

農作物施肥法原理

王世中著

247

商務印書館印行

農作物施肥法原理

王世中著

商務印書館印行

序 言

民國廿年九月十八日暴日侵我東四省，至今已十餘載。我中華民國國民在兵禍連結之中，或由少而壯，或由壯而老。生命之傷亡，文化之毀殘，財產之喪失，非數目所可表示，非言語文字所可形容，實我中華民國開國以來空前未有之浩劫也。茲者，真理即將戰勝強權。戰後我國民生活之恢復，和平之保障，端賴此後吾人之精神與物質之建設。物質建設，以農為本。農業建設，首重肥料。肥料之倡用當如何乎？

肥料者，能改良土壤性質，或供給植物以營養素使植物產量增加之物料也。可改良土性之肥料，沿用已久者，有富含有機物之肥料，石灰等，近則又有鹼性岩石（玄武岩等）粉及兼含石灰之化學肥料等。自十九世紀中葉 Knop, Sachs 等氏發表其水耕研究結果後，世人咸知植物所必不可缺之營養素有 C, H, O, N, K, Ca, Mg, Fe, S 與 P 十種。至 1911 年，法人 Maze 氏言植物所必不可缺之營養素除上列十種外，尚有其他。嗣後，水耕研究法之進步日新月異，用最純粹，幾不含任何雜質之化學藥品，以石蠟塗器壁，以避免玻璃所含之元素溶解於水中。又用各種植物為試驗，發現 Mn, Zn, Cu, B, Si 等亦為植物所必不可缺者。用普通方法作水耕試驗時，可不將此類元素加於水中，因由玻璃溶解而入於水，或普通「化學純淨」（Chemisch rein）之藥品所含此類元素之量已足應植物之需要也。普通土壤僅缺 N, P, K，人稱之曰：肥料三要素；或增之以 Ca，稱之曰：肥料四要素；或再增之以 S，稱之曰：肥料五要素。然土壤缺乏 Mg, Fe, Mn, Cu, 或 B，施之可增加植物產量或免除病害者，亦時有發現。（參考：1. Arbeiten über kaligünger. Verlagsges. für Ackerbau, Berlin, 1905. 2. H. Molisch, Die pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Verlag G. Fischer, Jena. 1892. 3. H. Lundegardh, Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. G. Fischer, Jena, 1930. 274 ff. 4. J. Hudigu, Mitarb., Zeit chri. f. Pfl. Ern., Dgg. u. Bodenkd. 8A. 15-62, 1926/27. 5. T. R. Cox,

Jour. Am. Soc. Agr. 32, 354, 1940. 6. K. Warington, Ann. of Bot., 37, 629, 1923-chem. Zentralbl. 1924, II, 61-Ann. of Bot., 40 27, 1926.) 近人又有於溫室中增加空氣之二氧化碳成分，察得亦可增加植物產量。(參考：Honecamp, Handbuch der pflanzenernährung u. Düngerlehre, Bd. II, 1931.)。本書因篇幅所限，僅討論 N, P, K, Ca 及腐植質肥料。

● 科學施肥法之基本原則係以腐植質肥料 (Humusdünger) 與石灰施於土壤，改良土性，稱曰「土壤之肥料」(Bodendünger)，另以濃厚之化學肥料補充土中所含植物營養料之不足，稱曰「植物之肥料」(Pflanzendünger)。我國農民極缺肥料。土壤之貧於腐植質者，幾處處皆是。離城鎮較遠之處，幾無肥料可施。為使吾人之農作物得充足之營養素計，吾人將來勢不能不大量引用化學肥料以濟吾人肥料之不足。如引用化學肥料，吾人不能不大量引用「土壤之肥料」，其目的不僅在於預防引用化學肥料所起之土質劣化，且在改良土性，使「植物之肥料」效力更為宏大。故吾人將來所選擇之施肥原則，似不能與歐西相逕庭，即：以「土壤之肥料」維持並改良土性，以「植物之肥料」供給植物以營養素。關於此點，本書各章將着重反覆闡述之。

