

21339

高級農業職業學校教科書

土壤學

王雲森 陳啓昌編

商務印書館發行

高級農業職業學校教科書

土壤學

王雲森 陳啓昌編

校學科專業工南西

館書圖

商務印書館發行

中華民國二十二年三月初版
中華民國三十七年七月十三版

高級農業職業
學校教科書
土壤學

(644743)

版 權 所 有
翻 印 必 究

編 纂 者

王 震 啓

上海河南

發 行 人

朱 經

印 刷 所

商 務 印 書 館

發 行 所

商 務 印 書 館

(本書校對者楊靜齋)

許 序

輒近以來，所謂農村問題者，喧騰於世界各國，覈厥內容，繁雜殊甚，而大別之，可分爲生產問題經濟問題及社會問題。此三者，相關頗切；分而論之，則有顧此失彼之嫌，然竊以爲生產問題，倘能採其祕鑰而開之，其餘問題亦當迎刃而解。顧生產問題範圍雖廣，而得以一言蔽之曰，務求農業生產之增加。欲實現之方法，固不止一端，而其最要者，在增進土地之生產力；然此非明辨土性善用其施肥法不爲功。蓋土壤爲農業生產上最重要之基礎，其性質及效用尤宜深加研究者也。近來科學發達，關於土壤之學術進步甚速，其尤著者，爲土壤微生物學及膠質化學之闡明；自國際土壤學會在意大利北美諸國先後舉行五次，凡關於土壤之諸種問題，分門別類，詳爲審議，其貢獻於農學上者甚大；故在今日土壤已成爲世界各國共同論究之學術，而非可淡漠遺之。我國號稱農國，習農學者亦繁有徒，顧關於農業生產學上最關重要之土壤學，鮮有成書，殊足怪也。王君雲森與陳君啓昌，

北京農大高材生也，沉潛好學，博覽農書，而於土壤學尤覃精極思，冀窺其奧妙，爰竭兩年之力，搜輯歐美名著及諸家學說，編成是書，其內容如何，有識者自能辨之，毋俟煩言；倘藉是書以深明土壤學為增加農業生產之先河，兼為解決農村問題之一助，是則余所中心望之而不能自己者也。

許璇 十八，五，於杭州

6300.

359

自序

吾國學術銷沉，農業書籍刊行甚少，土壤一學，從無完善教本可供專科以上學校用者，於是執教鞭者多編講義以承其乏，其用意固善；第所研究之光陰，盡消磨於講義之編輯，雖淵博雋敏之士，亦無餘暇以事研究矣；其不編講義僅口述者，則學生既感筆記之不盡善，復無相當教本以為自修之準則，是又隔膜橫生，困難良多，其有礙於學業之進步，莫此為甚。欲祛此弊，則係有相當之教本出焉，如是則學者固有所學之準則為之資助，而教者亦可省去蒐集材料編纂講義之煩難，其所消磨於編輯講義之光陰，可為從事研究之時間，編者不敢自信拙作足以當此重需，然竊有志於斯耳。

且現今科學進步，土壤學之知識隨之增進，土壤微生物學與膠質化學之研究，實有蒸蒸日上之勢；而所貴乎教員者，不在僅以現成之學術，灌注於學生之腦中，宜以研究之心得，隨時隨地而與學生以切磋，則匪特學者之興趣盎然，而教者亦可得教學相長之益，學問進步，事半而功倍矣。

況土壤學爲學農者必修之科，土壤爲農業生產之基礎，人類衣食住所由繫也；將來人口加多，而欲衣食住三要素供給無缺乏之虞者，不可不亟亟於土壤之講求，地力之增進，以期生產物之增多也。蓋世界上可生產之土地有限，而人口之繁殖無已，以有限土地之生產，而供繁殖無已之人口之需要，是土壤對於世界人口之負擔愈趨愈重，而世界對於土壤之研究必愈演而愈進矣。作者有鑒於茲，是以罄其所知，並參酌各種土壤及各家著作，冶爲一爐，勉成此書；第以學淺才疏，且急於印行，大小瑕疵，諒未獲免，深望海內鴻才碩學之士，時賜指正，以匡不逮也。

本書脫稿後，曾蒙國立北平農業大學土壤學教授章祖純先生及國立中央大學農學院土壤學教授鄭步青姚星黃先生校閱，國立北平農業大學農藝系主任董時進先生指正，關於化學方面，蒙國立北平農業大學農藝化學系主任蔣繼尹先生校閱，關於岩石方面，蒙地質學教授謝家榮先生校閱，特此鳴謝。

編輯例言

- 一、本書專為高級農業中學或大學及專科學校教科之用，在使學者明瞭土壤一般之知識。
- 二、本書體裁，係依教科編制，俾學者易於明瞭，便於自修。
- 三、本書所述，均取最新學術，趨重於實際應用，凡陳舊或過於迂奧之理論，不適於教科及實際應用者，力求避免。
- 四、本書除敘述學理外，並附簡明實驗方法，以資印證。
- 五、我國科學名詞現未統一，而關於應用科學者，則尙未審查，本書各名詞，除力求明顯外，並以各名詞下多附以原名，以資對照。

目次

第一章 土壤之概義	1
緒論	1
一 土壤及土壤學	2
二 土壤之定義及其組成	3
三 土壤與植物生長之關係	4
四 土壤與植物養料之關係	5
五 研究土壤應具之知識	8
第二章 構成土壤之主要礦物及岩石	11
一 主要礦物之風化與土壤	11
1. 石英	
2. 長石	
3. 雲母	
4. 方解石	
5. 角閃石	
6. 橄欖石	

7. 磷灰石
8. 蛇紋石
9. 滑石
10. 綠泥石
11. 赤鐵礦

二 主要岩石之風化與土壤.....15

1. 火成岩類

(一)花崗岩 (二)正長岩 (三)閃長岩 (四)
輝綠岩 (五)玄武岩 (六)石英斑岩

2. 水成岩類

(一)石灰岩 (二)頁岩 (三)砂岩

3. 變質岩類

(一)片麻岩 (二)片岩 (三)石英岩 (四)大
理岩 (五)板岩

第三章 土壤之成因.....31

一 機械之作用.....31

1. 水力之作用
2. 風力之作用
3. 冰力之作用
4. 熱力及冷力之作用

5. 霜力之作用	
6. 植物之作用	
7. 動物之作用	
二 化學之作用	37
1. 養化及養化還原作用	
2. 碳酸及碳酸還原作用	
3. 水化作用	
4. 溶液作用	
三 土壤生成與氣候及岩石之關係	41
第四章 土壤之分類	45
一 土壤分類法之概別	45
二 地質學上之分類法	46
1. 原積土	
(一)原生土 (二)腐植土	
2. 運積土	
(一)頽積土 (二)水成土 (三)冰成土 (四)	
風成土	
三 依結構上之分類法	57
四 各種土壤之鑑別法	62
第五章 土壤之結構及組織	65

I. 土壤之結構·····	65
一 土粒之類別·····	66
二 三種土粒之特性·····	66
三 土粒之數目及其面積·····	69
四 土壤之機械分析法·····	71
II. 土壤之組織·····	75
一 土壤之組織法·····	76
二 土壤組織之改良·····	78
第六章 土壤一般之性質·····	83
一 土壤之色澤及臭氣·····	83
二 土位及土層·····	84
三 土壤之假比重·····	86
四 土壤之真比重·····	89
五 土壤之重量·····	91
六 土壤之空隙·····	93
七 土壤之凝聚性及黏着性·····	96
第七章 土壤水·····	101
一 吸濕水·····	101
二 微管水及其流動·····	105
三 滲透水·····	113

第八章 土壤之水分與植物	117
一 土壤水分對於植物之功用	117
二 植物需水率	118
三 植物枯萎及其係數測定法	123
四 土壤有效水分及其適量	125
第九章 土壤水分之調節	129
一 土壤中原有水分之保持	129
1. 土壤中水分損失之原因	
2. 土中水分之蒸騰及其節制法	
3. 土水之奔流及其節制法	
4. 土水之滲透及其節制法	
二 土壤中水分不足之補充	138
三 土壤中過剩水分水之排去	139
第十章 土壤之有機物	143
一 土壤中有機物之起源及植物之組織	143
二 土壤中有機物分解	145
三 土壤中有機物分解與各種要素之關係	149
四 腐植質	153
五 有機物對於土壤之影響	158
六 土壤有機物之增加及其改善	161

七 土壤有機物之測定法	184
第十一章 土壤之膠質物	167
一 膠質物之特性	167
二 土壤膠質物之種類及其發生	169
三 膠質物對於土壤之影響	170
四 土壤膠物質之測定	173
第十二章 土壤之溫度	176
一 土壤溫熱之重要	176
二 土壤溫熱之來源	179
三 土壤之吸收熱力	180
四 土壤之比熱	185
五 土壤熱之傳播	187
四 土壤溫熱之消失	188
七 土壤溫熱之調節	189
八 土壤溫熱之變化	190
第十三章 土壤之空氣	191
一 土壤中氣體之成分	191
二 土壤中炭氣及其功用	193
三 土壤中養氣及其重要	196
四 土壤之容氣量	197

五 土壤中空氣之流動及交換	198
六 土壤通氣性之改進	199
第十四章 土壤之溶液	200
一 土壤溶液之要義	200
二 土壤溶液之變化	202
三 土壤溶液之濃稀與各種要素之影響	204
四 土壤溶液採取法	206
第十五章 土壤之凝吸性	208
一 土壤凝吸作用	208
二 土壤重要氣體之凝收	209
三 土壤重要鹽基物之吸收	210
四 土壤凝吸力與各要素之關係	214
五 土壤凝吸性之功效	217
六 土壤凝吸性之測量	219
第十六章 土壤養分之消失	221
一 土壤養分消失之原因	221
二 作物對養料之消失	222
三 排水對於養料之消失	223
四 作物與排水對於土中養分消失之比較	225
第十七章 鹼性土壤	229

一 鹼土發生之原因	229
二 鹼土之類別	231
三 鹼土對於植物之影響	232
四 鹼質與土壤之關係	235
五 鹼土之改良	235
第十八章 酸性土壤	239
一 酸土發生之原因	239
二 酸土之類別	241
三 酸土對於植物之影響	242
四 土壤酸性之測定法	243
五 酸土之改良	245
第十九章 土壤之石灰	247
一 石灰之種類	248
二 石灰對於土壤物理性之關係	250
三 石灰對於土壤化學性之關係	251
四 石灰對於土壤微生物之關係	254
五 石灰對植物生理之關係	255
六 石灰濫用之弊端	256
七 用石灰之要義	257
第二十章 土壤生物之概論	262

一 大生物	262
二 微生物	264
三 土壤生物對於高等植物之利害	268
第二十一章 土壤微生物與淡素	271
一 分解作用及腐朽作用	271
二 銨化作用	272
三 硝化作用	274
1. 硝化作用對於各種要素之影響	
2. 硝化作用對於作物及土壤之關係	
四 硝化還元作用及同化作用	282
五 淡素固定作用	284
六 根瘤菌接種法	289
第二十二章 土壤微生物與炭硫磷及礦物	292
一 炭素循環作用	292
二 硫之循環作用	293
三 磷之循環作用	296
四 礦物質循環作用	297
第二十三章 土壤之調查	298
一 土壤調查之意義	298
二 土壤調查之必要	299

三	土壤調查與土壤之分類	301
四	土壤調查之方法	304
第二十四章	地力論	308
一	地力之意義	308
二	永久地力與一時地力	309
三	地力之測驗	311
四	地力之簡單鑑別法	313
第二十五章	地力之維持及增進	315
一	土壤中淡肥之節省及補充	316
1.	土壤中淡肥之節省	
2.	土壤中淡肥之補充	
二	土壤中磷肥之節省及補充	325
1.	土壤中磷肥之節省	
2.	土壤中磷肥之補充	
三	土壤中鉀肥之節省及補充	329
1.	土壤中鉀肥之節省	
2.	土壤中鉀肥之補充	
四	土壤衛生之注意	332
	參考書	340

土 壤 學

第一章 土壤之概義

緒 論

土壤者乃孕育萬物之母，國家財源所由繫也。瓦特氏 (Waters) 著農業輯要一書，謂國家最大財產，是惟土壤。大學云，有土此有財。故苟舍土壤而不講，是棄萬物而絕一國之財源也。

吾國周禮一書，農學甚詳。司徒有五土之辨。草人掌土化之法。又自禹平水土，劃分九州，析土宜以興地利。土壤之學，胚胎於茲。後世士夫，拘尙文字，蔑視農學。菽麥不辨，遑論土宜。礦石不分，妄言土化。土壤之學，蓋不傳久矣。夫吾國農業古國，地廣土腴，今曠而不治者，不知凡幾。禮曰，地廣大荒而不治，此亦士之辱也。有志之士，盍共謀治之之道乎。

要之，時無古今，國無中外，世界無論何種族，飢不能

無食，寒不能無衣，蔽風雨不能無住。而衣食住三者，多出於土。威爾 (Weir) 氏著土壤生產學一書，謂人類最需要之物，莫過衣食。而衣食所出，全賴土壤。嘉德里 (Gardner) 氏著土壤與土壤管理學一書，謂人民文化程度之高低，全視乎能否利用地殼表面薄層之土壤。蓋從此地殼表面薄層土壤，吾人可得衣食住之原料焉。

