

植物生理學

著者 生華 芸廣 蔣鄭

大學教本
植物生理學

蔣芸生著
鄭廣華

新農叢書

新農企業股份有限公司出版

植物生理學

著 作

權 證

編 著 者 蔣 芸 生 鄭 廣 華

發行委員會 鄭曼倩 余松烈 邵霖生
高順濤 林子琦

發 行 所 上海虎丘路 14 號 41 A 室
新農企業股份有限公司

印 刷 者 上海微寧路 717 弄 12 號
新農企業股份有限公司
印 刷 部

定 價 三・五 折 實 單 位

中 華 民 國 三 十 八 年 八 月 出 版

自序

自序

原植物生理學一科，爲農業植物學之最基本科學，其目的在企圖以簡單之理化原則解釋繁複之生活現象，俾能澈底明瞭左右植物生活之因子，使進而得以人工控制植物之生長者。故作物栽培技術之改進莫不惟此是賴，其與農業關係之切蓋可知矣。目下農業上之重要改進，如生長素之利用，花期之調節，生長促短法之實施，以及最近蘇聯學者所創藉環境改變而育成新品種之方法，均無一而非植物生理學之引申與應用也。故植物生理學一科，習純粹植物學者固屬必修，而隸於應用植物學之農業尤不可不三注意焉。顧國內坊間一般作物學書籍每多善本，而獨對此最基本之科學則尚乏專書，殊堪驚訝。良以植物生理學範圍甚廣，關係至切，而研究者尤多，以此近年來進步頗速，大有一日千里之勢，學理實用，日新月異，每有今日之定論明日即成陳說者，因之欲編纂一較完善而新穎之專書實非易事。編者等雖早具此心，然終遲遲未敢率爾操觚，亦以此也。近受友好敦促，以爲如此重要科目，豈容久懸虛席，雖未能盡如理想，終亦可聊勝於無，藉拋磚以引玉，猶登高之自卑，此正治學者之責職也。編者然之，爰本昔時講稿，幾經修改，補以新說，乃成是冊。惟以近年來海運時阻，參攷資料極難獲得，編者等更因種種關係而未能廣爲搜集，想必多掛一漏百之譏，且以忽促修改，乖誤亦所難免。尙希海內方家，惠予指正，俾得於再版時詳加增訂，則不但編者等之幸，諒亦讀者所企盼者也。

編者等原習農學，故本書中對於有關農學應用各項敘述較詳，尤以生長生殖二章，爲作物栽培之目的，關係更切，故比例上似較一般植物生理學書爲多，是非得失，亦希惠示高見。

Maximov 氏所著 *Textbook of Plant Physiology* 一書，材料豐富而切於實用，頗適於作農學院教本，本書取材於此者特多，惟次第多有變更，使系統更爲分明。不敢忘源，特此附及。

編者 1949 年 7 月序於上海

目 次

植物生理學目次

緒 論(1)

- 一、植物生理學之定義目的及範圍(1) 二、植物生理學在植物學中之地位(1)
三、植物生理學與其他科學之關係(2) 四、植物生理學之應用(3)

第一編 營 養(5)

第一章 水與植物.....	6
一、水與植物之關係.....	6
1. 水之重要性(6), 2. 植物體之水分含量(6), 3. 水分吸收之器官(7), 4. 土 中水分之吸收(9)	
二、水分吸收之原理.....	10
I. 擴散與滲透 1. 擴散與滲透之意義(10), 2. 滲透作用之發現(11), 3. Pfeffer 氏之功績(11), 4. 溶液之滲透壓(14), 5. 等滲透係數(14), 6. 滲透壓之測定(14), 7. 滲透作用之原理(16)	
II. 浸潤作用 1. 浸潤作用之定義(17), 2. 毛細管現象(17), 3. 溶液現 象(18), 4. 浸潤作用(18)	
三、水之上升或轉移.....	19
1. 水分上升之途徑(19), 2. 根毛中水分如何移入葉中(19)	
四、水分之消失.....	26
I. 蒸散作用 1. 蒸散作用之定義(26), 2. 蒸散作用在生理上之意義 (27), 3. 蒸散作用之測定(27), 4. 植物之蒸散量(30), 5. 蒸散之器官 (32), 6. 影響蒸散作用之因子(35), 7. 植物體中水分之平衡(38)	
II. 溢泌.....	39
III. 點泌.....	39
第二章 植物之養分及其吸收.....	40
一、植物體之組成.....	40
二、灰分之分析.....	40
三、植物之必要元素.....	42
四、植物之人工培養.....	42