農作物之施肥法，須視氣候，土壤，作物種類與品種，輪作制度，肥料來源，及其對作物產量與品質之影響，經濟情形等等，而擇其宜。我國之上述因子與其他農業發達國家不同，故吾人不能完全抄用其施肥法。我國各地之上述因子亦互不相同，故我國各地所應有之施肥法亦不能相同。尤有進者，截至目前，吾人在全國各地所得之肥料研究成績仍極微少，故吾人現實無科學研究所得之根據，以決定我國各地農作物之施肥法。此乃我國農業化學家所應聚其全力以研究之事也。本書乃搜集外國之材料（本國材料亦盡量援用），闡述上述因子與施肥之關係——即施肥之原理，期國人從事肥料研究者，有所參考。

本書第一章係導言，述肥料與研究肥料之重要及肥料之分類。第二章述腐植質肥料，我國農民極缺腐植質肥料，而倡用肥料非有大量腐植質肥料不為功。化學肥料之製造賴少數化學家，腐植質肥料之製備則賴多數農民與農學者。本書乃為習農者而作，故對腐植質肥料之敘述，不厭其詳。綠肥，廐肥，及堆肥乃我國原有之腐植質肥料。人工廐肥與糞肥在我國頗有試用之價值，故亦述之。第三章述天然肥料（腐植質肥料除外）與化學肥料。對化學

肥料製造法之敘述，力求簡略，習農者知其原理即足也。第四章初述決定施肥法時所應參考之事項，終以農作物為主，述世界各學者研究其施肥法所得之結果，藉明其原理，使讀者對各農作物之施肥法得一較實際之概念。高粱，小米，甘藷等作物，在我國頗為重要，惜研究其施肥法者甚少，本書均不述之。幸讀者諒之！

著者不才，兼以戰時搜集資料不易，疎忽之處，在所難免。望海內賢達指正！

王世中序於呈貢 民國三十四年元旦

目 錄

序 言	
第一章 導言	1
第一節 肥料在農業上之重要性	1
第二節 研究肥料之重要	2
第三節 肥料之定義與分類	4
第二章 腐植質肥料 (Humus düngern)	6
第一節 腐植質肥料之功用	6
第二節 綠肥 (Grüdüngung)	7
第一目 綠肥之功用	7
第二目 種植綠肥作物之環境	12
第三目 栽培綠肥作物之制度及其他應注意之事項	16
第四目 施用綠肥所應注意之事項	20
第三節 廐肥 (Stallmist)	21
第一目 廐肥之原料	22
第二目 堆積廐肥之目的及應注意之事項	23
第三目 堆積廐肥之各種方法	26
第四目 廐肥之肥料價值	28
第五目 廐肥之施用法	31
第四節 人工廐肥 (Kunstmist)	32
第五節 藁肥 (Stroh düngung)	33
第六節 堆肥 (Kompost dünger)	34
第三章 天然肥料 (Natürliche Düngemitteln) 與化學肥料 (Chemische Düngemitteln)	37
第一節 天然肥料	37
第二節 化學肥料之製造法，成分與性質	41
第一目 氮素肥料	41

第二目	磷素肥料	44
第三目	鉀素肥料	47
第四目	石灰肥料	48
第五目	混合肥料	48
第三節	化學肥料之重要性及其必須與腐植質肥料並用之原因	49
第四節	氮肥之施用法	58
第五節	磷肥之施用法	63
第六節	鉀肥之施用法	65
第七節	石灰之施用法	67
第四章	各種農作物之施肥法	70
第一節	決定施肥法所應參考之事項	70
第一目	農作物	70
第二目	土壤	75
第三目	氣候	82
第四目	肥料	83
第五目	輪栽制度	83
第二節	穀實作物之施肥法	84
第一目	水稻之施肥法	84
第二目	小麥之施肥法	98
第三目	大麥之施肥法	100
第四目	黑麥之施肥法	102
第五目	燕麥之施肥法	104
第六目	玉蜀黍之施肥法	106
第三節	根莖作物之施肥法	106
第一目	洋薯之施肥法	106
第二目	甜菜之施肥法	111
第三目	飼料芥菜之施肥法	117
第四節	豆科作物之施肥法	117
第一目	蠶豆之施肥法	117
第二目	豌豆之施肥法	118
第三目	羽扁豆之施肥法	118