當茲財窮物盡，更知講求土性，發展地力，實為刻不容緩之要圖。白德斐 (Bulterfield) 氏著世界農業一書云，鼓勵保存地力，與改良土性，為世界政治家最要之政策。蓋將來能取之不盡用之不絕之天然原料品，未有能與土壤比擬者。管子亦云，地者政之本也。又曰，辨於土而民可富。其言不同，其義一也。土壤之重要，於此可見矣。吾人以栽培作物為職志，而對於孕育萬物之土壤，可不首先研究哉。

一 土壤與土壤學

土壤 土壤由岩石分解而來，岩石亦可由土壤而變成。今日之岩石，即將來之土壤；今日之土壤，又焉知非將來之岩石。可知土壤非永久固定之物，不過岩石之隨時產品耳。

岩石之上，植物甚難生長，盡人皆知。故古有石田之喻。迨岩石分解之後，大者為石塊，小者成細粒。細粒與有機質混合，則成土壤 (soils)，然後方適於植物之生長。

土壤學 岩石分解之細粒與有機質混合則成土壤。土壤復感受一切天然力之影響，如雨、露、風、霜、溫度、空氣及生物等等之作用，其引起土壤中理化上之變化甚大。自吾人觀之，則塊然一物，無知無覺。但其性質之變化，非特日異月殊，而且旦夕不同，變化莫測。研究其一切性質及變化者，則謂之土壤學。

二 土壤之定義及其組成

土壤之定義 土壤之爲物，前已略述。而定其義者，頗有異同。吾國古時以萬物自生者則言土。以人所耕而樹藝者則言壤。是土壤者，乃包括萬物自生之土及人所耕而樹藝之壤者也。斯項界說，固不適於現今土壤之定義。然土壤之定義，究應如何確立，土壤學者均無一定說。概言之，土壤者位於地殼之表層，其質鬆軟，爲破碎之岩石及腐敗有機物之混合體，有容積以支持植物之軀幹，有養分以供植物之滋養及具有他種適於植物生長之要素者也。換言之，土壤者，即具有支持性，肥培性，與可耕性，三種特性之土地也。

土壤之組成 土壤組合之成分雖極複雜，然不外礦質、有機質、及水分、與空氣四者。礦質爲土壤之骨骼，有機質爲土壤之筋肉，水分空氣爲土壤之血液。人具骨骼及筋肉而無血液，則成屍體。土壤僅有礦質及有機質而無水分與空氣，亦

成死土。死土者，不能生產之謂也。簡言之，土壤者，乃由固體，液體及氣體三者組合而成。今就可生產 (productive) 之壤土 (loam soil) 言之，

第 一 圖

其組成容量，(如第一圖)

礦物質居百分之四十，

有機物質居百分之十或

百分之三，至於水分及

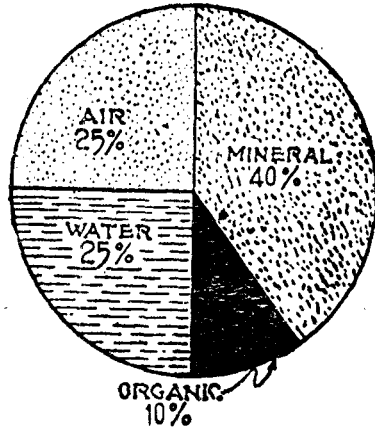
空氣各居百分之二五。

惟水分與空氣二者之容

量變更殊易。水分發散，

則空氣增多；水分充塞，

則空氣減少。



三 土壤與植物生長之關係

植物之生長與發育，必受兩種要素之支配：(A)生理之要素，(B)環境之要素。前者則繫乎植物自身之本性，姑置勿論。後者則繫於土壤，茲列其數端於下：(一)機械之支持 (mechanical support)，(二)熱力 (heat)，(三)光線 (light)，(四)養氣 (oxygen)，(五)水分 (water)，(六)養料 (nutrients)。此六種之環境要素，均為植物生長之最關重要者。而皆有賴於土壤。蓋土壤既有容積以支持植物之軀幹。

雨水來自空中，土壤可以儲蓄之。熱力來自太陽，土壤可以吸收之。水分及空氣之流動，土壤有孔隙以引導而疏通之。至於養料尤恃乎土壤以吸收及貯藏之。此外土壤並含有微生物，又能製造養料。土壤中一切有機質或無機質必經土壤中種種作用，變化為可給態的養料，以供一植物之用。由此觀之，土壤者，亦植物養料之製造場也。於此可知土壤與植物生長關係之密切矣。

四 土壤與植物養料之關係

植物之養料甚夥。有炭、養、輕、淡、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鐵、矽、鋁、鈉、綠、錳、等等。而最要者，則為炭 C，養 O，輕 H，淡 N，磷 P，鉀 K，鈣 Ca，硫 S，鎂 Mg，鐵 Fe 等十原質。若此十原質有一缺乏，則植物發育便不能完全。但此十原質除炭得自空中之碳酸氣，養氣得自空氣中或水分中，及輕得自水分中外，其餘皆直接由土壤中吸取之。惟淡氣則有數種作物(豆科)亦可自空中吸取之。

吸自空氣中或水中者

炭 Carbon
 養 Oxygen
 輕 Hydrogen
 淡 Nitrogen

吸自土壤中者

淡 Nitrogen
 磷 Phosphorus
 鉀 Potassium
 鈣 Calcium

鎂 Magnesium

硫 Sulphur

鐵 Iron

上述之十種原質，惟淡磷與鉀三原質，土壤中時現缺乏。其餘如鈣鎂硫鐵四者，土壤中之存在較多，能充分供給植物之需用。但土中養分有時為不可給態，須加鈣使變為可給態。是以吾人栽培作物，與施用肥料，淡磷鉀與鈣四者，當特別重視。（此外如硫亦較宜注意）。

(1) 淡素 淡素之存在空氣中者，約占空氣全體積五分之四。故空氣亦為土壤中淡素供給之源。然土壤中之淡素，大部分由完全腐敗或半腐敗之有機物所化成。此種淡素，變為可給態之硝酸鹽時，植物始可利用之。

(2) 磷 生物之起源與磷頗有關係，蓋動植物細胞之核，皆含磷質甚多。土壤中磷之來源，則為磷灰石 (apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl, F}$)。其存在於土壤中者，多為磷酸三石灰 (tricalcium phosphate $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)。在此情況之下，若土壤中之石灰缺少，則磷酸三石灰變為磷酸一石灰及磷酸二石灰時，將與鐵及鉛化合成為磷酸鐵 (iron phosphate Fe PO_4) 及磷酸鋁 (aluminium phosphate Al PO_4) 或有機磷酸 (organic phosphate)。前二種磷酸化合物，極難溶解，植物不能利用

之。至於磷酸一石灰(monocalcium phosphate $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$)或磷酸二石灰(dicalcium phosphate $\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_2$)，則為可給態的磷酸化合物。

(3) 鉀 土壤中鉀之來源，則為長石類 feldspars 及雲母類 mica。而雲母中以白雲石 muscovite mica 為最多。此類岩石分解之鉀與土壤溶液所含之碳酸，過碳酸，硝酸，硫酸及綠化物等相化合，而成鹽類化合物。此等鹽類化合物，植物皆可吸取之。

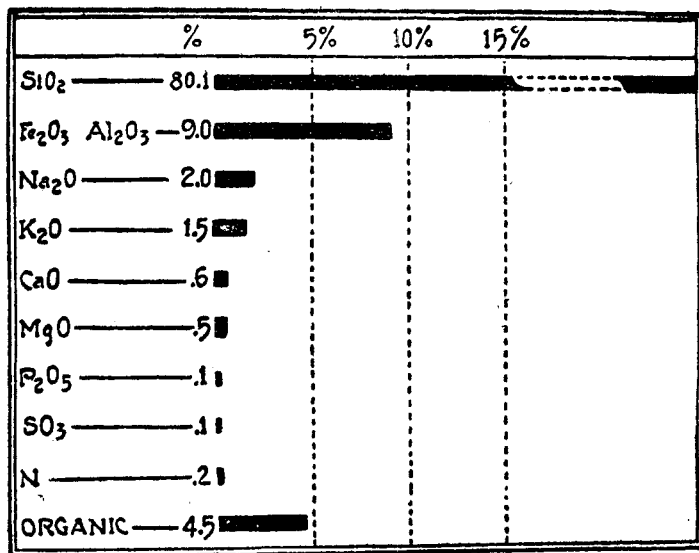
(4) 鈣 鈣亦為植物重要養分之一。且對於土性之改良，促進植物之生長，頗為重要。土壤中鈣之重要來源為方解石(calcite)，灰長石(plagioclase feldspar)，角閃石(hornblende)，及輝閃石(augite)等。此類岩石分解之鈣，與土壤中之硝酸，磷酸及硫酸等相化合，而成鹽類化合物，植物可以吸取之。

(5) 硫 硫亦為植物重要之原質，惟需要極少。土壤中硫之重要來源多為黃鐵礦(pyrite FeS_2)。硫之存在土中者，多為三養化硫狀。迨與普通鹽基化合而成硫酸鹽時，植物可以利用之。

(6) 鎂與鐵 鎂鐵二成分亦為植物之重要原質。對於植物葉綠體之造成，頗為重要。惟土中存量雖不甚多，究敷植物之用。茲將一般可生產之土壤所含各原素之成分，示之於

下:

第 二 圖



由此圖解觀之，可知一般礦質土壤 (mineral soil) 之成分，氧之含量為百分之 0.1 至 0.2，磷酸為百分之 0.05 至 0.3，養化鉀為百分之 0.5 至 2.0，養化鈣則頗不一致，有少至百分之一以下，或多至百分之 10 至 12 以上者。至於三養化硫為百分之 0.02 至 0.3 云。

五 研究土壤應具之知識

凡研究一種科學，須先旁知其他有關係之科學，研究土

壤亦然。與土壤有關係之科學，實有種種。其最關重要者，約四：(一)地質學，(二)化學，(三)物理學，(四)生物學。蓋一般土壤均具此數種性質。故不可不知也。

(1) 土壤與地質學之關係 地質學乃研究地殼組織之一種科學。土壤係地殼之一部，位於地殼之表層者。苟地質學不明，則土壤之種類及其一切形質無由區別。何種岩石，構成何種土壤，何種土壤，成自何種岩石，更不可知。歐美學者，今尚有謂土壤學，因地質學之研究而發達，稱為農用地質學者。於此可見土壤學與地質學之關係矣。

(2) 土壤與化學之關係 土壤中之種種變化，多為化學之作用。若化學不明，則土壤之化學變化，既無從研究，土壤之化學分析亦不能行。土壤之化學分析不行，則土壤中所含養料之成分孰缺孰多，莫得而知。或鹼或酸無從判定。於是土壤養料之加或不加，無從着手。故化學與土壤極關重要也。

(3) 土壤與物理學之關係 土壤種種性質，關於物理學者極多。不明物理學，則土壤之一切物理性質，莫得而知。例如土粒之大小，關乎土壤吸收力之強弱。土壤之鬆緊，關乎耕作之難易。他如灌溉、排水及通氣尤為農事進行第一要務。其有關於物理學者甚巨。此土壤與物理學之關係也。

(4) 土壤與生物學之關係 土壤中之生物不外兩種。大生物與微生物是也。大生物最有影響者，則為蚯蚓及其他種種昆蟲類。微生物則關係極大。蓋土中植物養料之造成，及種種之改良，均有賴於細菌之工作。有非化學及物理學所能解決者。

土壤中棲息之細菌甚多，其種類亦頗繁雜。土壤乃細菌之國家，細菌即土壤之國民。其人口之稠密，人類國家，殆無其匹。肥沃土壤一公分(gram)土中，細菌數目，約達千萬。瘠薄土壤亦二三百萬餘。無細菌之土壤，其土必瘠。猶之無居民之土地，多屬荒野。國家虐待人民，易起反抗。土壤虐待細菌，(如空氣不流通，水分不適當，養料之供給不足時)則亦有革命。而田園荒蕪矣。

第二章 構成土壤之主要礦物及岩石

一 主要礦物之風化與土壤

土壤既由岩石分解而成。而岩石者，乃一種或數種礦物之混合體也。是故研究土壤，不可不知礦物。

礦物者何，乃各元素之集合物也。凡具有一定化學成分之天然產物，無論為單體，為化合物，為結晶體，或非結晶體，皆稱為礦物。其種類頗多，據現今所知者，不下一千餘種。依其化學成分之不同，可大別為三類：即酸類，鹽基類，及鹽類是也。非金屬原質與輕氣或與輕及養所成之化合物，謂之酸類，味多酸。能使藍色試紙變為紅色。金屬原質之養化物或輕養化物，謂之鹽基類。能使紅色試紙變為藍色。酸與鹽基化合，互相中和，則曰鹽類。大部礦物皆屬鹽類；其屬酸類者，只石英最為普通；屬鹽基類者，如赤鐵礦，磁鐵礦皆是。鹽類礦物則甚多；如食鹽，石膏，及碳酸石灰等，均是。茲擇其與構成土壤關係較重者，分述於下：

