另一種（溶劑）成分之中，形成分子或離子。在一般熟知的溶液中，溶劑多為液體。自然發生之溶液，因常含有多種不同的物質，故溶液成分亦至為複雜。由於水為有機及無機世界中最普通之溶劑，故以下將以討論水溶液為主。

二、溶液組成之表示方法

在 20°C 溫度下，1 克分子量（摩爾 Mole）之物質，使溶於足量之水中，而成為 1 公升之溶液，稱為容量克分子溶液（Volume molar solution），通稱為克分子溶液（Molar solution）。因為所有物質之克分子量，均含有相同數目之分子（ 6.02×10^{23} ），故同量同克分子濃度之所有溶液，均含有相同數目之溶質分子。如某量之 1 克分子溶液，用同量之水稀釋之，則得 0.5 M 溶液。另在 20°C 下，溶解此物質克分子量之一半，使成 1 公升溶液時，亦得 0.5 M 溶液。

若使 1 克分子量之任何物質，完全溶解於 1000 g 之水中，則得重量克分

子溶液 (Weight molar solution 或 Molal solution)。此種溶液表示方法，主要用於各種滲透現象之實驗上。對多數固體物，如加 1 克分子量 (1 Mole) 於 1 公升之水中，其溶液均多於 1 公升，此種增加之溶積，稱為溶質之溶液容積 (Solution Volume)。很多物質之溶液容積均甚小，且有少數例子，則更為負值，即當溶液加於溶劑中時，其容積減少。反之，有些化合物，尤其是如糖，其溶液容積則相當大。故 1 克分子量之蔗糖，加於 1000 g 之水中，則在 0°C 時，其溶液為 1207 ml。因此，1 克分子量蔗糖之溶液容積為 207 ml。而 1 克分子量氯化鈉之溶液容積，則僅為 18 ml。由於每種溶質，具有不同之溶液容積，因之，等量等 molar 溶液之不同物質，則不含相同數目之溶劑分子，亦不含相同數目之溶質分子。故對 1 molal 溶液，用等量之水稀釋之，並不為 0.5 molal 溶液。因為此種溶液，須要用現在含有之溶劑量去稀釋，而不能用溶液之總容積量去稀釋。

在生理研究上，最方便之溶液配製方式，為採用百分率。其方法之最簡單步驟，即為重量百分率。例如，10% 氯化鈉溶液，即為溶解 10 g 氯化鈉於 90 g 之水中；20% 丙酮溶液，即為溶 20 g 丙酮於 80 g 之水中。此種溶液，稱為重量百分率溶液 (Per cent w/w solution)。如將一固體溶於一液體時，則常用重量/容積百分率。例如水為溶劑，而將固體溶解時，則其重量/容積百分率溶液，即可稱之為重量/重量百分率溶液，因為 1 ml 之水，其重恰為 1 g (4°C)。至於液體中所成之溶液，則用容積/容積百分率溶液。例如，用於色層研究之溶液，其配製則常採用容積之比例。例如 3:3:2 之丁醇-醋酸-水之溶液，即為 3 容積之丁醇，3 容積之醋酸，與 2 容積之水所配成。在配製此液體在液體中之溶液時，由於混合後液體之總容積量，有時會少於混合前各個別容積之總和，故在混合前對於每種液體，須各別計量，然後才可混合。

表示濃度之另一方法，即百萬分之幾 (ppm) 表示之。因為 1 公升之水為 1000 ml，在 4°C 時 1 ml 水重則為 1000 mg，故 1 公升水重為一百萬 (1,000,000) mg。例如，5 ml 物質溶於水中，成為 1 公升溶液時，則為 5 ppm 溶液。一水溶液之百萬分之幾，相當於每公升之若干 mg (mg/l)。

三、電解質與非電解質

有些水溶液能導電，有些則否。前者稱為電解質 (Electrolytes)，後者為非電解質 (Nonelectrolytes)。電解質又可分為強電解質及弱電解質。很多酸、鹼及鹽之溶液，為強電解質；而有機酸，為植物代謝作用中一種重

要化合物，其溶液則為弱電解質；糖、醇及酮等之溶液，則為非電解質。

一種溶液之導電性質，決定於溶液中存在之帶電荷顆粒，即離子(Ions)。帶正電荷之離子，稱為陽離子(Cations)，帶負電荷之離子，為陰離子(Anions)。單個陽離子，可攜帶一至數個正電荷；單個陰離子，亦可攜帶一至數個負電荷。在任一瞬間，一種溶液中所有陽離子所帶正電荷之總數，等於所有陰離子所帶負電荷之總數。

在溶液中，由不同種類電解質所形成之離子，有不同方式之來源。例如，很多電解質如NaCl及其類似鹽類，甚至在結晶形態時，亦具有離子構造。此類化合物形成溶液時，遂打破了構造上之結晶構造，而釋放原已存在之陽離子及陰離子於溶液中，呈靜電平衡。此類化合物，即永為強電解質。

有些物質，在純粹狀態時，並非離子狀態，但在溶液時，即呈離子，例如HCl即是，溶於水即為強電解質。另一類為弱電解質，如醋酸(CH_3COOH)即是。醋酸在溶液時，仍大量呈分子狀態，僅少量解離，而形成低濃度等量之陽離子及陰離子。



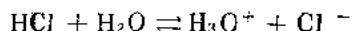
在離子與解離之分子之間，具有動力平衡。例如，1 M醋酸溶液，僅有約0.4%解離；若增加稀釋時，則解離分子之比例亦增加。如0.0001 M之醋酸溶液，則有約15%之分子，存在於解離狀態。在極端稀溶液時，雖弱電解質，亦完全解離。