第四目 紫苜蓿與聖三葉草之施肥法	119
第五節 油菜之施肥法	119
第六節 纖維作物之施肥法	120
第一目 棉之施肥法	120
第二目 亞麻之施肥法	125
第三目 大麻之施肥法	126
第七節 牧草地與牧場之施肥法	127
第一目 牧草地之施肥法	127
第二目 牧場之施肥法	129
第八節 甘蔗之施肥法	130
第九節 菸草之施肥法	131
第十節 蔬菜之施肥法	136
第一目 通論	136
第二目 各論	138
第十一節 各種輪栽制之施肥法舉例	140
第一目 肥土與重土之輪栽制之施肥法舉例	141
第二目 中常土壤（壤質沙土與沙質壤土）之輪栽制之施肥法 舉例	143
第三目 輕沙土之輪栽制之施肥法舉例	145
附錄一 重要參考文獻	
附錄二 中外度量衡制簡表	

農作物施肥法原理

第一章 導言

第一節 肥料在農業上之重要性

古代南美洲濱海之區，有一小國，名曰印卡（Inkas）。其所屬之海，島嶼甚多，上產鳥糞，可以肥田。印卡分數省，每省皆有其鳥糞島。鳥之面積大者，數省分佔之。此村之人往竊彼村之鳥糞者，科以死刑。在海鳥孵卵期中，人民不得登島取糞，障其繁殖也。違者，科以死刑。印卡人民亦用魚頭與人畜排洩物以肥田。種植玉蜀黍與洋薯時，施用尤多。古代北美之開化民族，一如東亞民族，缺乏牲畜，所用肥料，特色相同，注重人與家畜之糞尿。在山地或斜坡上，從事耕種者，恆用憩田制。憩田之年，地上遍生植物，以火焚之，用灰肥田。在埃及，尼羅河按期泛濫，沉積河泥於田中，增其肥沃。以故，古代埃及人不用家畜之排洩物以肥田。阿剌伯人與猶太人，原始之時已知用人與畜之排洩物為肥料。或製為乾糞（Poudrette），或加糞尿於其中，使其腐敗而後用。在古希臘時代，Hesiod氏云，憩田之制不足以恢復土壤之肥沃性。Xenophon氏與其他學者則建議以雜草，糞尿，及泥土等與糞尿混合而後使用，藉增其量。在亞歷山大大帝之時，希臘法律對於忽視管理肥料及偷竊肥料者，施以重罰。由此可見古希臘人對肥料重視之情形。古羅馬人對管理肥料與施肥方法，異常講究。知堆製廐肥應緊密，應避免日光之照射，以防乾燥，應多加糞尿。廐肥運至田中，應立即犁下。大量肥料，不可一次施下，應分作數次而施。各種家畜之糞尿，價值不同。Cato氏云，鳥糞肥效蓋於一切肥料。草木灰、石膏、灰泥石（Marl）等之施用亦頗普遍。綠肥之用，為時甚早。Columella氏云，秋時割下某種植物，犁於土中，可以肥田。Palladius氏云，海中植物，淡水洗後，亦可肥田。古代東亞民族亦重施肥。我國與日本栽培飼料作物與牧草作物之風不

盛，畜牧不興，人之食料，多係植物。故自古以來，即重人與畜之排泄物。囊汜勝之書載：「伊尹作區田，教民糞種，負水澆稼，區田糞氣為美。」綠肥、骨角、石灰、石膏等之用，我國人民早已知之。日本人民常以海藻為綠肥。綜上觀之，古代人民已知肥料對於農業之重要，而異常加以重視，努力倡用與研究之矣。

德人常言，J. Liebig 與 H. Hellriegel 兩氏為德國所奪取之土地，其面積較腓得力大帝與俾斯麥首相為德國所奪取者尤大。蓋前二者研究肥料之結果使德國農產物之量大行增加。後二者則係以政治與軍事之力量為德國增加農田之面積，因而增加農產物之量。此足見德人對於肥料之注重。歐美各國，農業發達者，其於每單位面積之農田所施用之肥料數量亦必多（參考第三章第三節）。凡此皆足以見，歐美之人對於肥料重要性之認識。