(1) 石英(quartz) 石英之成分為 SiO_2 ，分佈最廣，各

類土壤中，幾均含有之；且存在之量亦多，普通約佔土壤百分之四十至七十，甚至有百分之八十及九十者。可知石英實為造成土壤之一種重要礦物也。其質頗堅硬，不易受風化作用。在尋常溫度與壓力之下，除弗酸外，皆不能溶解。往往有他種礦物，已完全分解，而彼之形態，仍未稍變。但受水之冰凍及流水衝激等作用，乃漸破碎而為細粉，或失稜角而為圓形細粒。此細粒石英，在鹼性溶液中頗能溶解，即所謂膠狀二氧化矽是也；此種礦物，多構成輕鬆砂土。

(2) 長石(feldspar) 長石為鋁與鉀鈉鈣等質之矽酸鹽，依結晶形態及成分可分為兩類，正長石(orthoclase feldspar)與斜長石(plagioclase)是也。正長石之成分為 $KAlSi_3O_8$ ，斜長石大致為鈣與鈉矽酸鹽。此兩種長石，岩石包括之甚多；對於風化之情形各異，然經水及碳酸等之作用，而成含水矽酸礬土(陶土)，放出一種可給態之鉀質。其成分中最易分解者，為鈣鈉鋁矽酸鹽類，較難分解者，為鉀鋁矽酸鹽類。其構成之土壤，多為砂質黏土，頗為肥美；正長石中含鉀質多者，可搗碎以作肥料。

(3) 雲母(mica) 雲母成分為鋁鉀或鉛鎂矽酸鹽，可分兩種：白雲母(muscovite mica 又名鉀雲母)、及黑雲母(biotite mica 又名鎂雲母)、是也。白雲母之成分為 $H_2(K,$

$\text{Na} \text{Al}_3 (\text{SiO}_4)_3$ 。黑雲母成分為 $(\text{H.K})_2 (\text{Mg Fe})_2 (\text{Fe Al})_3 (\text{SiO}_4)_8$ 。二者風化情形絕然不同，白雲母抵抗風化作用最強，土壤中頗為常見，但其含鉀質之一部，若受石灰曹達之置換，則分解亦易。黑雲母則最易風化，土壤中鮮見之。其含鐵質富者，則風化更速。故含黑雲母之岩石，比含白雲母之岩石，分解容易。其構成之土壤，頗為肥沃。

(4) 方解石 (calcite) 及白雲石 (dolomite) 方解石 CaCO_3 及白雲石 $(\text{Mg, Ca})\text{CO}_3$ 均為碳酸鹽類之礦物，均能溶解於酸，如以淡鹽酸蘸石上，即發生氣泡；但白雲石不若方解石之烈，即方解石溶解於酸較白雲石易。其溶解後，失其中之碳酸鹽，僅殘留鐵質及礬土。且白雲石，亦有時失其成分中之石灰，得矽酸而變為滑石。方解石可置於火中燒煉，則碳酸氣揮發，而成石灰，可作肥料。其構成之土壤，亦甚佳良。

(5) 角閃石 (hornblende) 及輝石 (augite) 此兩種礦物所含成分不一，大致為鈣鎂矽酸鹽類，而雜以不等量之鐵鉛鈉鉀等質，其化合成分，各有不同；輝石所含石灰及礬土之量，較角閃石為多。且通常不含有亞爾加里，故風化較角閃石易，其造成之土壤，多為富於鐵鎂質之黏土。

(6) 橄欖石 (olivine) 橄欖石之成分，亦極複雜，乃鎂

鐵鈣諸質矽酸鹽之混合物。在地面溫度與壓力之下，易於風化；其風化後，則鎂質造成蛇紋石與苦土，鐵質養化而成赤鐵礦或褐鐵礦。鈣質則成碳酸鹽，如方解石及白雲石等。此種礦物所構成之土壤，多呈黃褐色或赤褐色，以其含亞養化鐵較富故也。

(7) 磷灰石(apatite) 土壤中之磷質，有從有機物而來，有從無機物而來。從有機物而來者，茲不具論。從無機物而來者，為磷灰石。磷灰石雖不多見，確為土壤中磷質之根源。其成分為 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl}, \text{F})$ 。其風化主為碳酸水之溶解。據畢司阿(Bischof)氏，謂在九萬六千五百七十分飽和碳酸中，可溶解磷灰石一分。若受鹽類溶液及腐植質作用，其溶解度較為迅速，其構成之土壤，為富磷質之肥沃土壤。

(8) 蛇紋石(serpentine) 此種礦物為橄欖石風化所生成，其成分為 $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ 。雖分解不易，而經時彌久，亦能漸起變化。其中鎂之一部分，變為碳酸鹽，溶解分離。一部分變為輕養化鎂，而成水滑石(brucite)，其構成之土壤，大致層淺而質瘠。若一地土壤，純為此礦質所成，則該地殆無耕種之價值焉。

(9) 滑石(talc) 滑石之成分為 $\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$ 。此種礦物之生成，不僅由於含鎂鹽酸礦物來者，其構成之土壤，

於農業上亦無甚價值。

(10)綠泥石(chlorite) 此種礦物爲含鎂鐵鋁之矽酸鹽，含水約百分之十二；輝石，角閃石，長石，黑雲母等，分解後，均能生成此種礦物。但此種礦物一經化學變化後，即難分解，久之變化漸起，始將矽酸變爲二氧化矽而分離，鐵則變爲輕養化鐵，鎂則變成碳酸鎂。

(11)赤鐵鑛(hematite)及褐鐵鑛(limonite) 此二種礦物，純爲鐵質之化合物。赤鐵鑛之成分爲 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。均由含有鐵質礦物分解所生成。如角閃石，輝石，及黑雲母等，分解後，均能生成之。其造成之土壤，含鐵質頗富；凡呈赤色或黃色之土壤，皆此礦物存在之特徵也。其分解雖遲速不同，然必須經養氣及水之作用，始能分解。

茲將以上各礦物所含各成分附表於下。

二 主要巖石之風化與土壤

岩石與土壤，自外表觀之，雖似截然兩物，實則岩石者，乃土壤之母也。故欲研究土壤，須先明瞭岩石之種類與性質。而後辨察土性，追溯土源，始有所依據矣。岩石之種類甚多，而分類之法亦各有不同。然普通則依其生成之原因與方式，分爲三大類：(一)火成岩，(二)水成岩，(三)變質岩。

(一)火成岩類(Igneous Rock; Eruptive Rock)

火成岩，係由地球內部噴出地面，或侵入地內，凝結而成之岩石也。當此岩初噴出時，純為液質，曰岩漿(magma)。迨後漸冷，凝固而成岩石。依其中所含矽分之多少，可分為酸性及鹽基性兩種。酸性岩，常含石英甚多。鹽基性岩，則所含甚少，或完全不含。

此岩呈粒狀或斑狀結構。有結晶者，有成玻璃狀者。與水成岩相異之點，在(a)不含化石，(b)全體之結構顏色均一，(c)無層狀，帶狀，或葉狀(foliated)諸形。茲將該類之重要岩石分述之。

(1) 花崗岩(granite) 此岩為全體結晶(holocrystalline structure)組織。普通一般為暗灰色。亦有因所含之礦物質不同，其顏色亦略異者。含白雲母石者，則帶淡灰色。含黑雲母石者，則呈黑灰色。含綠長石者，則帶綠色。含紅長石者，則帶紅色。其主要礦物之成分為石英，正長石，及雲母。其粒粗者較粒細者，分解為易。又含長石多者亦然。黑雲母花崗岩比白雲母花崗岩，容易分解。其一般之風化作用，先自裂隙，漸次崩壞，而為粗鬆之岩屑。卒至構成壤質土壤或砂質土壤。故由花崗岩構成之土壤，其物理性質甚為佳良。惟含植物之營養料稀少。但在情形良好時，未分解之礦物粒，如長石雲母等，常受風化而供給鉀，磷，石灰等養料。其土壤

之生產力，亦未始不可增加。若位置低下之水田，其土壤爲花崗岩構成者，種稻最佳。但位置高燥之乾土，則與此適反。蓋因水田中，水分及有機物較足，風化作用易於良好。而乾燥之土地，則反是。此岩之化學成分，雖因其種類而異，然就普通言之，所含各種成分如下表：

表 二

成 分	%
矽酸 SiO_2	71-68
礬土 Al_2O_3	13.5-16
養化鐵與亞養化鐵 ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}$)	2.5-41
石灰 CaO	1.0-24
第一養化錳 MnO	0.3-0
養化鎂 MgO	2.1-0.7
養化鉀 K_2O	4.1-6.5
養化鈉 Na_2O	3.5-2.6
磷酸 P_2O_5	0.42-0.68
水分 H_2O	0.5-1.1

此岩分佈甚廣，吾國有名之山岳，如泰山，嵩山，華山，

此岩甚多。他如直隸之盤山，安徽之黃山，江西之廬山，湖南之衡山，甘肅之賀蘭山，及祁連山，皆全部或一部為花崗岩。又西南如滇貴黔，東南如閩浙粵，皆有此岩。（參考謝家榮地質學）

(2) 正長岩(syenite) 此岩組織與花崗岩同，其色多為暗灰色及水紅色以至於紅色；其主要之礦物成分，與花崗岩相似，但無石英，而多含正長石(orthoclase feldspar)及少量角閃石(amphibole)或輝石類(pyroxene group)，其風化作用亦與花崗岩類似。惟其風化之結果物，則構成為黏質土壤；其所含化學成分如下表：

表 三

成 分	%
矽酸 SiO_2	60.02—63.45
礬土 Al_2O_3	16.66—18.31
養化鐵及亞養化鐵 ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}$)	7.21—3.93
養化鎂 MgO	2.51—0.35
石灰 CaO	3.59—2.93
養化鈉 Na_2O	2.41—5.19
水分 H_2O	1.10—3.0

(3) 閃長岩(diorite) 此岩爲全體結晶之組織，其色自綠色或黑灰色而至暗黑色，較花崗岩色稍暗綠，主要礦物成分爲角閃石，斜長石。其礦物粒粗者，則分解迅速，易於構成肥沃之土壤。其酸性強者，每含石英少許，謂之石英閃長岩(quartzdiorite)。其構成之土壤與花崗相似，物理性質頗爲良好。但閃長岩構成之土壤，則過於黏重，物理性質不甚佳良。其化學成分如下：

表 四

成 分	%
矽酸 SiO_2	43.50—56.71
礬土 Al_2O_3	17.02—18.36
氧化鐵 Fe_2O_3	13.8—0
亞氧化鐵 FeO	0—6.45
石灰 CaO	8.15—6.11
氧化鎂 MgO	6.84—3.92
氧化鉀 K_2O	2.84—2.38
氧化鈉 Na_2O	2.84—35.2
磷酸 P_2O_5	0—0.5
水分 H_2O	4.35—0

閃長岩吾國分佈亦極廣，如河南武安縣之紅山，清心山，山東益都縣之金嶺鎮，歷城章邱間之高莊唐治安家村等處皆是。他如江蘇銅山利國驛，湖北大冶，安徽銅陵等地亦有之。

(4) 輝綠岩(diabase)，此岩亦為全體結晶組織，其色黑暗，有綠色至黑灰色或近黑色。主要礦物成分為斜長石及輝石，呈一種特別結構，(名曰 Ophitic texture) 所含養分較多，分解亦易。先由輝石分解，而後構成着色之沉土，(因養化鐵着色故) 乃含石灰磷酸較多之肥沃土壤也；惟過於黏重，有礙作物之生育，此其劣點。其化學成分如下：

表 五

成 分	%
矽酸 SiO_2	46-53
礬土 Al_2O_3	10-13
亞養化鐵 FeO	1.22-1.08
養化鐵 Fe_2O_3	5.17-9.10
第一養化錳 MnO	0.04-
石灰 CaO	6.2-9.47
養化鎂 MgO	
養化鉀 K_2O	2.04-1.03

養化鈉 Na ₂ O	1.67	2.80
水分 H ₂ O	0.9	5.42

此岩吾國產地為宣化鷄鳴山，北平西山，山東淄川，及雲南東部等處。

(5) 玄武岩(Basalt) 此岩為細粒結晶或半玻璃質，其色為黑或暗灰以至黑暗色。又因養化故，而呈紅色及褐色者亦常有之。主要礦物成分，為斜長石輝石橄欖石。其化學成分與輝綠石相似。此岩之風化作用，因橄欖石及輝石之變化，雖一時呈暗黑色或稍帶綠色，然隨亞養化鐵之養化後，即變為黃色或赤褐色。風化漸次進行，則亞爾加里及亞爾加里土金屬溶解洗去，(亞養化鐵及矽酸亦失其一部分)，含水矽酸礬土之量，即行增加，卒至構成富於養化鐵之赤黃黏重土壤。茲將巴格爾(pagels)氏之分析結果，錄之於次，以明其關係焉。