目 次

1. 培養液之配合(42), 2. 培養之步驟(44), 3. 植物人工培養時之注意事項(45)	
五、各種要素對於植物之功用	47
六、鹽類之毒作用及相殺作用	49
1. 毒作用(49), 2. 相殺作用(50)	
七、植物對於各種物質之吸收情形	53
1. 原形質膜之異透性(53), 2. 物質吸收之比例(54), 3. 物質吸收之狀態(56)	
第三章 同化作用	58
I. 碳素同化作用——光合作用	58
一、光合作用之重要	58
二、光合作用之發現	59
三、光合作用之實驗	61
1. 乾燥量之增加(61), 2. 二氧化碳之分解及氧氣之放散(62), 3. 二氧化碳之必要(62), 4. 葉綠素之必要(63), 5. 日光之必要(64)	
四、影響光合作用之因子	64
1. 葉綠素與光合作用(66), 2. 二氧化碳與光合作用(74), 3. 光與光合作用(80), 4. 溫度與光合作用(86), 5. 影響光合作用之其他因子(87), 6. 結論(88)	
五、光合作用之過程	88
1. Von Baeyer 氏蟻醛說(88), 2. Stoklasa 氏說(91), 3. Willstätter 及 Stoll 氏說(91), 4. 柴田桂太氏說(92), 6. Baly 氏說(93)	
II. 氮素同化作用	93
一、氮素同化作用之重要	93
二、植物需用氮素之來源	94
1. 高等植物氮之給源(94), 2. 固氮細菌(95)	
三、土中氮素之變化	97
1. 氫化作用(97), 2. 硝化作用(97), 3. 硝酸還原作用(98)	
四、氮之吸收與同化	98
五、氮之循環	99
III. 同化作用之生成物	100

目 次

一、碳水化物	100
1. 單糖類(101), 2. 雙糖類(101), 3. 三糖類及四糖類(102), 4. 多糖類(102)	
二、脂肪及類脂體	104
1. 脂肪(104) 2. 蠟質(105), 類脂體(106)	
三、蛋白質	106
1. 蛋白質對於植物之關係(106), 2. 蛋白質之性質(106), 3. 蛋白質之分類(108), 4. 蛋白質之功用(108)	
四、其他產物	108
1. 配糖體(108), 2. 有機酸(108), 3. 氮素鹽基(108), 4. 芳香族酚醇羧酸(109), 5. 香精與樹脂(109), 6. 單寧(110), 7. 色素(110), 酵素維他命及內分泌(110)	
第四章 植物體內物質之轉移與貯藏	111
一、植物之轉移	111
1. 物質轉移之重要(111), 2. 物質轉移之途徑(111), 3. 植物體中有機物轉移之情形(115), 4. 植物體中養分轉移之時期(116)	
二、養料之貯藏	117
1. 養料貯藏之重要(117), 2. 養料聚積之時期(118), 3. 貯藏養料之器官(118), 4. 植物體內之貯藏物質(119)	
第五章 異化作用	120
I. 酵素	120
一、酵素之定義及其重要	120
二、酵素之種類	121
三、酵素之性質	122
四、酵素之作用	123
II. 消化作用	124
一、消化作用之意義及其重要	124
二、消化作用之種類	124
三、各種物質之消化	125
1. 碳水化物之消化(125), 2. 配糖體之消化(125), 3. 脂肪之消化(126), 4. 蛋白質之消化(126)	

III. 呼吸作用.....	127
一、概說.....	127
1.呼吸作用之意義(127), 2.呼吸作用之重要(128), 3.呼吸作用之種類(128), 4.醱酵作用(128)	
二、正常呼吸作用.....	129
1.呼吸作用之測定(129), 2.隨呼吸作用而起之現象(130), 3.呼吸作用中消耗之物質(132), 4.呼吸率(133), 5.影響呼吸作用之因子(134), 6.呼吸作用之化學過程(138), 7.有關呼吸作用之酵素(141)	
三、分解呼吸及醱酵作用.....	141
1.分解呼吸之意義(141), 2.分解呼吸之缺點(142), 3.有關分解呼吸之酵素(143), 4.分解呼吸之化學變化(144), 5.其他醱酵作用(145)	
第二編 生長與運動(147)	
第六章 植物之生長.....	148
一、生長之意義.....	148
二、植物生長之測定.....	148
三、植物生長之情形.....	149
1.細胞之生長(150), 2.器官之生長(150), 3.生長區域(151), 4.植物之生長週期(152), 5.植物各部生長之相關(152), 6.植物之極性(153)	
四、影響植物生長之因子.....	154
I. 內在因子 1.遺傳性質(154), 2.年齡與生活力(154), 3.細胞中之膨壓(154), 4.聚積之養分(154), 5.內分泌(155)	
II. 外在因子 1.溫度(155), 2.光(157), 3.水分(160), 4.創傷(161), 5.電(162), 6.化學物質(164), 7.物理刺激(167), 8.植物間之相互關係(169)	
五、內分泌與生長之關係.....	171
I. 生長素 1.生長素之發現(171), 2.生長素之性質(173), 3.生長素之提取及其測定(174), 4.生長素對於植物生長之關係(175), 5.生長素之利用(177)	
II. 維他命及其他.....	183
六、植物之休眠.....	185