據 Buck 氏之報告，平均言之，我國農民有百分之九十以上均稱肥料不足施用，若能多用即可增加農產。據農林部中央農業實驗所土壤肥料組張乃鳳葉和才等氏之意見，吾國農田缺肥甚多，如能得充份之肥料，我全國水稻產量可增30.9%，小麥可增22.7%，棉花可增26.4%，油菜可增47.6%，據四川省農業改進所彭家元與陳禹平等氏之估計，四川全省「除成都平原各縣肥料來源稍為豐富外，其他各縣均屬極端缺乏。大概肥料不足量若以最高產量為準，缺乏百分之五十六，如以普通產量為準，缺乏百分之三十七。」彭陳兩氏雖未言明「最高產量」與「普通產量」為若干，但已足見四川農產受肥料不足所限制之情形，及充份施肥大增農產之可能。廣西土壤較為貧瘠，缺肥最甚。廣西各農事機關曾在廣西十三縣施行肥料試驗。據其估計，該數縣農田土壤若得充份之氮磷鉀之補充，可能增加作物產量平均達 108%。此外，吾國會從事肥料試驗之農事機關、學校、團體，莫不皆報告農田土壤缺肥甚多之情形。不談改進農業之其他技術，即講求肥料一事，所能增加之農產數量，已極可觀。且農作物良好品種之育成也，若無充足之肥料，及其適宜之施用法，不能盡性生長。防除農作物之病蟲害也，須先使其生長壯健，對外界侵害之抵抗力堅強。欲達此目的，肥料其工具之一也。他如作物之品質，肥料亦可控制之。菸草之香味與燃燒性，洋薯之澱粉含量等，係其例也。由是觀之，肥料對於農業之重要，何須再贅言哉！

第二節 研究肥料之重要

吾國農家，對於肥料，向至重視，所用肥料之種類既多，方法亦繁。其中與科學符合者固多，與科學違反者亦有。與一世紀前歐洲農民較，所勝無幾。惟近一世紀以來，科學昌明，舊肥料之改良，新肥料之發明，及施肥法之進步，使農田產物增加空前。現代施肥注重「施肥於土壤」。因現代土壤學認土壤之肥沃靠其天然之營養素存量小，靠其穩固之營養素保存物大。此種保存物即岩石風化所成之黏土與土壤腐植質。黏土與腐植質能吸着由風化而解放，與由人工加入之大量營養料，又能隨時放出，以供植物利用。土壤之水份，營養素，通空氣性，及有益微生物之工作等，大有決於此保存物之穩定性。苟腐植質及黏土細粒均為鈣與鎂所飽和，則成穩固，不易分解之土壤團粒。鈣與鎂(但不及鈣之重要)使腐植質及黏土細粒結合，並使土壤有適宜之孔性構造，含水量，反應，與營養素之利用力，以利植物之生長。土壤之性質能如此，則所施肥料中之營養素之効力更能宏大。以故，施用腐植質肥料與石灰係施肥成功之先決條件，亦近代施肥法中最主要之工作。吾國農民，牲口不多，厩肥甚少，就普通情形言之，所用之腐植質肥料甚少。土壤普遍皆缺乏腐植質。吾國農民施用肥料之時，多施於植物之根際，俾植物能盡量利用之，可見其忽略土壤改良物，重視植物營養素之情形。外人皆謂吾國農民僅知施肥於植物，不知施肥於土壤。吾國農民喜用綠肥者，其農田常較肥沃。腐植質對土壤之重要，彼等已能體會之。惜無科學之智識，知其然不知其所以然，亦不盡量推廣實行之也。吾國農民亦有常用石灰者，但不知以之與其他肥料配合施用而盡得其利，反有因施用不得法，損壞地力，減低農產者。現代之植物營養學證明有若干元素係植物生長所必不可少或有益者。天然肥料固常含有之，其量不足，乃以人工方法，製造化學肥料以濟之。此實為近代農業界之一革命。吾國除抗戰之前沿海農民每年用約十萬噸之硫酸銨，略知化學肥料之皮毛外，內地農民尚不如化學肥料為何物也。其所用之肥料均係沿襲數百年前或數千年前吾人祖宗所創用者，有待於科學改良之處不少。猶有進者，現代之肥料，種類繁多，性質互異，其施用之方法須視氣候、土壤、植物、農業制度、經濟情形等等之不同而決定。北美農民之施肥法與北歐不同。北歐農民之施肥法，吾人亦不能完全抄襲。不特此也，按農業情形之不同，我中華民國一國已應分為若干農業區。各農業區所應用之肥料與施用之方法，已絕不能相同。華北冷而乾，華南暖而濕。西北畜牧興盛，東南則專重農藝。濱海農民，可用魚肥。產桐之麴，始有桐麴。情形極