表 六

	矽酸礬土	養化鐵	亞養化鐵	養化錳	石灰	養化鎂	鈉	鉀	水分	
新玄武岩	42.6	17.1	7.7	2.4	0.45	14.6	7.3	1.4	3.4	2.4
兩種玄武岩之風化分解物	40.4	32.5	9.2	0	0.03	3.7	1.3	0.4	1.3	9.7

此岩吾國分佈甚廣，最著為內蒙，他若張家口，及大同

綏遠一帶，遼寧吉林南京東北等處，皆有之。

(6) 石英斑岩 (quartz porphyry) 此岩為石英石成六角形之斑晶 (liparite nevaditeform)，其色為紅色褐灰色黃色或綠色。其礦物質之主要成分，為石英及正長石。其風化作用與花崗岩無大異，其石基之緻密者，分解愈困難。由此岩構成之土壤，富於細砂質，其化學成分如下：

表 七

成 分	%
矽酸 SiO_2	74—81
礬土 Al_2O_3	11.5—13.5
養化鐵 FeO_3	1.2
亞養化鐵 FeO	2.3
石灰 CaO	0.4—1.2
養化鎂 MgO	0.01—0.98
養化鉀 K_2O	2.1—5.3
養化鈉 Na_2O	0.07—2.6
磷酸 P_2O_5	0.2
水分 H_2O	0.9—2.0

(二) 水成岩類 (sedimentary rocks or agneous rock)

水成岩之名，乃沿用日譯，其實本類岩石，非專指由水力所成，其他因風力或冰川之力所成者，亦甚重要。其由水中沉積者，多具層次，其組織為散塊狀，粗細不一，各層之間，其所含礦物成分顏色及結構俱不相同。茲將其重要者，分述於下。

(1) 石灰岩 (limestone) 此岩具層理，其色澤一般為白色或暗灰色，以至暗黑色；黃色，褐色，水紅色或紅色者則甚少，其顏色之不同，由於有機物或養化鐵之含量而異。其主要礦物成分，為碳酸石灰。若遇鹽酸，則泡沸。其風化作用，多因水之沖激岩石表面，或滲入岩石裂孔內，使變為岩屑，後漸次風化，則構成黃色黏重土壤。其所含化學成分如下：

表 八

成 分	%
碳酸鈣 CaCO_3	41.0—96.0
碳酸鎂 MgCO_3	24.55—0.13
養化鐵 Fe_2O_3	4.03—0.98
亞養化鐵 FeO	
礬土 AlO_3	

矽酸 SiO_2	29.93—0.50
養化鉀 K_2O	0.22—0.31
養化鈉 Na_2O	1.12—0.40
水分 H_2O	0—0.96

(2) 頁岩(shales) 此岩為板狀組織，由河海底之黏土硬化而成，其色以炭色為最普通，質軟而多含化石，其礦物質之主成分，為黏土。其風化作用，先由岩石破裂而成岩屑，後由岩屑而變成細砂，卒至構成輕鬆砂質黏土，後再變為黏質土壤。考此岩構成之土壤，所含養分量甚微，生產力不大，其最要原因，以其過於黏重，而致土壤之物理性質不良。台灣西海岸中部以南地方，此類岩石頗多。此岩中所含可溶性亞爾加里甚富，所謂鹼性土者，多從此岩生成。其含化學成分如下：

表 九

成 分	%
矽酸 SiO_2	50.13—66.96
礬土 Al_2O_3	10.73—15.62
養化鐵 Fe_2O_3	5.78—8.38
石灰 CaO	0.40—0.493

養化鎂 MgO	1.00—0.677
養化鉀 K ₂ O	0.00—3.295
養化鈉 Na ₂ O	0.00—0.628
硫酸 SO ₃	4.02—0
二養化炭 CO ₂	22.83—3.787
水分 H ₂ O	2.21—0
磷酸 P ₂ O ₅	0.—0.154

(3) 砂岩 (sandstone) 此岩以砂粒(即石英)為主要成分，因種種物質膠結而生成，其色為紅或褐。組織粗細不一，其粒徑粗大者為礫岩 (conglomerate)，又名子持岩，除石英外，亦有含長石者，是曰長砂岩 (arkose)。又含長石黏板岩，以及其他堅硬礦物者，曰硬砂岩 (graywacke)。

膠結砂粒之物質，其種類頗多，有黏質，砂質，石灰質，泥灰質，及鐵質種種。故砂岩之風化，因之而有遲速不同，膠結物為砂質者，風化最難，黏質者次之，石灰質者最易。該岩所構成之土壤，若主為石英質者，通常瘠薄。含黏質或泥灰質多及長石富者，則成良好土壤。其所含化學成分如下：

表 一 ○

成 分	%
矽酸 SiO_2	69.94—90.86
礬土 Al_2O_3	13.15—4.76
養化鐵及亞養化鐵 $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}$	2.48—1.58
養化錳 MnO	0.70—0.00
石灰 CaO	3.09—0.15
養化鉀 K_2O	3.30—1.06
養化鎂 MgO	0.0—0.59
養化鈉 Na_2O	5.43—0.45

(三)變質岩類(metamorphic rocks)

變質岩者，乃由火成岩或水成岩，經地內高溫及高壓之作用，重行組織，變為一種特異之岩石，是名變質岩。其重要岩石，有片麻岩，片岩，石英岩，大理岩等。茲分述於后：

(1) 片麻岩(gneiss) 此岩為全體結晶組織，種類頗多。其色澤普通為暗灰色，亦有綠色或紅色者。其礦質成分，為石英，長石，及雲母，與花崗岩相似。其風化作用，隨其成分而有遲速，富於石英及雲母者，則分解較遲。又結構粗者，

則分解易。由此岩構成之土壤，多為砂質壤土，富於鉀質；與花崗岩構成之土壤大致無異。其化學成分如下：

表 一 一

成 分	%
矽酸 SiO_2	76.0—66.4
礬土 Al_2O_3	13—15
亞養化鐵 FeO	2—7.5
石灰 CaO	1—3.3
養化鎂 MgO	0.4—1.8
養化鉀 K_2O	2.3—4.2
養化鈉 Na_2O	1.8—3.6
磷酸 P_2O_5	0.3—0.8
水分 H_2O	1.2—1.9

(2) 片岩 (schist) 此岩為細粒組織，呈片狀。其色為黑灰色。其礦質之主要成分，為石英及雲母。其與片麻岩之所以不同者，在不合長石也。其風化作用，因岩層之方向，與所含雲母之種類而有難易。含黑雲母者，較含白雲母分解容易。總之含雲母成分愈多者，則分解亦愈易。其構成之土壤，通常為礫質沉土，(蓋因雲母易分解，而石英不易分解故也。)

鈣鉀二質皆感缺乏故土質亦不肥。其所含化學成分如下：

表 一 二

成 分	%
矽酸 SiO_2	49.18—82.4
礬土 Al_2O_3	15—11.8
養化鐵 Fe_2O_3	12—0
亞養化鐵 FeO	0—2.28
石灰 CaO	10.5—0
養化鎂 MgO	5—1
養化鉀 K_2O	1.51—0.83
養化鈉 Na_2O	3.64—0.38
水分 H_2O	1.8—0.77

(3) 石英岩(quartzite) 此岩質密而硬，呈塊狀或粒狀組織。其色為白亦有褐或紅者。其礦質主要成分為石英，有時亦含雲母及長石者。風化甚難，先由岩石之表面成不規則之網狀小孔，後漸分解為粗粒岩屑，終變為細砂。所構成之土壤，頗為輕鬆，缺少黏着力，含養分甚稀，至鉀磷諸重要成分，則幾缺之。能耕種者極少。其所含化學成分如下：

表 一 三

成 分	%
矽酸 SiO_2	97.1
礬土 Al_2O_3	1.39
養化鐵 Fe_2O_3	1.25
石灰 CaO	0.18
養化鎂 MgO	0.13

(4) 大理岩(marble) 此岩為粒狀結晶組織，有各種色澤，呈白色者，則角部透明。其礦質主要成分為方解石。其風化作用及化學成分，均與石灰岩大致相同，其構成之土壤亦似，然分佈較狹，於農業上不甚重要。

(5) 板岩(slate) 此岩質軟，呈板狀組織，由黏土石灰岩及頁岩等變化而成。其色為灰或黑。其礦物質主要成分為黏土及石灰石，其風化結果，則構成黏重土壤。其所含化學成分如下：

表 一 四

成 分	%
矽酸 SiO_2	58.37—60.15
硫酸 SO_3	0.22—0

礬土 Al_2O_3	21.98—24.20
養化鐵及亞養化鐵 $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}$	10.661—7.65
石灰 CaO	0.3—0
養化鎂 MgO	1.203—1.9
養化鈉 Na_2O	1.933—2.04
養化鉀 K_2O	0—0.338
水分 H_2O	40.3—5.72

第三章 土壤之成因

土壤由岩石而來，前已言之，然岩石何以能變成土壤，曰感受一切天然力之作用耳。蓋無論何種石岩，經風霜之施，雨露之浸，氣候寒暖之更迭，無一不足以使其破碎，變成土壤。加以流水之衝激，地殼之震動，融凍之漲縮，與夫動物之踐踏，植物之滋生等，遂使高山峻嶺歷時久而自崩壞消磨矣。

所謂天然力作用者，約而言之，則為機械作用與化學作用。分而言之，曰水力作用，風力作用，冷與熱作用，冰力作用，動物作用，植物作用，養化作用，養化還元作用，碳酸作用，水化作用，及溶液作用等等，茲分別而詳述之。

一 機械之作用

(1) 水力之作用 水力之作用，有機械與化學兩種。化學作用於水化作用及溶液作用言之。茲僅就機械作用而言，平常雨水下降，每直墜地面，因其洗刷沖激，剝蝕岩石，故山嶽昔為尖頂者而今往往為平頂，昔為山谷而今往往為平地。而河川之急流，海洋之怒濤，破碎岩石之力，較雨水更大。

考水之機械作用有兩種。(甲)爲破碎作用。如前所述。(乙)爲搬運作用。其搬運力之強弱，則以水流之速度、及其中所攜帶之雜質物爲正比例。若水流愈速，其所挾帶物亦愈多而愈大，其力亦愈強，雖至堅岩石，可以破裂，大塊石礫亦得沖去。迨至地勢平坦，水流之速率驟減。則水力較弱。其所攜帶之物質，依次沉下，重大者在先。輕小者在後，迨水落而土壤成矣。例如美國米西西比河，一年流出泥滓。以一方哩爲限，則有二百四十一呎之高。歐洲之丹怒河，以一方哩爲限，則有九十三呎之高。埃及之尼羅河，以一方哩爲限，則有三十九呎之高。水力之大，可概見矣。蓋所謂沖積土(alluvial soil)者，卽以水力所成之土壤也。吾國三大流域之沿岸，類多此種之土壤。

(2) 風力之作用 風力之作用對於造成土壤，亦頗重要。其剝蝕岩石搬運石屑，亦與水等。其行也猶水，速度愈快，所挾之物質愈多而大。吾國北部，每值大風起時，飛砂走石，塵埃蔽日。迨風一息，几頭茶案，積層盈寸。又海邊玻璃窗爲挾帶砂質之海風所次，數日卽變爲不透明。一月以後，卽能爲砂所穿。且降雨稀少之乾燥地力，其風塵之消磨作用，尤爲顯著。黃土多爲由風力而成之土壤。現今世界之肥沃土壤，由風積者面積甚廣。吾國北部沃野數萬里，均爲蒙古戈壁吹

積所成。北美中部，歐洲南部之肥沃土壤，亦多由風力所構成。蓋風行時所挾之土，均屬土壤表層微細沃土。其內含有碳酸鉀 K_2CO_3 ，碳酸鈣 $CaCO_3$ ，碳酸鈉 Na_2CO_3 等之細粉粒也。

(3) 冰力之作用 冰力之作用影響於土壤之造成，比水風為次。嚴寒時代，雪多雨少，塞谷充野，積而不消。時或大風驟起，塵砂蔽天，及風漸息，塵砂乃積於雪面，後又為新雪所覆，於是塵雪相間，漸積漸厚，遂成冰山。繼而氣候漸暖，冰山乃向下移動，是為冰川。當冰川移動之時，具有重大壓力，所經地面，必受磨擦。高山可以摧平，堅石可成粉粒。又其移動時，塵砂又腐積其上，漸融漸移。及融後乃沉積地面，而成土壤。此冰力作用造成土壤之大概也。

在數千萬年前，地球上冰山滿布。由南北兩極而趨向於地球之中心，故歐美皆為波及。現今北美之中北部，及歐洲之北部，冰力作用猶屬偉大。

(4) 熱力及冷力作用 熱力及冷力作用於土壤造成，亦至重要。蓋熱漲冷縮，乃物性之通例。惟漲縮之係數，則物各不同。岩石既為各種礦物集合而成，則岩石內所含礦質甚多，其漲縮之係數，自各不同。例如一花崗石，一大理石，在華氏寒暑表溫度高一度時，每一呎花崗石，漲至 0.000004852 吋。而大理石每一呎漲至 0.000005868 吋。漲度既屬不同，