目 次

1. 休眠之意義(185), 2. 休眠之原因(186), 3. 休眠之剋制(187), 4. 後熟作用(192)	
第七章 植物之感應與運動	195
一、植物之感應	195
二、植物之運動	196
1. 植物運動之意義及種類(196), 2. 內部運動(197), 3. 外部運動(198)	
第三編 生殖(207)	
第八章 植物之生殖	208
一、生殖之意義	208
二、植物生殖之種類	208
1. 植物之無性生殖(208), 2. 植物之有性生殖(209)	
三、植物性器官之演化	210
四、植物生殖作用之過程	211
1. 性器官之形成(211), 2. 受精作用(212), 3. 胚之發育及種子之形成(216), 4. 種子之成熟(217)	
五、開花與結實	219
1. 植物之開花(219), 2. 植物之結實(221)	
六、影響植物生殖作用之因子	224
1. 影響植物生殖作用之內因(224), 2. 影響植物生殖作用之外因(226)	
第九章 植物之生活史及其發育之控制	229
一、植物之生活史	229
二、植物之光期感應	230
1. 光期之意義及其重要(230), 2. 植物對於光期之反應(231), 3. 光期對於植物生理之作用(232), 4. 光期處理之方法及其與效果之關係(234), 5. 光期感應之原因(237), 6. 光期感應之利用(238)	
三、生長促短法	238
1. 生長促短法之意義及其發現(238), 2. 生長促短法之理論根據(239), 3. 生長促短處理之方法(241), 4. 生長促短法之應用(241)	

緒 論

一、植物生理學之定義目的及範圍

植物生理學(Plant physiology)乃植物學之一分科,專事究研植物之生活現象(Vital phenomena)者也。

植物生理學之目的,據俄國著名生理學家 Palladin 氏稱:“在對於植物之一切現象獲得一澈底而完整之知識,更進而分析其複雜之生活作用(Life process),俾能用簡單之言辭以解釋之,使最後能適合於理化之原則”。Maximov 氏亦云:“植物生理學之目的,第一在將極複雜之植物生命活動分成簡單各別之機能(Function);第二,證實此種機能在植物習性上所任之任務;最後則對每一作用詳為分析,俾能明瞭其組成之因子”。要而言之,植物生理學乃一種科學,其目的在企圖以簡單之理化原則解釋繁複之植物生活現象,俾能澈底明瞭左右植物生活之因子,使進而得以人力控制植物之生育者也。

植物生理學既為研究植物生活現象之科學,則其範圍自以植物生活現象為限。所謂生活現象,大別之可分為營養(Nutrition)、生長(Growth)、運動(Movement)、生殖(Reproduction)四種,故植物生理學之範圍普通亦均不外此四者。

二、植物生理學在植物學中之地位

植物學之範圍甚廣,然大別之可分為純正植物學(Pure botany)與應用植物學(Applied botany)二大部門。純正植物學僅研究植物之本身,而不及其與人類之關係;應用植物學則適相反,後者如農業中之作物學等均是。

純正植物學之內容亦甚繁複,又可分為二大類:其一研究植物體之組織構造(Structure),其另一則論述植物之機能(Function)。前者又分為二大別,一述植物構造之本質,稱為植物形態學(Morphology),一述植物形態與進化之關係,稱為系統植物學(Systematic botany)。植物形態學之與時間有關者,有胚胎學(Embryology),其與空間有關係者,有細胞學(Cytology)、組織學(Histology)或解剖學(Anatomy)及一般形態學(Gross morphology)。系統植物學中述及現存植物者,稱植物分類學(Taxonomy),述已往植物者,稱為古植物學(Paleobotany)。