通常認為強電解質如NaCl，在溶液中為100%解離。此類溶質對溶液之某些性狀如滲透勢(Osmotic potential)(第4章)等之影響，並非決定於完全解離上之量的關係。依據Debye-Hückel定律，強電解質所運用之力，與其完全電離時，並不一致，係認為內在離子吸引力所致。例如NaCl之陰離子及陽離子，由於彼等相反之電荷，而互相吸引，致有些離子成為離子對，而不成為個別離子。而離子對對綜合性質(Colligative property)如滲透勢之影響，僅為此離子個別作用時之一半。故凡是彼此聯在一起或對之離子，在溶液中與自由離子呈動力平衡。

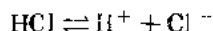
四、酸、鹼及鹽

一物質溶於水時，能形成氫離子(H^+)者，稱為酸。實際上，因為氫離子為一質子，故有時可稱酸為一種能給予其他化合物質子之物質。基於各種原因，游離之氫離子(質子)是並不能在溶液中大量存在。事實上，每個氫離子是與水分子疏鬆地接觸在一起，成為一個鎂離子(H_3O^+)，基於此

點，HCl 之電離，即代表與水之反應。

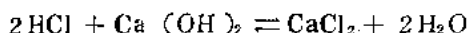


事實上，因為銨離子爲一水化質子，而水化作用之水，則常自化學反應式中略去，故上式可簡化爲：



酸或鹼之「強度」(Strength)，決定於在某一濃度時其解離之程度。鹼爲在溶液中係產生氫氧離子(OH^-)之物質，有時可稱爲能夠接受質子之物質。

鹽爲溶液中之酸與鹼作用時所形成，爲酸中之氫離子與鹼中之氫氧離子間化學結合之結果：



由上，可知鹽爲酸中之陰離子與鹼中之陽離子所結合而形成之化合物。上式中，箭頭向左所示之逆反應，稱水解作用。

五、規定溶液

表示酸及鹼的濃度，常用規定溶液(或稱當量溶液Normal solution)。1 N 溶液爲在 20°C 每公升溶液中含有 1 克當量重(1.008g)之氫離子或與之相反應之量。故 1 N 酸溶液爲每公升中 1.008g 之氫離子，而 1 N 鹼溶液則爲每公升中含 17.008g (1 克當量)氫氧離子。對規定溶液稀釋時，其規定濃度之減低，與稀釋量成比例。一種酸性溶液之規定濃度，係測量其總酸度，亦即依離子化之氫離子測量其濃度；同樣，一種鹼性溶液之規定濃度，係測量其總鹼度。由於 1.008g 之離子化氫離子，代表 17.008g 離子化之氫氧離子之相同數目，故等量等規定濃度之酸及鹼溶液，則彼此恰可中和。

六、氫離子濃度

一些最基本之生理現象，顯著地受基質中氫離子濃度之影響。因之，基

於某些目的，對瞭解溶液中氫離子濃度表示法，較之瞭解溶液之總酸度，來得重要。

總酸度習慣以規定濃度表示之，已如前述。用規定濃度方式以表示氫離子濃度，亦完全可行。因 1 N 醋酸溶液僅約有 0.42 % 解離，此種溶液如以存在之可離子化之氫來表示則為 1 N；如以解離之氫離子表示，則為 0.0042 N。

因為酸並不能呈現完全解離之性狀。故任一種酸之規定溶液，如酸之濃度用具有之氫離子表示時，總是少於規定濃度，故如要配製一種氫離子之規定溶液，則需要製成一種較用總酸度表示規定溶液為高之溶液。此種溶液必須是有精確的強度及解離度，即每公升溶液恰具有 1.008 g 可電離氫，呈解離形態——呈離子。

雖然氫離子濃度可以規定濃度表示，但在實際練習上，並不普遍採用。因其有欠簡便之處，尤其是通常涉及生物問題，需要表示極少量氫離子濃度時為然。一種溶液之氫離子濃度，通常稱為溶液之 pH 值。pH 值與相當於規定濃度溶液之氫離子濃度間，存有一種簡單數學關係。由於實際上，此方法為一般所接受，故必須瞭解 pH 一詞之意義，及其以規定濃度表示時對氫離子濃度之關係。

以規定濃度表示時，pH 與氫離子濃度間之關係，為一對數關係（表 2-1）。任一溶液之 pH 值相當於規定濃度表示時氫離子濃度之負對數。故

表 2-1 以規定溶液表示時 pH 對氫離子濃度之關係

	相當於規定濃度 之 OH 離子濃度	→	pOH	pH	←	相當於規定濃度 之 H 離子濃度
酸之範圍	.00000000000001	10^{-14}	14	0	10^0	1
	.00000000000001	10^{-13}	13	1	10^{-1}	.1
	.00000000000001	10^{-12}	12	2	10^{-2}	.01
	.00000000000001	10^{-11}	11	3	10^{-3}	.001
	.00000000000001	10^{-10}	10	4	10^{-4}	.0001
	.00000000000001	10^{-9}	9	5	10^{-5}	.00001
	.00000000000001	10^{-8}	8	6	10^{-6}	.000001
	00000001	10^{-7}	7	7	10^{-7}	.0000001
	.000001	10^{-6}	6	8	10^{-8}	.00000001
	.00001	10^{-5}	5	9	10^{-9}	.000000001
鹼之範圍	.0001	10^{-4}	4	10	10^{-10}	.0000000001
	.001	10^{-3}	3	11	10^{-11}	.00000000001
	.01	10^{-2}	2	12	10^{-12}	.000000000001
	.1	10^{-1}	1	13	10^{-13}	.0000000000001
	1	10^0	0	14	10^{-14}	.00000000000001