而岩石不能不起破裂矣。

溫度之高低，既有係於礦物漲縮之大小，故在晝夜溫度變化激烈之熱帶，及冬夏溫度相差太甚之大陸地方，此種作用，特為顯著。有華氏五十度之變化者，每長一公呎之岩石，約漲〇、二五以至〇、六〇公厘。達華氏百五十度者，則變化更大，如一百呎長之花崗石，達華氏七十五度之差時，則可漲半吋云。

(5) 霜力之作用 霜力之作用亦能造成土壤，按水在華氏三十九、二度時，其密度最大。若溫度降低，則水之容積增加。至三十二度時，則水凝凍，其容積增大，較原來三十九、二度之水約增十一分之一。如一百容積之水，當凝凍時，漲而為百〇九容積。惟漲大時，壓力頗大，（計一千平方英尺有一百五噸）故嚴冬之際，水瓶水管每因之破裂。可知岩石孔隙間之水，或結成岩石之礦物所含之水，因寒暑頻仍，一漲一縮，其足以破碎岩石，自不待言。

但此種作用，在寒帶乾燥地方，不甚顯著。（以結冰不解故也），反之，若氣候漸濕，日夜溫度變化較大者，則此作用無時而止。雖至堅之岩石，亦將破裂矣。

(6) 植物之作用 植物之作用能直接或間接破碎岩石，分解礦物，而構成土壤。茲先自其最下等植物言之，此類下

等植物，分佈極廣。或附着岩石表面，或深入岩石空隙，經時愈久，繁殖愈盛，其分泌之酸類愈多，卒之岩石被其分解。例如硝化菌類雖在純粹礦質養液中，亦能生活。且有造成有機物之機能。據蒙茲（Müntz）氏考察阿爾卑斯（Alps）山之 Fanlhorn 地方之岩石分解，以硝化菌之作用爲主云。

菌類分解有機質時，常生成有機酸類，此種酸類與礦物質相化合而生種種有機酸鹽。并於此外往往生成多量碳酸水，此碳酸水，足使岩石崩壞，礦物分解，可斷言也。

岩石若已稍經風化，則下等植物如蘚苔類蔓延其表面，此類植物一方將其小根滲入岩石之裂隙，而使岩石變鬆。一方提取塵砂或腐植質、漸積其間。迨此類植物死後，則較高等之植物、乃漸次生長。於是岩石之崩裂愈爲迅速，蓋植物破碎岩石之惟一利器爲根。根之作用有機械及化學兩種，前者因植物生長之時，用極大壓力向四圍擴張，以資發育。岩石受其影響，裂隙漸次擴大。其他種種作用、（如水冷熱等力之作用）亦因之而起。後者因植物之根常分泌一種酸液，而溶解礦質故也。

據薩克斯（Sachs）氏以平滑大理石，裝入植木之盆底，不久即發現植物根之侵蝕痕迹。又據第特立喜（Dietrich）氏栽植各種植物於細末玄武石及砂石之中，而得生長期間內所

溶解吸收礦物質量。并知禾本科植物較豆科植物及蕎麥溶解力弱。玄武石較砂石受植物根之分泌溶解易。茲錄其結果如次：

表 一 五

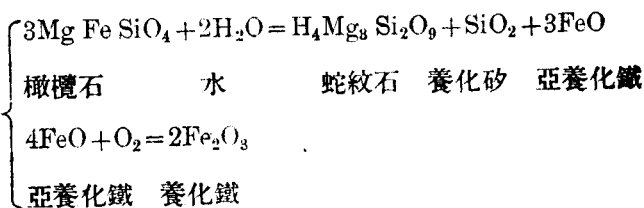
株 數	作 物	砂 石	玄 武 石
3	豌豆	0.481 gr	0.713 gr
10	蕎麥	0.232 gr	327 gr
8	小麥	0.027	0.196
8	裸麥	0.014	0.132

(7) 動物之作用 地中棲息之動物如鼯鼠，野鼠，穿山甲，野兔，蚯蚓，蟻及其他各種昆蟲類，或穿穴而行，或掘土而居，不惟有機械之用，直接使岩石破裂，礦物粉碎。又間接使養氣，炭酸，水分等深入地層，而得行其作用。至以泥土為食料之動物，泥土通過其體中時。所有有機質及礦物質經消化後，更加一層分解。此為自達爾文 (Darwin) 氏以來各學者所證明者也。據達氏之觀測，耕土在一公頃 (hectare) (約合中國十六畝) 中，棲息蚯蚓之數，約有六萬四千，而所排泄之物，年約四萬一千五百斤云。又據科斯第拉息 (Kostylacheff) 及武爾勒 (Wollney) 兩氏亦曾就蚯蚓之作用而研究

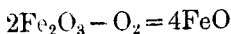
之，科氏以木葉試驗蚯蚓之粉碎狀態，武氏研究蚯蚓對於有機物及無機物之分解影響，其結果知蟲類之作用，能使土壤鬆軟，透通空氣及水分，促進礦物溶解云。

二 化學之作用

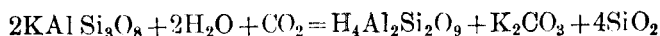
(1) 養化及養化還原作用 養化作用 (oxidation) 者，乃物質吸收養氣而起之化學作用也。岩石曝露空中，感受空中養氣之作用，漸行分解。若岩石內含有硫化鐵，碳酸鐵矽酸鐵等物質，則養化作用特為顯著。在濕潮之地，水分較多，其作用尤盛。例如橄欖石分解時，先吸取水分而後分解，生成蛇紋石及亞養化鐵。亞養化鐵受養氣之作用，則變為第二養化鐵。其變化如下。



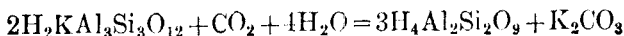
養化還原作用 (Deoxidation) 者，乃將化合物內之養氣減少或棄卻，與養化相反之作用也。此作用在排水不良之地，或富於有機質者，則多行之。今以養化鐵復變亞養化鐵之還原作用示之如下：



(2) 碳酸及碳酸還原作用 碳酸氣 CO_2 爲空氣成分之一。有機物之腐爛，物質之燃燒，動植物之呼吸，均能產生之。碳酸氣溶解於水中（在攝氏十四度一容積水能溶一容積碳酸氣），而爲碳酸水。此水較清水之溶解力大。（如四萬五千分之清水能溶解石灰石一分，碳酸水則二萬五千分能溶解二十五分石灰石）與各種礦物質相遇，即起分解作用。并溶解其礦物中之成分，而成碳酸鹽類。此種鹽類，甚易溶解，且易流失。今以正長石及白雲母受碳酸水之作用，而成陶土 (koalinite) 及碳酸鉀 (potassium carbonate) 其變化程式如下：



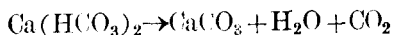
正長石 水 碳酸氣 陶土 碳酸鉀 養化砂



白雲母

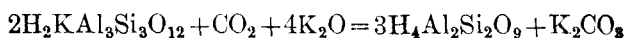
陶土

但在一種情況之下，亦有起碳酸還原作用 (decarbonation) 者，此作用對於土壤亦頗重要。其程式如下：



(3) 水化作用 水化作用 (hydration) 者，即水之化學作用之一。凡一切化學變化，其有賴於水之作用，盡人皆知。即養化作用時，若空氣乾燥，必藉水以爲媒介，已如上述。

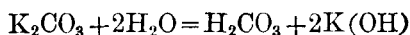
行碳酸作用時，水亦深入岩石，而起分解。如正長石及白雲母被水浸入，則變陶土及碳酸鉀，亦如前述。最後若碳酸鉀復受水之作用，則成輕養化鉀而流失。其變化程式如下：



白雲母

陶土

碳酸鉀

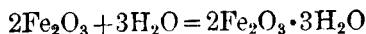


輕養化鉀

蓋水對於岩石及土壤有一種化合之功能，此種功能，即謂水化，各種礦物均感受此作用，惟橄欖石，長石，雲母等，感此作用特甚。被水浸入，則質變鬆軟，且失其光澤與韌力。

正長石及白雲母等石，被水浸入其中，所含之鉀質被水洗去，遂成多孔。後感受化學及機械二力之作用，則破碎而分解矣。又此等石類所含鉀質，若多被洗去，歸於無用，成爲瘠土，其關係農業殊爲重要。

又養化鐵（hematite）受水之作用，即變爲褐鐵礦（limonite）其程式如下：



但在乾燥情況，水分缺乏，則 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 之水，必失其一部或全部，而仍變爲養化鐵。此種作用，謂之水化還原作用（dehydration）。

(4) 溶液之作用 溶液之作用，亦可謂水之化學作用。岩石崩裂或礦物分解之際，則生各種複雜之化合物。此化合物被水溶解，則為溶液。故岩石或土壤中之水，多含鈣鎂鈉鉀各鹽基成分，而為鹽基溶液。此種溶液，易與各種礦物化合，而為綠化鹽，磷酸鹽，硝酸鹽，及碳酸鹽，種種鹽類。此種鹽類，頗易溶解及流失。若復遇他種岩石，則又起分解作用。如白榴石(lucite)受碳酸鈉(Na_2CO_3)或綠化鈉(NaCl)溶液之作用，而變為沸石(analein)。正長石受鈣鹽及鐵鹽溶液之作用，而成綠簾石(epidote)。

碳酸氣溶解水中，可使溶力增大，已如前述。惟雨下降之時，除空中之碳酸氣，可因以溶解外，他如空中之亞硝酸氣 NO_2 及亞硫酸氣 SO_3 亦可溶解少許，而為硝酸水 HNO_3 及硫酸水 H_2SO_4 。一達地面，即滲入岩石或土中，其溶解力亦較清水為大。

考溶液作用，不特對於岩石之破碎，礦物之分解，而對於土壤本身，亦頗重要。其重要之點，不外兩端。(一)為有損，(二)為有益。有損云者，岩石或礦物分解之際，各種養分因而流失之謂也。此種流失作用，關係農業頗大。有益云者，植物吸取養分，不能直接取自固體之礦物，必礦物先自溶解於水，變為溶液，始能吸收。

又火山噴氣亦爲岩石風化原因之一。惟此雖限於火山之地，而研究土壤者，亦不可不知也。火山噴出氣中，含亞硫酸氣硫化氫氣(H_2S)水蒸氣等。此等氣體與岩石相接融，則岩石之質即變脆弱，漸次生黃色或灰白色之黏質土壤。其原因以亞硫酸與空氣接觸即養化而成硫酸。後再與岩石中他酸起化合作用，而奪其鹽基，以生種種之硫酸鹽，使岩石崩碎。故火山地方之土壤中，富於石膏，明礬，硫酸鐵，硫黃者，正此故也。

三 土壤生成與氣候及岩石之關係

上述種種造成岩石之原因，不外機械與化學之兩種作用。機械作用，爲岩石破碎之原。化學作用，爲岩石分解之因。二者更迭進行，而使岩石變爲土壤者也。但因氣候乾濕與岩石種類不同，而所成之土壤亦異。

(1) 氣候之關係 氣候乾濕不同，則機械即及化學之作用強弱各異。氣候乾燥，則機械作用較強。氣候溫潤，則化學作用較強。二者作用不同，則所造成土壤亦異。

在乾燥地方，其冷熱力，風力及動植物之各種機械作用，頗爲強盛。其造成之土壤，土粒較粗，其顏色及光澤與原來者無異。而表土與心土稍有不同。蓋岩石曝露空中，其深淺不同，而其受風化力之強弱，頗有差異。往往有岩石表層已

被風化，而深層則否。故風化之結果，自有不同也。

濕潤地方，其化學作用較機械作用為強。其所造成之土壤，土粒較細，顏色各異，光澤亦失。蓋濕潤之地，水份甚多，化學之作用，進行甚易，洗滌之作用亦盛。故易改變顏色，遺失光澤。且土壤表層多為紅色，而心土多為黃色。今將乾地土壤與濕地土壤所含成分之比較，錄之於下：

表 一 六

	乾地土313標準平均數	濕地土 466 標準平均數
不溶解的	77.82	88.24
礫土 Al_2O_3	7.89	4.30
養化鐵 Fe_2O_3	5.75	3.13
石灰 CaO	1.36	.11
養化鉀 K_2O	.73	.22
磷酸 P_2O_5	.12	.11
養化鎂 MgO	1.41	.23
飛散的	4.94	3.64

觀上表可知乾地土壤比濕地土壤含砂石較少。但富於鐵質及鋁質諸成分。惟濕地土壤中之磷酸石灰，養化鉀及鎂等成分每易流失，故所含量，則較乾地土壤為少。至腐植質，

則濕地亦較乾地爲多。

(2) 岩石之關係 岩石之種類不同，其造成之土壤各異。如花崗石造成之土壤，多爲深紅黏土，含石英甚多。石灰石造成之土壤，多具韌性，富含砂石，惟二者所含鈣鎂鉀鈉等鹽基物，於風化時，均有流失。由石灰石變成之土壤，其鈣鹽基物流失特多。故此種土壤施以石灰爲佳，如下表所示：