研究植物之機能者，又可分為生理學(Physiology)及生態學(Ecology)二者，前者研究植物在人力控制情形下(Controlled conditions)之作用，效果與習性，而後者則研究植物在自然環境下之習性者也。

茲更列表於下以明之：

I. 純正植物學——僅研究植物之本身

1. 研究植物之構造者

A. 研究植物構造之本質——形態學

a. 與時間有關者——胚胎學

b. 與空間有關者

(1) 研究細胞(Cell)者——細胞學

(2) 研究組織(Tissue)者——組織學或解剖學

(3) 研究器官(Organ)者——一般形態學

B. 研究植物形態與進化上關係者

a. 關於現存植物者——分類學

b. 關於已往植物者——古植物學

2. 研究植物之機能者

A. 研究植物在人為環境下之情形者——生理學

B. 研究植物在自然環境下之情形者——生態學

II. 應用植物學——研究植物之與人類有關者，如農藝、園藝、森林、植物病理、作物育種等是也。

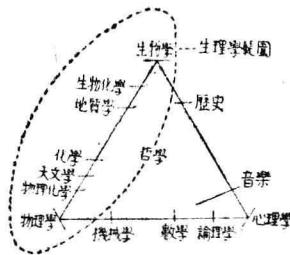
由上表可知植物生理學為純正植物學中一分枝，專事研述植物在人為環境下之情形者也。然各種應用科學，均以純正科學為基礎，植物學亦然，尤以植物生理學與應用植物學之關係最大，如何改良植物之品種，如何獲得最高之產量，以及如何改進作物之栽培技能，莫不惟植物生理學是依，其重要蓋可知矣。

三、植物生理學與其他科學之關係

各種科學，彼此間均有密切之聯繫，性質上雖有極大之區別，然細察之，則其間頗難判然劃分，故 Raber 氏稱之曰知識之光帶(Knowledge spectrum)，言其

互有關聯不可區別也。

目今一切科學，依其性質，可歸納為三大類：即生物科學(Biological science)、物理科學(Physical science)及心理科學(Psychological science)是也，而此三者又同以哲學(Philosophy)為中心。生理學雖屬於生物學，但非單純而係各種有關科學之綜合。Newton 及 Whetham 二氏曾用三角圖示如下：



生理學之範圍

於此可知生理學之關係至廣，而以理化關係尤密，一切複雜之植物生活現象以前無法明瞭者，今得藉理化原則以解釋之。且也，因理化技術上之進步，而植物生理學藉以獲益者亦不少，例如因生物化學之進步，對植物之營養研究便利甚多，而最近物理學之驚人發明，若人造放射性元素之成功，電子顯微鏡之創製，使對植物之生理上以及構造上得更進一步之了解，故此後植物生理學之發展，勢將隨理化而益昌也。

四、植物生理學之應用

Duggar 曾云：“植物生理學乃科學化植物生產之最緊要部分也”，故植物生理學可稱為農業之理論(Theory)，而農業則為植物生理學之實施(Practice)。以作物之栽培而言，何以播種時須覆土而又不可失之過厚？何以移植時須剪去一部枝葉？何以葉菜類多施氮肥而果菜、根菜多施磷鉀？凡此種種，莫不根據植物之生理而善為應用，庶能得滿意之收穫。雖老農不明植物生理，亦能憑經驗而得豐收，然欲進而求栽培技術之改良，則非研究植物生理不為功。近數十年來，因植物生理學之進步而發明新奇方法者，已不乏先例，如作物生長期之促短，無子瓜果之養成，利用生長素以促進發根，採取刺激法以打破休眠，應用染色以測定種子之發芽率，

控制光照以左右植物開花期，均其著者也。在此第二次大戰中，美軍已使水液培養法見之實用，在硫磺島不毛之地，栽植蔬菜以供士兵，使農業日益迫近工業化之途，蓋亦植物生理學之應用也。此後植物生理學必繼續發展，則農業技術自必能隨而愈益改進，預計不久之將來，植物之生長、發育、營養、生殖，必將盡受吾人之控制，而使農業能充分達工業化之目的，似可斷言。然此固非一蹴可就，尚有待於植物生理學家之努力，與夫農學家之善為應用也。