為複雜。故欲在我國推廣現代之肥料與施肥法也，必須在我國各農業區域施行研究，先決定各區所可引用之肥料，次及其施肥法而後可。

第三節 肥料之定義與分類

肥料者能改良土壤性或供給植物以營養素使植物產量增加之物料也。肥料之分類法頗多。其界限常不分明。為切合實用起見，本書將之分為兩大類：天然肥料 (natürliche Düngemittel) 與化學肥料 (chemische Düngemittel) 或人造肥料 (Kunstliche Düngemittel)。天然肥料者，其原料來自動物或植物之肥料也，例如廐肥、綠肥、各種糞尿、油餅、堆肥等是。其特徵為體積龐大，含植物營養素較少。化學肥料或人工肥料者，其原料非來自動物或植物，並係利用化學方法所製造之肥料也，例如硫酸銨，過磷酸石灰，硫酸鉀等是，其特徵為體積微小，含植物營養素較多。

歐美文獻中又有所謂「土壤之肥料」(Bodenh nger) 與「植物之肥料」(Pflanzendünger) 者。廐肥、綠肥、堆肥等含有機物甚富，在土中可變為腐植質，改良土性，亦含有植物營養素，故係土壤之肥料，亦係植物之肥料，亦可稱為「腐植質肥料」(Humusdünger)。石灰之主要功用在於改良土性，係「土壤之肥料」。硫酸銨之主要功用在於供給植物以營養素，故係「植物之肥料」。石灰氮素 (Kalkstickstoff) 可供給植物以營養素又可改良土性，係植物之肥料，亦係土壤之肥料。據此，吾人可將肥料分類如下表：

I、天然肥料：

A. 土壤之肥料兼植物之肥料(腐植質肥料)——廐肥、綠肥、堆肥、糞肥等。

B. 植物之肥料——油餅、人糞尿、毛、髮、血粉、肉粉等。

II、化學肥料或人造肥料：

A. 土壤之肥料兼植物之肥料——石灰氮素，Nitrochalk, Kalkamonsalpeter 等。

B. 植物之肥料——硫酸銨，硝酸鈉，過磷酸石灰，硫酸鉀等。

Adolf Meyer 氏曾按肥料經植物之吸取所引起之培養基反應之變化而將其分為三類：(一)生理的中性 (Physiologisch-neutral) 肥料，(二)生理的性 (Physiologisch-Saur) 肥料，與 (三) 生理的鹼性 (Physiologisch-

alkalisch) 肥料。生理的中性肥料者，經植物吸取之後，其培養基之反應不生變化。其原因或由植物吸收其酸基與鹼基之量變為相等，或由於其所剩留於培養中之物係一弱酸或弱鹼，對培養基之反應不生影響。硝酸鎂與硝酸鉀係前者之例。碳酸鎂係後者之例。生理的酸性肥料者，作物吸收其鹼基之量多於酸基，其培養基中酸量漸漸增加，並變酸化。硫酸鎂，氯化鎂，硫酸鉀等，即其例也。生理的鹼性肥料者，作物吸收其酸基之量多於鹼基，其培養基之反應漸變鹼性，硝酸鹽肥料，除硝酸鎂與硝酸鉀外，皆其例也。

肥料之分類法，常不能有明顯之界限。以上所述，頗有意義，故乃提舉之。

第二章 腐植質肥料 (Humus dünger)

第一節 腐植質肥料之功用

俄國及其他各國之黑土，係土壤中生產力最大者。其主要性質在其富於鹼性腐植質，及其為鈣，離子所飽和之有機與無機之吸收力強大之組成物及其充足之石灰含量。土壤必須具此種性質，始能肥沃，其生產植物之能力始為可靠。如土壤缺乏此種性質，則必須施肥料以濟之。

以礦物質吸收力強大之物質施於土壤，困難甚多，常不經濟。Lemm-ormann 氏施黏土於沙土，作盆栽試驗，證明此法確能增加植物之產量。倘有人試驗以矽酸 Silico phosphat 等施於沙土者，所得結果與上相若。但在實際農事上，此類方法不能適用。吾人現所習用之法係以有機物與石灰加於土壤，以維持並增加其肥沃性。關於前者，吾人係用腐植質肥料。腐植質肥料係富於有機物之肥料，以之施於土壤，能增加後者之腐植質含量，並改良其性質。關於石灰之施用，吾人將於下章論之。