表 一 七

花崗石成分及其造成土壤之成分

成 分	岩 石	土 壤	流 失
矽酸 SiO_2	60.69	45.31	52.45%
礬土 Al_2O_3	16.89	26.35	.00
養化鐵 Fe_2O_3	9.06	12.18	14.35
石灰 CaO	4.44	.00	100.00
養化鎂 MgO	1.06	.40	174.70
養化鉀 K_2O	4.22	1.11	83.52
養化鈉 Na_2O	26.2	.22	95.03
磷酸 R_2O_5	.25	.47	.00
H_2O (ignition)	.62	13.175	gain

表 一 八
石灰石成分及其造土壤之成分

成 分	岩 石	土 壤	流 失
矽酸 SiO_2	7.41	55.57	27.30%
養化鐵 Fe_2O_3	.98	7.93	24.89
礬土 Al_2O_3	1.91	20.44	.00
石灰 CaO	28.29	.51	99.83
養化鎂 MgO	18.17	1.21	99.38
養化鉀 K_2O	1.08	4.91	57.49
養化鈉 Na_2O	.09	.23	76.04
磷酸 P_2O_5	.03	.10	68.78
二養化炭 Co_2	41.59	.38	99.15
水分 H_2O	.57	6.69	gain

按上兩表觀之，則知土壤由花崗石變成者。其成分與原有成分無大異。從石灰石變成之土壤，因碳酸鈣之易於分解，流失過多，其土壤之成分與原有成分差異頗大。

第四章 土壤之分類

一 土壤分類法之概別

土壤分類，殊不易易，非如動植物有明顯之特徵及系統可分爲支，派，部，科，屬及種。而土壤分類，則不然，隨地方氣候及土壤之性質種種而異。俄國爲土壤分類最早之國，其分類之法，以氣候爲主。法國則依地質學上之生成而分類。總之土壤分類，現今世界各國，均無一致。然其據爲分類之基礎者，約不外下列數種。

(1) 依地質學上之分類法 依地質學上之分類者，乃根據土壤生成之原因而行分類也。此種分類較爲重要，詳述於後。

(2) 依岩石上之分類法 岩石分類法者，乃按生成土壤之岩石而分類也。例如由花崗岩生成之土壤，曰花崗岩土壤是也。

(3) 依溫度之分類 溫度分類法，乃按地方溫度之高低而分類。如熱帶土壤，溫帶土壤，寒帶土壤等是也。

(4) 依降雨量之分類法 降雨量分類法，乃按地方雨量之多寡而分類。如雨量在十英吋以下者，曰燥土壤(arid soils)。雨量由十至二十英吋者，曰半燥土壤(semiarid soils)。雨量由二十至三十英吋者，曰亞濕土壤(subhumid soils)。雨量在三十英吋以上者，曰濕土壤(humid soils)。雨量過多者，曰過濕土壤(super humid soils)。

(5) 依植物生長之分類法 植物生長之分類法者，為按植物生長適宜與否而分類。如(甲)適於草類生長之土壤，曰草類土壤(prairie soils)。(乙)適於林木生長之土壤，曰森林土壤(timber soils)。(丙)適於耐鹼性植物生長之土壤，曰鹼性土壤(alkali soils)。(丁)適於耐酸性植物生長之土壤，曰酸性土壤(acid soils)。

(6) 依土壤色澤之分類法 土壤有種種色澤。以土色而行分類者，即稱土壤色澤之分類法。如土壤為黑色者，曰黑色土壤。為灰色者，曰灰色土壤。為黃色者，曰黃色土壤。為褐色者，曰褐色土壤。

(7) 依土壤結構之分類法 以土壤結構而分類者，乃按各種土粒配合之狀態，而行分類者也。此種分類為研究土壤學最重者，另詳述於後。

二 地質學上之分類法

土壤地質學上之分類者，即依據岩石風化之原因而行之分類者也。換言之，即土壤生成原因之分類也。此種分類於追溯土原，研究土性，殊為重要。考土壤之成因既有種種，而其種類自各不同。然大別為二，一為不移動者，一為移動者。前者謂之原積土，後者謂之運積土。茲將其分類之簡表列下。

(1) 原積土 (sedentary)

原積土者，由岩石之崩碎及有機物之分解積於其原地，而未曾經過移動之土壤也。此類土壤，又分為兩種，原生土及腐植土是也。

表 一 九

原 積 土 (sedentary)	}	殘積土 (residual)		
		腐積土 (cumulose)	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td>泥炭土 (peat)</td> </tr> <tr> <td>腐炭土 (muck)</td> </tr> </table>	}
}	泥炭土 (peat)			
	腐炭土 (muck)			
運 積 土 (transported)	}	額積土 (collapse) (地心吸力作用 gravity)		
		水 成 土 (water deposits)	沖積土 (alluvial) 由河水而成	
			海濱土 (marine) 由海水而成	
			淤湖土 (lacustrine) 由湖水而成	
		冰成土 (ice deposits) 冰之作用 (glacial)		
風成土 (wind deposits) 風之作用 (æolian)				

(一)殘積土 殘積土者，由原地岩石所殘留之土也。此種土壤，生成最早，可稱最古之土壤。自岩石崩解後，從未遷動。苟於該土之生成地掘深數尺，則所存在之岩石與此適同。近山之地，發現最多。其土壤之性質及成分與原來之岩石毫無差異。此種土壤，含有鐵質甚多。經養化後，即變為赤鐵礦，或褐鐵礦，呈紅色或黃色，視感受養化及水化之深淺而異。但含有機物質多者，則呈灰色褐色或黑色，蓋有機質能將其紅黃諸色隱藏故也。此種土壤，復受風化後，則土粒逐漸分離，變為極細之滓土，黏土及黏質壤土，砂土亦有之。所含有機物之多寡，則隨氣候之影響而異。若雨水調和，溫度等適當，則合於作物生長。

表 二 ○

成 分	%
矽酸 SiO_2	66.49—70.99
礬土 Al_2O_3	17.11—11.39
養化鐵 Fe_2O_3	7.43— 4.23
養化鎢 TiO_2	1.02— 1.28
石灰 CaO	.36— .93
養化鎂 MgO	.31— 1.08

養化鉀 K_2O	.62— .271
養化鈉 Na_2O	.16— .82
磷酸 P_2O_5	.17— .19
硫酸 SO_3	.07— .34
有機物	1.26— .92

(二)腐積土 腐積土者，乃各種植物腐爛，有機物質積蓄而成之土壤也。湖澤之濱，植物生焉，如黃藻苔蘚等類。有時湖水氾濫，將岸邊之植物衝刷，淹沒水內，而與空氣隔絕，不受養化作用。後經菌類之分解作用，其質逐漸腐爛。迨後水退，其呈深褐色或灰色以至黑色之炭化物現出，即為腐植質，與土混合即曰腐植土。此外尚有生長於水中之植物，如水蓮等，浮生水面，下層或已腐爛沉淤，而上層猶蔓延繁殖。又有半水屬植物。蔓延生長於水中，日久亦可化為腐植土。

濱海之灣，及江河入海之口，亦常有植物沉積，久則變為海沼。往往潮汐漲落，蓄積特多。海藻，海草，等植物，叢生其中。潮漲則沒，潮落則出。腐爛後亦成為腐植土。以在溫帶及寒帶為最多，熱帶亦偶見之。

腐植土有兩種：泥炭土(peat)及腐炭土(inuck)是也。此兩種之區別，依腐朽情形而分。泥炭土者，乃植物有機質尚未完全腐朽之土壤也。其植物枝葉之組織，猶能辨識，與

原來植物無異。其質疏鬆，可作煤用。歐洲北部，多利用爲燃料。腐炭土者，乃植物有機質已完全腐爛之土壤也。其質較泥炭土稍緊密，色澤亦較深暗。該兩種土壤，所含有機物極富，爲土壤中最肥沃者。但排水通氣不甚良好，往往植物不能生長，反易腐爛。苟施以磷酸及加里肥料，則可成膏腴之壤。

又在海湖之底，及溫泉中，往往有矽藻生焉。此種植物，爲單細胞植物，爲矽質所成，繁殖甚盛。其死後遺體，與沙泥相雜，而積成厚層，有達數百尺者。色白而質鬆，含矽質甚多，亦適宜於栽種，名曰矽藻土壤。

湖澤之地，常生有軟體動物。(介殼類)死後，其遺體即與腐植土混雜一處。積久則破碎，變爲土壤。故腐植土，所含石灰質多者，以此故也。

(2) 運積土 (transported)

運積土者，乃由一地而遷移於他地之土壤也。岩石崩解後，或已成之原積土，受外界力(風力水力冰力等)之運徙，散佈於各地。積蓄日久，遂成土壤，是爲運積土。此類土壤分爲四種，皆以其所受外界力之不同而定。

(一) 頽積土 頽積土，爲山中岩石崩碎所成之土壤。受地心吸力之作用而頽下，名曰頽積土。此種土壤，大都發現

於山麓之下。其性質甚雜，含石質多，其色澤與原有之岩石無大異。若有多量有機物積蓄其內，則變爲他色。結構粗而且鬆，對於農作物栽培不甚適宜。

(二)水成土 水具沖激剝蝕及遷移之作用，故有成土之功能。凡土壤由水力而成者，大都均甚肥沃。水成土壤又可分爲三種：由河水所成者，曰沖積土。由海水所成者，曰海濱土。由湖水所成者，曰淤湖土。

(甲)沖積土 江河之水，終年流動不息。常挾帶泥滓遷至各地，積而成土。當江河氾濫時，兩岸土地，常被湮沒。及水退後，則有雜質淤泥停蓄其上。積蓄愈久，則河岸愈高，江河兩岸之土地，大都因此積蓄而成。

考河流作用所成之沖積土。依其形式而分爲三種。(a) 溢原沉積(flood plain deposit)。(b) 三角洲(delta)。 (c) 沖積丘(alluvial cone)。

(a) 溢原沉積 溢原沉積者，乃因江河之水，多發源於山中而下注平原。當氾濫時，下瀉之勢，湍急異常，河道不及容納，每致暴漲橫溢，成爲澤國。在河流盛漲之際，所雜之渣滓頗多。及氾濫平原，則速力轉緩，所雜渣泥，逐漸停蓄。故每當江河氾濫一次，則平原土層爲之增加。積久愈厚，名曰沖積層(alluvium)。其地名曰溢原沉積。所成之土

壤，皆甚肥沃。如米西西比河兩岸平原所積成之土，約有五十英尺之厚。我國黃河下流及直隸東部之沖積地，亦沉積頗厚，現已成為肥田。

(b) 三角洲 三角洲多見於河口。乃江河入海或湖，所攜有泥土淤積而成者。蓋凡江河下注，至尾閭則速力減緩。而一路所挾泥土，至此沉入河底，日積月累，漸漲漸增，而成沙灘。其位置常適當河口中流，其形狀常似三角，故稱為三角洲。洲之大者。如米西西比河口及亞洲之恆河與雅魯藏布江合流入海處之三角洲。吾國黃河及長江口之三角洲面積亦甚大。有達數萬平方里者。（參考謝家榮地質學）每見三角洲之首部，異常卑濕，愈至下方愈高。其沉積均多半係細微泥土所組成，其中富於植物及動物之遺體，故土質肥沃，最稱富庶，惟排水不甚佳良。

(c) 沖積丘 澗水暴發，其勢洶湧，緣峻坡而下注山麓谷底，其流速度頓減，所挾泥沙石塊，漸至淤積。愈下愈寬，其形似扇，是為沖積丘，或稱為扇狀沖積地（alluvial fan）。大抵近溝口處，停積最厚。愈下則愈薄。其中砂石大小雜沓，無層次可分。沖積丘頗類似三角洲，其不相同之點，在位置及土質耳。沖積丘土質，砂土居多。三角洲土質，大都為黏土，或黏質壤土。故沖積丘之土壤，排水較三角洲土

壤爲易。

沖積土之肥瘠，視江河流所攜之物質而定。大概言之。沖積土均爲膏腴之壤，因其含有機物頗富故也。

(乙)海濱土 海濱土，乃海水浪潮沖激及遷移作用所積蓄之土壤也。沿海之地，怒濤駭浪，衝擊無已，其剝蝕力之大，可想而知。每見濱海之邊，參差凸凹不齊，乃浪潮沖刷之結果也。故當海水發生浪潮，即挾有砂礫，隨浪衝盪。若一遇阻力，則速力驟減。將所挾有砂礫泥滓停蓄，愈積愈高，遂成島嶼，而變土壤。又泥土砂礫往往爲浪潮沖盪，及流水溶解後，將所含有機物等完全消失，僅餘礦質。故海濱土所含石英特多，常成砂質土壤。土粒粗大，色澤光亮，所含營養分甚少。含有鹽質多者，則成爲鹼土。

(丙)淤湖土 淤湖土者，乃由湖淤積後所成之土壤也。土層清晰不亂，粗者在一地，細者又在一地，不相混雜。呈灰色以至黑色，依所含有機物多寡而別。含有機質物多者，色深暗。所積之深度不一，有高約數尺者，土質頗肥，因其含有多量腐植質故也。