第一編 營 養 Nutrition

植物是生物 (Living thing), 惟其是生物, 故有生活作用 (Life processes)。生活作用者, 生長、運動、生殖等是也。生活作用必有其原動力, 而後能行使作用; 支配生活作用之原動力曰生活力 (Vital energy), 而吸收外界物質以組成自體或取得其生活力之作用謂之營養 (Nutrition)。植物生活力之由來, 乃植物體所儲有之養分如碳水化合物 (Carbohydrate)、脂肪 (Fat)、蛋白質 (Protein) 等氧化而生成能力 (即呼吸作用)。碳水化合物之轉變為能力, 是由消費作用, 消費作用旺盛, 則養分容易消耗, 於是生活作用逐漸減低, 但同時另有構成作用, 即吸收外界之碳酸氣、水而製成葡萄糖 (Glucose) 等以供消耗, 是為新陳代謝作用 (Metabolism)。故新陳代謝作用實包含破壞作用 (Catabolism, 或稱 Destructive metabolism) 及構成作用 (Anabolism, 或稱 Constructive metabolism) 二部分; 前者亦稱異化作用 (Dissimilation), 後者亦稱同化作用 (Assimilation), 營養中所討論者即此二者。

第一章 水與植物

一、水與植物之關係

1. 水之重要性

植植是生物，故水對於植物之重要猶對動物。人類無水，則不能生存，如世之著名絕食家 Kuntzler 能 31 日不食，但不能不飲水。植物亦然，無營養料可以暫時生存，無水分則須臾即死，如園藝上之插花 (Cutting flower)，既不在土壤中，亦無營養料供給，僅插於水中，仍能開花；反之，插於乾土中，則立即枯死，是植物需水之明證也。植物需水之原因，可分下列說明之：

A. 植物生活作用，是一種化學反應，此種反應，各物質須在液體狀態方能發生作用；反之，物質不溶化，則植物不能吸收，而化學反應亦無由起。且原形質為生物生命之基礎，為組成生物之單位（細胞）之內含物，成一半固體、半液體之膠體 (Colloid) 狀態，若無水分，則植物之諸種作用，均將停止矣。

B. 植物最重要之一種作用曰碳素同化作用 (Carbon assimilation)，此作用為一切生活作用之初步，其原料為水及碳酸氣；故又可知水分之重要矣。

C. 水分可使植物保持相當膨壓 (Turgidity)，植物組織須有相當緊張方可支持上部體軀，否則容易倒坍，而組織緊張之狀態，又與水分之多少有關也。

2. 植物體之水分含量

植物體含水量之多少，依植物種類而不同，如水生植物 (Aquatic plant) 含水量特多，沙漠植物 (Desert plant) 則含水少；其次依植物部分而不同，如種子含水量少，莖葉則較多；又依生長時期而不同，如植物幼時水分較多，衰老時則少。又生長情況亦與水分含量有關，生於乾燥之地者水分少，生於濕潤之地者水分多。茲引 Maximov 氏所引證之各種植物之含量如下：

植 物 名 稱	含 水 量	植 物 名 稱	含 水 量
蘋果 Apple	83.2%	洋葱 Onion	87.0%
甜菜 Sugar beet	86.5	馬鈴薯 Potato	78.9
甘藍 Cabbage	90.5	甘藷 Sweet potato	71.1
胡瓜 Cucumber (果實)	96.0	小麥 Wheat (種子)	14.3
茄子 Egg plant (果實)	93.4	稻 Rice (種子)	12.6
翹搖 Clover	78.2	玉蜀黍 Indian corn (種子)	10.9

此表乃就一般植物而言，若海藻(Algae)則含水量多至 98% 以上。

3. 水分吸收之器官

水分含量既多，且又重要，其吸收水分之器官如何，固應討論者也。

A. 葉 Leaf 葉是否能吸收水分，此為昔時學者所爭持之一問題，如 17 世紀 Mariotte 氏本其實驗，謂葉可吸收水分，但無一具體證明，故不足置論。至 18 世紀 Hales 氏亦試驗證明葉可吸收水分，氏將櫻桃及蘋果二枝條（有葉者），將下部（有葉）插於水中，上部露出水外；櫻桃經八日後，上部葉子枯落，而蘋果經十一日始枯葉。於是謂上部葉所以不能立即枯死者，由於下部葉之吸收水分，以補償上部葉之蒸散，故結論謂葉能吸收水分。但以今之學說以證明，則知葉不能吸收水分，因葉之表面有一層角皮(Cuticle)保護，雖葉上有氣孔(Stomata)，水亦可進入，但氣孔有空氣在內，依物質不可入性(Impenetrability)，則知水分不能進入，但何以 Hales 氏證明似為能吸收水分，是則因葉上之角皮分子有空隙，水分得由浸潤作用(Imbibition)而入；及上部葉少蒸散量小之故（下部浸於水中，蒸散更小）。今吾人知葉非但不能吸收水分，而且有許多附着物如臘質、毛茸等專為防止水分之蒸散者。惟水生植物以其根退化之關係，於是其葉變成能吸收水分，一如根焉；如槐葉萍(*Salvinia natans*)是，此為例外耳。