施用腐植質肥料之重要，現已不容吾人置疑。專用腐植質肥料，不用礦物質肥料，亦不能使農田達其最大生產量。合理之施肥法須腐植質肥料與礦物質肥料並用。腐植質肥料係「土壤之肥料」(Bodendünger)，能改良土壤之性質使其適於為高等植物及有益微生物之生長所。腐植質肥料亦能供給植物以營養素，但其主要功用不在於此。供給植物以營養素之工作乃土壤與礦物質肥料之任務。此乃合理施肥法之基本原理。

施用腐植質肥料之目的在於輸添大量有機物於土壤，使其變為土壤腐植質，增加並改良土壤之吸收複合物 (Bodenabsorptionskomplexe)，俾由施用礦物質肥料而加於土壤之植物營養素得充份發揮其效力。今人有作田間試驗，比較廐肥與礦物質完全肥料之效力，發現施用廐肥較不經濟，其所含營養素之價格較礦物質肥料所含者高。此蓋因試驗時間過短，廐肥尚未發揮其改良土壤之效。廐肥之價值不在其營養素也。

我國土壤普遍缺乏腐植質。提倡腐植質肥料實為吾人最重要工作。歐美畜牧發達之國家盛用廐肥。我國農家，牲口不多，廐肥極缺。或有主張提倡畜

牧，解決肥料問題者。此事實不簡單，斷非短期之中所能奏效。以余觀之，在最近之將來，我國仍以綠肥堆肥為最重要。人工廐肥及糞肥是否有推廣之價值亦足供吾人之研究。腐植質肥料係每一農田非施不可之肥料。所施之種類，則視經濟情形決定之。

第二節 綠肥 (Gründüngung)

施用綠肥者，鞏含汁甚富，未成熟之綠色植物於土中，以達增加植物生產量之目的之謂也。綠肥作物增加植物生產量之方式有增加土中有機質與氮素含量，以其深根疎鬆下土，解放礦物質營養素，遮蔽土壤，保持水分等。每一綠肥作物非盡有以上所述之功用。例如，白三葉草與黃三葉草之根並不深長，施用菸葉，雜草所能增加於土壤之氮素並不多。

第一目 綠肥之功用

1. 綠肥作物之發展及其價值。綠肥作物之根常能伸入下土並疎鬆之，使下造作物之柔根能利用其根道達於土之深處及潮濕處。如無此根道，許多農作物之根不能伸至下土，因後者常係至為緊密堅韌。A. Schultz-Lupitz氏曾試驗得，在不種綠肥作物之田中，洋薯之根僅伸至40—45公分深處，種羽扁豆之田中，達120公分。冬黑麥之根在同樣試驗中，一達40公分，一達90—100公分。

綠肥作物具粗大主根者有羽扁豆，紫苜蓿，聖三葉草，紅三葉草，蠶豆等。其疎鬆下土之工作，至足令吾人注意。白三葉草、黃三葉草、春苜蓿等根短，不能疎鬆下土。茲將 A. Schultz-Lupitz, H. Hellriegel, A. Orth, C. Fruwirth, H. Thiel, C. V. Seelhorst, H. Werner 等氏所測得數綠肥作物之根之入土深度抄錄於下：

黃羽扁豆 (Gelbe Lupine)	60—232公分
藍羽扁豆 (Blaue Lupine)	66—128公分
白三葉草 (Weissklee)	17.5公分
豌豆 (Erbsen)	80—26公分
春苜蓿 (Wicke)	30—90公分
蠶豆 (Pferdebohne)	80—120公分
西班牙豌豆 (Spanische Platterbse)	60—80公分
合拿得拿 (Seradella)	66—84公分

紅三葉草 (Rotklee)	120—200公分
黃三葉草 (Gelbklee)	15—35公分
拍魯斯克 (Peluscke)	30—40公分
冬苕 (Zotterwcke)	30—50公分
白甜三葉草 (Bokhaaklee)	110—195公分
紫苜蓿 (Luzerne)	超2公尺—10公尺(?)
聖三葉草 (Esparsette)	超2公尺—10公尺(?)