(三)冰成土 冰成土者，由冰之作用，將岩石粉碎所成之土壤也。寒濕時代，崇山之巔，積雪頗厚，終年不溶，凝結成冰，愈結愈厚，則壓力愈大，遂即崩頽下墜，流入溪間

或低窪內，即所謂冰川(glacier)是也。當冰川移動時，其下層常有石塊砂礫凍結其中，隨流下駛。而所經過之地，必為之刮磨鑿損。又挾有泥土砂石隨之同流，遇天氣溫和，則冰川漸融，所挾之物質，漸次停蓄。

冰成土土質，以壤土及黏質壤土為多。心土較表土細微，排水不良。呈灰色，黃色以至褐色。新近所生成者為紅色或黃色。其化學性質與原有岩石毫無差異。原有岩石含有多少養分，該土即含有多少養分，養分為水所濾去者甚微。此種土壤，性質頗雜，易感受外界天然力之影響，而常變其性質。其所成土之深度不一，視岩石堅軟而定。其土質肥瘠，由風化作用久暫而別。

表 二 一
冰 成 土 之 成 分

成 分	%
矽酸 SiO_2	40.22—48.81
養化鐵及礬土 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	11.30—10.07
養化鎂 MgO	7.80—7.95
石灰 CaO	15.65—11.83
養化鉀 K_2O	2.36—2.60

磷酸 P_2O_5	.05— .13
二養化炭 CO_2	18.76—11.47

(四)風成土 風成土者，乃由風力吹積所成之土壤也。生成於旱帶及雨水稀少之地。其種類有二，曰低原風成土，及高原風成土是也。

(甲)低原風成土 低原風成土之生成，為冰川溶解後，流入溪河之內，將所攜泥土停蓄其內。當水涸風巨時，其細微泥土，為風吹起，而散佈於各地，成為沉土或黏質壤土，呈黃色或淡黃色，無層次，不易再受風化作用。有韌性，峭壁矗立，能經數千年而不頹。但其質甚柔脆，粉碎甚易。土中有許多小管，由碳酸鈣溶解所成，所含石灰頗多。亦含有少量有機物。若灌以適當之水分，則成為肥沃之土壤，為世界上所稱膏腴之壤也。分布甚廣，如德國之萊因河 (Rhine River)，美國米西西比河，與密蘇里河 (Missouri River) 等之沿岸，及法國北部為最著。我國北部及黃河流域一帶亦有之，其面積極廣，有在數萬方里以上者，其深度自數尺至千餘尺。

(乙)高原風成土 高原風成土者，為乾燥之地，荒蕪山坡，受機械之崩碎，再由風之作用，吹佈於各地所成之土壤也。故旱帶及半旱帶均有之。分佈亦廣，如美國加利福尼亞

(California), 亞利桑那 (Arizona) 等地均有之。吾國北部及中部每見有高原風成土之沉積。該土亦有在湖沼所積之沉澱，水乾爲風吹起而成者，惟不常見。其性質與低原風成土無異，爲具有石灰質之細黏土，呈灰褐色或黃色，有韌性，土粒細微，不分層次。土質肥沃，多成良田。其與低原風成土之區別，在生成之地，及其生成原因不同也。

表 二 二
風 成 土 之 成 分

成 分	低原風成土	高原風成土
矽酸 SiO_2	71.30—86.96	66.69—44.64
養化鋇 TiO_2	.60— .69	— —
礬土 Al_2O_3	11.47— 4.69	14.16—13.19
養化鐵 Fe_2O_3	4.05— 2.86	4.38— 5.12
養化鎂 MgO	1.10— .43	1.28— 2.96
石灰 CaO	1.38— .71	2.49—13.91
養化鈉 Na_2O	1.95— 1.07	.67— .59
養化鉀 K_2O	2.40— .91	1.21— 1.71
磷酸 P_2O_5	.23— .07	.29— .94
淡素 N	.22— .11	— —

二養化炭 CO_2	-	-	.77 - 8.55
有機質	-	-	2.00 - 3.43

(丙)砂丘(sand dunes) 砂丘，爲風吹積所成之土堆，亦風成土之一種也。蓋細微砂礫及泥土爲風吹起，因地面上樹根草堆或石塊等物之障礙，風過後，則砂礫泥土等被阻而沉積於此，逐漸增大，遂成砂丘。有高數百尺，綿亘六七十里者。其中主要成分爲石英，他種物質亦含有之。此種土質，既不能耕種，而又淹埋肥沃土壤，變成荒蕪不毛之地。故對於農業有莫大之憾焉。沙漠之地，風勁沙多，常有砂丘發現。吾國陝西綏遠沿黃河兩岸及鄂爾多斯等地，砂丘極多。

三 結構上之分類法

研究土壤學者，當以土壤之結構爲分類之標準。然據土壤之結構而分類者，又以各人之主觀及地方不同，而分類之法亦略有差異。總之，因土粒之大小不同，混合之比率不一，土壤之種類乃分。普通別爲四大類，曰礫土(gravel soil)。曰砂土(sand soil)。曰壤土(loam soil)。曰黏土(clay soil)是也。

(1) 礫土 普通所謂礫土者，必含有百分六十至八十之石礫。其細土之含量甚少，不及百分之三十。若石礫含量愈少，細土含量愈多者，其價值乃增。但因其所含石礫之不同，

亦可分爲數種。石礫含量在百分之三十以上，而 $\phi \cdot \phi$ 五以下直徑之土粒在百分之二十以下者，謂之砂質礫土 (sandy gravel soil)。二十至五十者，謂之壤質礫土 (loam gravel soil)。五十至七十者，謂之黏質礫土 (clay gravel soil)。凡土壤含石礫之量達百分之三十以上者，均曰礫質土壤。

(2) 砂土 普通所謂砂土者，含百分八十以上之砂粒，其質甚疏鬆，空氣水分通透甚佳，易於耕耘，分解作用亦迅速。惟此種土壤，土粒直徑愈大者，保水力愈弱。一遇高溫，蒸散頗盛，易罹旱害。若加以腐植質，足以改良其性質。

(3) 壤土 壤土者，爲含有黏土粒，滓土粒及砂土粒之土壤，其黏性及砂性約相等者也。爲土壤中性質最良者，一般作物之栽培，無不宜焉。

(4) 黏土 黏土爲含有百分六十以上之黏土粒及滓土粒 (黏粒較多)。百分之四十以下之砂土粒，其一般性質與砂土相反，改良此種土壤之性質，以加石灰爲最良好。

以上四種土壤，礫土雖爲土壤之一。因其對於農事上之價值甚少，不得謂爲真正之土壤。而砂土壤土黏土三者，頗爲重要。故一般土壤之分類，有僅分爲三大類者。茲將此三類土壤分析所含各土粒之百分數，列表於下。

表 二 三

土 粒	砂土%	壤土%	黏土%
細礫	2	2	1
粗砂	15	5	3
中砂	23	5	2
細砂	37	15	8
最細砂	11	17	8
滓土	7	40	36
黏土	5	16	42

在普通田地之土壤，又非僅此三者。所謂砂土者，有粗砂土，中砂土，細砂土。所謂壤土者，有砂質壤土，滓質壤土，滓黏質壤土。所謂黏土者，有砂質黏土及重黏土。若僅分爲三大類，則其餘種種，不顯區別，皆非所宜。故從此三類土壤中，又可分爲十一種焉。

表 二 四

砂土	{	粗砂土(coarse sand soil)
		中砂土(medium sand soil)
		細砂土(fine sand soil)

壤土	}	中砂質壤土 (medium sandy loam soil)
		細砂質壤土 (fine sandy loam soil)
		壤土 (loam soil)
		滓質壤土 (silt loam soil)
		滓黏質壤土 (silt clay loam soil)
		黏質壤土 (clay loam soil)
黏土	}	砂質黏土 (sandy clay soil)
		黏土 (clay soil)

以上種種土壤，皆以其混合各種大小土粒之比率不同而異，茲分述如下。

(一)粗砂土 粗砂土者，因土壤中含有百分之八十或八十以上之砂粒。其砂粒中又以粗砂為最多，僅含有百分之二十或二十以下之滓粒及黏粒，故謂之粗砂土。

(二)中砂土 凡土壤中含有百分之八十或八十以上之砂粒，其砂粒中又以中砂較多，則謂之中砂土。

(三)細砂土 土壤中含有百分之八十或八十以上之砂粒其中又以細砂為最多，則謂之細砂土。

(四)中砂質壤土 土壤中含有百分之五十至七十之中砂粒，又百分之五十至三十之滓粒及黏粒者，謂之中砂質壤土。

(五)細砂質壤土 土壤含有百分之五十至七十之細砂，又百分之五十至三十之滓粒及黏粒者，謂之細砂質壤土。

(六)壤土 土壤中含有百分之三十至五十之砂，及百分之七十至五十之滓粒與黏粒。則謂之壤土。

(七)滓質壤土 土壤含有百分之六十或六十以上之滓粒及黏粒（滓粒最多）而砂粒居百分之二十左右者。則謂滓質壤土。

(八)滓黏質壤土 土壤中含有百分之五十以上之滓粒，及百分之二十以上之黏粒，則謂之滓黏質壤土。

(九)黏質壤土 土壤中含有百分之二十至五十之砂粒，百分之二十以上之滓粒及百分之三十左右之黏粒，則謂之黏質壤土。

(十)砂質黏土 土壤中含有百分之四十或四十以上之黏粒及滓粒（黏粒較多）又百分之五十或五十以上之砂，則謂之砂質黏土。

(十一)黏土 凡土壤中含有黏粒甚多，在百分之三十至四十以上者，則謂之黏土。

茲將各種土壤分析所得各種土粒之成分列表於下。

表 二 五

土 壤	細礫	粗砂	中砂	細砂	最細砂	沈土	黏土
粗砂土	12	31	19	20	6	7	5
中砂土	2	15	23	37	11	7	5
細砂土	1	4	10	57	17	7	4
中砂質壤土	4	13	12	25	13	21	12
細砂質壤土	1	3	4	32	24	24	12
壤土	2	5	5	15	17	40	16
滓質壤土	1	2	1	5	11	65	15
滓黏質壤土	0	2	1	4	7	61	25
黏質壤土	1	4	4	14	13	38	26
砂質黏土	2	8	8	30	12	13	27
黏土	1	3	2	8	8	36	42
重黏土	0	2	1	4	5	38	50

由此表觀之，可知土壤之不同，全由各種土粒混合之比例而異。故分別何種土壤，須察其各土粒組合之成分，即可判定矣。

四 各種土壤之鑑別法

鑑別土壤種類方法，多行於田野間之分類，或考察土壤

之時，因在田野間分別土壤種類，不能施以機械之分析，全憑吾人之觀察而定。其觀察宜注意者，為土壤之色澤及有機物之含量。而最要者，宜行一種之感覺試驗法。感覺試驗法者，乃以個人之感覺而分別土壤也。例如觀察土壤時，取土置諸手掌上，用手研擦或用手指取土磨擦，使其粉碎，觀其土粒之粗細，察其何者成分之多寡，而定土壤之種類。該法雖屬粗放，但實便利，而土壤分類有經驗者，行之更佳。茲舉觀察標準法則數端於下。

(1) 關於土壤所有土粒大小之性質。

(一) 土壤之土粒頗大者，則為礫土。

(二) 土壤之土粒透明而堅實，且無凝聚性者，則為砂土。

(三) 土壤之土粒頗小，溼時富於凝聚性，乾時甚硬者，則為黏土，或砂質黏土。

(2) 關於土壤所有土粒大小數目之性質。

(一) 土壤混合之性質，若砂粒與黏粒混合之數相等，則為壤土。

(二) 土壤混合之性質，若砂粒多者，則為砂質壤土。

(三) 土壤混合之性質，若滓土多，土壤為麵粉或滑石狀，且溼時富於凝聚性者，則為滓質壤土。

(四) 土壤混合之性質，而黏土多，富於凝聚性者，則為

黏質壤土。

以上數項，乃鑑別土壤種類之最要者。第此種鑑定，只明其大概，不甚精確。欲求精確，非用機械之分析不為功。

吾國幅員廣袤。土壤分類，極為重要。然迄今尙未實行。考世界各國土壤分類之歷史，以我國為最古。在紀元前二千三百五十七年，至二千二百六十一年，已有土壤分類之學。自禹平水土，別九州，辨其土之資與色，以定其由之等第，因其宜以興地利，制其等以定賦法。全國土壤分為九種，一曰黃壤，二曰赤埴墳，三曰白壤，四曰墳壩，五曰白墳，六曰黑壤，七曰青黎，八曰塗泥，九曰塗泥，別為上中下三等。降至周朝，周禮大司徒以土會之法，辨五土之生物。曰山陵，川澤，邱陵，墳衍，原隰。後管子又分九州之土為九十物，分類頗繁。此我國古代土壤分類之大概。

第五章 土壤之結構及組織

I. 土壤之結構

土壤結構者，乃研究構成土壤之土粒 (soil particle) 之大小之謂也。蓋一種土壤所含土粒之大小，殊不一致，有粗者，有細者。其形狀亦參差不齊，有圓者，有稜角者，有滑者，有糙者。土壤所含土粒有多屬大者，有多屬小者。多屬大者，則謂之粗結構 (coarse texture)。多屬小者，則謂之細結構 (fine texture)。考土壤之結構與土壤之肥瘠，植物之生長大有關係。結構細之土壤，恆較結構粗之土壤為肥沃。

土粒之大小與植物生長既關重要，農家栽培作物，頗宜注意，且亟應改良。蓋土粒過粗（如粗砂土），或過細（如重黏土），均不適用於一般作物之生長。苟於一種土壤之中用容土法 (transpotation)，參入各種土粒調和之，土壤結構固可以改良。但此種調和作用，對於狹小地面，則易為功。若地面廣大，而欲驟然改變土壤結構，則耗費過大，誠非易事。惟選擇適宜於此種土壤之植物，逐漸栽培，久而久之，亦可

使土壤之結構變佳云。

一 土粒之類別

土粒分類者，乃按土粒之直徑而類別之也。土粒之大小各有不同，而分類之法亦不止一端。有分爲五類者，有分爲六類者，亦有分爲十二類者。總之因農事上之關係不同，故分類亦異。茲就最普通之分類法分爲七類。

表 二 六

土 粒	直 徑
1. 細礫(fine gravel)	2-1 m. m.
2. 粗砂(coarse sand)	1-.5 m. m.
3. 中砂(medium sand)	.5-.25 m. m.
4. 細砂(fine sand)	.25-.10 m. m.
5. 最細砂(very fine sand)	.10-.05 m. m.
6. 滓土粒(silt)	.05-.005 m.m.
7. 黏土(clay)	.005-以下極小 m. m.