B. 莖 Stem 莖能吸收水分，如插在花瓶中能生活數日，是為莖能吸收水分之至簡證明。又如將白牡丹花摘下，插於紅墨水中，經相當時間後，白牡丹花變成紅色，亦是明證也。莖能吸收水分之原因，因莖含有導管(Vessel)，導管為一細管狀物，莖插於水中，因毛細管引力(Capillary attraction)、大氣壓力(Atmosphere pressure)、黏着力(Adhesion)、凝結力(Cohesion)等之故而水得上昇，但插花終不免枯死者，其原因有：(a)由於物理學上之不可入性之關係；當吾人用剪剪花時，空氣即進入導管，導管中有空氣，於是水分被隔斷，不能上升；故吾人須將花剪斷略長，浸入水中，然後再在水中剪短，則可免此弊而多支持時日；(b)由於切口有細菌繁殖，而使導管封閉；(c)由於切口發生有黏液(Mucilage)，而使導管口封閉；(d)由於養料之缺乏，插花於水中，水含養分少，故容易枯死。

C. 根 Root 葉不能吸收水分，莖雖能吸收，但無吸收機會；故植物唯一之吸收器官為根。茲就根吸收水分之作用申言之。

(1) 根羣在土壤中之分佈 植物根之分佈情形，其分佈之廣大異乎分佈之深淺，常在吾人想像之下。Nobbe 氏謂小麥(Wheat)充分發育者，其根羣之長度，總合之有 500—600 呎，又玉蜀黍(Indian corn)之根充分發育者，連接之可達 25 公里之長。Weaver 氏取旋花科之一種植物名 *Ipomoea leptophylla* 者觀察之，其地上枝莖之高僅 75 呎，而在地下之根，深可達 3 呎，闊可至 16 呎。上述諸例，均屬草本植物，體軀不大，已有如此長大根羣；至於木本植物，其根羣之分佈更可想見矣。

小麥甘藷吸收水分之深度祇能在 20 呎左右；但依 Weaver 氏調查，此二者不止此數，可深至 75 呎，而玉蜀黍吸收之深度可至 1—2 呎。根羣在土中分佈之廣，已如上述，而吸收水分之深度又復如此，其所吸收水分之量，可以概見矣！

雖然，根羣分佈甚廣，根羣吸水能及於低深，則其所吸收之水量實甚巨大；但事實往往不然，是由於環境條件左右之也。茲列論其條件如下：

(a) 土壤構造 土壤結構疏鬆者，根羣分佈廣大；反之，結構緊密者，根羣分佈較小。

(b) 土壤水分之多少 土壤水分之多少亦可左右根羣之分佈。如 Weaver 氏調查十一種植物，生長濕潤地中者，其根羣分佈較生長於乾燥地中者為大。

(c) 土中養分之多寡 據 Weaver 及 Nobbe 二氏調查，根羣生長於養分少之土壤中，分佈小；反之分佈大。又 Frank 氏以豌豆為材料，凡施有硝酸鹽者，根羣分佈大；因硝酸鹽為豌豆之一至好養料也。

(d) 土壤中之酸度 土壤之酸度(pH value)之大小，亦可左右根羣之發長。Tottingham 及 Rankin 二氏以小麥作材料，依酸度之不同，而觀察小麥之根羣。結果酸度在 7.5 者，根羣發育最佳。過於此數或小於此數則發生影響。又 Hoagland 氏謂酸度在 6.16—7.07 時，大麥根部發育最佳。

(e) 土壤中氧氣之多寡 一般言之，土壤中氧氣少至 1—2 % 時(空氣中含氧約 1/5)，則有損於根羣之生長。Balle 氏曾將棉之根完全浸入水中，使不與氧氣接觸，閱十日後，根全死亡。Bergman 氏浸鳳仙花於水中，則根羣漸趨死亡而減少，但取出水外，則又生長如初。

(2) 根毛之作用 植物之根分羣主根(Main root)及側根(Lateral root)；