植物根之入土深度不但隨植物種類而異，同類之植物亦常不同，蓋此不但有繫於植物本身，亦有視於外界因子。如土壤中有緊密之土層，如黏土層或硬盤層，則可阻礙許多農作物（穀實作物，洋薯等）之根之發展。但綠肥作物中却有許多（羽扁豆類，蠶豆類）能穿過此種土層。在緊密之土層中，植物根之發展，無論向下或向旁，均大受抑制，及伸至較為疏鬆之土層時，又大行擴展。孔道既成，其他穿透力較弱之植物根亦得達土之深處，但其根網不能正常，而較狹窄。

植物根入土之性亦有決於土壤之反應，含沙及含黏土量，下土之濕度等。羽扁豆不喜富含石灰之下土，紫苜蓿不喜酸性之下土。前者喜沙質下土，後者喜壤質下土。如土中有不透水之土層，植物根因缺於空氣，停止進展。水份過多，阻止根之進展，水份適宜，能刺激根之進展，乾燥年份，表土缺水，植物根向下生長之深度較潮濕年份為甚。植物營養素之多寡對植物根之發展亦大有關係。曾施大量肥之土中，植物根之發展特佳。如施肥料於深淺不同之土層，植物根發展最良者係在肥料最多之土層，缺肥料之處，植物之副根亦少。羽扁豆與蠶豆之主根之生長如受抑制，其副根即代其工作，而不妨礙全植物之生長。

2. 綠肥作物能解放礦物質植物營養素。綠肥作物吸用土中礦物質營養素之能力較穀實作物遠為巨大。Th. Dietrich 氏種羽扁豆，蕎麥，小麥等於斑砂岩及玄武岩石粉中，後化驗其吸收之總營養素量，得結果如下（比較數值）：

作物	種於斑砂岩石粉中者	種於玄武岩石粉中者
羽扁豆	20.27	24.97

豌豆	16.02	23.77
春苜蓿	5.53	6.80
蕎麥	2.32	3.27
小麥	0.34	2.45
黑麥	0.17	1.34

由上觀之，豆科作物吸收營養素之能力較穀實作物強大多多。

綠肥作物中能解放難於溶解之磷酸化合物者有白芥，蕎麥，羽扁豆，豌豆，蠶豆等。穀實作物利用難於溶解之磷酸化合物之能力，至為弱小。同一土壤，種穀實作物者，施用磷肥，其效顯著；種羽扁豆者，施用磷肥，恆無效力，因其能利用土中難於溶解之磷酸也。D. Prianschnikow氏以下列數字表示各種作物在沙耕中利用各種含磷物之能力：

	磷灰土%	骨粉%	湯馬斯磷肥%	溶解性 P_2O_5 或 $CaHPO_4$ %
穀實作物	0—10	40	60—70	100
蕎麥，羽扁豆等	60	90	100	100

綠肥作物吸用難於溶解之磷酸後，被聚於土中，徐生分解，被吸收之，磷酸又得解放，次造作物可利用之。是土中難被利用之磷酸經綠肥作物之體可變為易被利用之磷酸。

綠肥作物解放礦物質營養素之能力，至為強大。或係因其根液酸度較大。據B. Dyer氏，豆科作物之根液酸度為0.81—1.12（作檸檬酸計算），禾本科為0.53—0.68。F. Czapek氏以為植物根不能分泌大量有機酸，但植物根呼吸（Wurzelatmung）時所生之二氧化碳能溶解磷酸鐵與磷酸鋁。此外，土壤反應，吸着作用，交換作用，及含水量等對於植物解放礦物質營養素之能力，關係甚鉅。惟其詳細如何，吾人今日尚未能盡知之也。

3. 綠肥作物增加土壤之腐植質含量。學者均以供給土壤以有機物係施用綠肥之最大目的。每種植物之乾物質量變異甚烈，蓋亦有賴於各種環境，如土壤種類，雨量，生長期等等。M. Hoffmann氏曾以羽扁豆作試驗，有者每公頃得2035公斤乾物質，有者得8682公斤。為求得到最大收穫量起見，吾人須選用最合於當地土壤種類，氣候等之作物。在必要時，吾人尚須以田間試