由此可知土粒直徑從 2 至 1 m. m. 者爲細礫，由 1 至 .5 m. m. 者爲粗砂，.5 至 .2 者爲中砂，餘類推。惟土粒直徑在 2 m. m. 以上者，多稱爲粗礫，不列入土壤土粒之內。

二 三種土粒之特性

土粒之種類已如上述。總而言之，不外三種，曰砂粒(sand particle)，滓粒(silt particle)，及黏粒(clay particle)是也。此三種土粒最爲重要，各種土壤均由此三種土粒構成，但因其構成之成分多寡不同，而土壤之種類及性質亦異。故欲知各種土壤之性質。不可不先明三種土粒之特性，茲分述於下。

(1) 礦物學上之特性。

砂粒爲砂岩及變岩等所風化而成，多含石英，其他礦物質甚少。

滓粒及黏粒多爲黏質岩及頁岩所風化而成。他如角閃石，長石，雲母及斜輝石含量甚多。又滓粒含有石灰少許，黏粒多含矽酸鋁。

(2) 物理上之特性。

砂粒(一)含有機質甚微。(二)質重而大。(三)黏著力極微。(四)凝聚力亦極微。(五)乾時縮小不多。(六)溼時漲大亦少。其構成之土壤，質輕而鬆，易於耕勸，故有輕土(light soil)之名。日中吸收熱甚速，夜間放熱頗易。通氣排水，頗稱佳良。且植物發芽較他種土壤爲快。保水力則甚弱。

滓粒(一)含有機物稍多。(二)質輕而小。(三)黏

著力較砂土大。(四)凝聚方稍強。(五)乾時縮小之度甚於砂土。(六)溼時漲大亦較砂土強。其構成之土壤，耕耨稍難。吸熱，放熱，及通氣排水，均不若砂土之易。保水力中平，較砂土為強。

黏粒(一)含有機質甚多。(二)質較沈粒為小。(三)黏著力極大。乾時為尤甚。(四)當於凝聚力。(五)溼時漲大，乾時縮小，亦較滓粒為大。其構成之土壤，不易耕耨，故有重土 (heavy soil) 之名。吸熱放熱均緩。通氣排水概屬不良，保水力甚大。微管吸力頗強，故多溼潤而少旱魃之患。其土中肥料之分解慢，流失亦少。

(3) 化學上之特性。

砂粒含鹽基物甚少。滓粒及黏粒則含鹽基物頗多，故較肥美。

(4) 生物學上之特性。

砂粒構成之土壤。其土中各種微生物 (micro-organism) 甚少。因(一)有機物質甚少，微生物之食物缺乏。(二)排水過易，當水分多時，微生物往往因以沖失。又保水力弱，當雨水少時，則微生物失其相當之水分。(三)含鹽基性物少，易發生酸性，微生物不適於生長。

滓粒與黏粒構成之土壤，其土中之微生物則甚多。因其

具適於微生物生長之條件也。(一)有機物較多，微生物之食物充足。(二)排水不甚容易，雖雨水多時，不致沖失。雨水少時，亦可得相當水分以資生長。(三)含鹽基性物多，酸性物少，適於微生物之生長。

三 土粒之數目及其面積

土粒之數 土壤中土粒之大小，與土壤中土粒之多寡成爲反比例。在一定容積內之土壤，其種類不同，而所含土粒之數各異。土粒大之土壤，則土粒少。土粒小之土壤，則土粒多。例如同爲一公分之土壤，其土粒之數目，砂土有 2,287,000,000 萬，壤土則有 7,332,000,000 萬。黏土則更多，有 19,177,000,000 萬。今按各土粒之平均直徑，及其比重（一般土壤爲 2.65）。依下式即可求得各種土壤土粒之數目。

$$\frac{\text{土壤重量}}{\frac{1}{6} \pi D^3 \times 2.65} = \text{土粒數}$$

茲將各種土壤土粒之大概數目，列表於下。

表 二 七

土 壤	每公分土粒數
粗砂土	2,269,000,000

中砂土	2,287,000,000
砂質壤土	5,483,000,000
細砂質壤土	5,485,000,000
滓質壤土	6,868,000,000
黏質壤土	11,877,000,000
黏土	19,177,000,000

土粒之面積 上述土粒之大小與土粒多寡成爲反比。而土粒之多寡則與土粒之面積爲正比。在同等容積之土壤，土粒多則面積大，土粒少則面積小，土粒面積之大小，關於土壤之肥或瘠頗爲重要。面積大則土壤之吸收力大。吸收力大，則土壤肥美。譬如土壤吸收水分之力大，則水分多。水分多，則土壤中之溶解率增。溶解率增，則土中之礦物質養分溶解必多，植物生育得以繁盛。其面積之計算，亦可依下式求之。

$$\pi(\text{土粒平均直徑})^2 \times (\text{土粒總數}) = \text{土粒面積}$$

茲將各種之土粒面積列表於下。

表 二 八

土 壤	每公分土壤之土粒面積 方吋	每磅土壤之土粒面積 方呎
粗砂土	91	280
中砂土	89	286

砂質壤土	213	671
細砂壤土	223	699
滓質壤土	307	967
黏質壤土	430	1354
黏土	653	2057

按此表觀之，可知土粒之粗細與土粒之面積有莫大之關係，粗砂每磅不過 280 方呎之面積。至黏土則為 2057 方呎之面積。兩者相較，黏土面積比粗砂面積約多八倍。於此可知土粒大小與面積之關係矣。

四 土壤之機械分析法

土壤之機械分析 (mechanical analysis)，即分離土壤土粒之法也。不特為考察土粒類別必須之工作，而對於土壤物理性（如排水通氣等）質之研究，與夫土壤中化學之變化，植物生長之適否，均有重大關係。故任考查何種土壤，宜首行機械之分析。

土壤機械分析法，先取風乾土壤標本 50 至 60 公分，用各種直徑不同之篩，以定各種大小石礫之量。先用直徑 10 m. m. 之圓孔篩篩之，秤定其不能下落者之量。次用直徑 8 m. m. 之圓孔篩篩之，又秤定其不能下落者之量。後用直徑 6 及 4

以至 2 m. m. 之圓孔篩篩之，依次而秤定其量。計算其百分數。

表 二 九

直徑

10 m. m. 以上之石礫	%
10-8 m. m. 之石礫	%
8-6 m. m. 之石礫	%
6-4 m. m. 之石礫	%
4-2 m. m. 之石礫	%

凡在 4 m. m. 直徑以上者，謂之粗石礫。其能透過 4 m. m. 直徑，在 4 m. m. 直徑以下 2 m. m. 直徑以上者，則爲細石礫。自 2 m. m. 直徑以下者，概謂之細土。再由細土而分析各種不同之土粒焉。

土粒分析之方法甚多，大約假水力以行，始較精密。惟假水力而行分析者有兩種，靜水分析法與流水分析法是也。

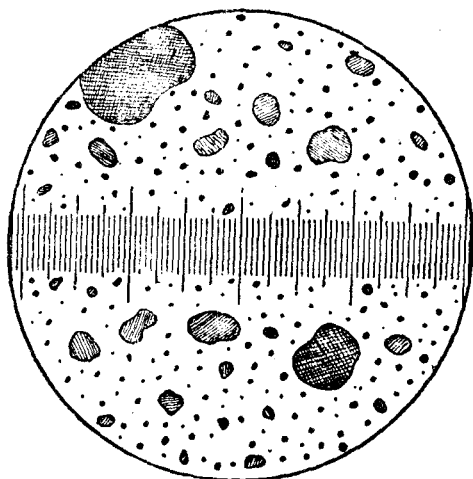
(1) 靜水分析法 此法於靜水中攪動土粒。觀其沈降之狀態而行分析之法也。其法有數種，擇其要而易行者分述於后。

(一) 奧茲本氏玻杯分析法 (Osbon's Beaker Method)

此法乃利用地心吸力，而起沈澱作用之方法也。先將土壤標本(細土)用亞母尼亞水 (NH_4OH) 使土粒完全分離，後加水

攪動，則土粒大小依次沈下。其粒大者（如砂），最先沈下。後將未沈下之滓土與黏土倒出。若砂間附有滓土與黏土，則加水攪動。至於砂間，不附帶此種土粒為止。乃將砂乾之，篩入同等之砂內。又將倒出之滓土與黏土，再如前法，加水淘汰，使其分解。（其時可將混液（suspension）一點。放於顯微鏡之測微器（micrometr）之接物鏡（stage micrometer）上，細為觀察。）待達一定大小之度，滓土完全沈下。將黏土倒出。使其乾燥而後計算其百分數。

第 三 圖



此圖乃表示土粒在顯微鏡測微器上之大小，其直徑自一格或小於一格之土粒謂之黏粒，從一格以至十格之土粒謂之滓粒，在十格以上者謂之最細砂。

此法需時頗多，而滓粒與黏粒分出尤不易易，故分析滓粒與黏粒多利用下法。

(二)離心分析法(*centrifugal analysis method*) 此法乃分析滓土與黏土較善之法也。先取土壤標本如前法，將礫砂分出。其從礫砂中分出之滓土與黏土——如第(一)法——傾入離心分析器(*centrifuge*)之試驗管中，使其轉動。每分鐘須轉八百至一千次之速度。數分鐘後，滓土即沈於試驗管底下。(將混液數滴放於顯微鏡上。如前法測之)。迨滓土完全沈下，則將黏土倒出，乾燥之而計算其百分數。此法分出滓土與黏土甚易，而費時較少。

(2)流水分析 此法依流水之速度而行分析土粒之法也。其法亦有種種，茲擇其要者，分述於下。

(一)基痕氏淘汰分析法(*Kühn's siltylinder method*)

此法用玻璃圓筒高達 28 c. m.，直徑 8.5 c. m. 之玻璃圓筒。在圓筒底部高 5 c. m. 之處，有一長約 2 c. m. 之管。其管之口徑為 1.5 c. m.。取通過 2 m. m. 圓孔篩之土壤三十或五十公分加水煮沸之，約置一時許。俟其全冷後，將土壤并水由漏斗(漏斗之口徑為 8.3 c. m.)裝入圓筒內，再加水達一定標準線，極力振盪，後放置十分鐘。揭開活栓，使水流集於陶器皿。如此再三行之，使流出之水至透明之度為止。

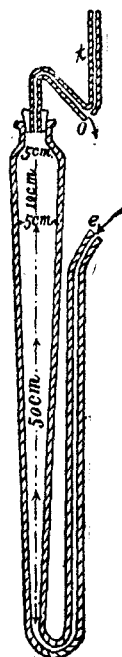
次用同法振盪，放置五分鐘。揭開活栓，使不沈之細粒，隨水流出。後以圓筒內所存者 乾燥之，秤定其量。從總數減去，即可知其流出之重量。依此定為浮土及黏土。至於殘剩之部，當為砂土或細礫。仍可用 1 m. m. 至 0.5 m. m. 之篩分離之。

(二)斯阿翁氏淘汰分析法 (Schone's-Elutriator method), 此法亦利用流水之力而行分析, 使土粒完全分離。用通過 2 m. m. 圓孔篩土壤標本, 放入玻璃管內。(如第四圖) 使水由管之狹小一端向上而流。其流時將玻璃管搖動, 土粒即隨水由玻璃管頂端洩出。視水流速度之緩急, 而土粒大小可以次第分出。水流緩, 則土粒流出者細。水流速, 則土粒流出者粗。

II. 土壤之組織

土壤組織, 乃研究土粒之布置, 上述土壤之結構頗關重要。土壤組織亦復如是。例如土壤通氣排水, 及熱之傳導與其組織關係頗大。蓋土壤有輕土與重土之別。其組織有鬆組織與密組織之分。輕土過鬆, 重土過密。過鬆過密, 其

第四圖



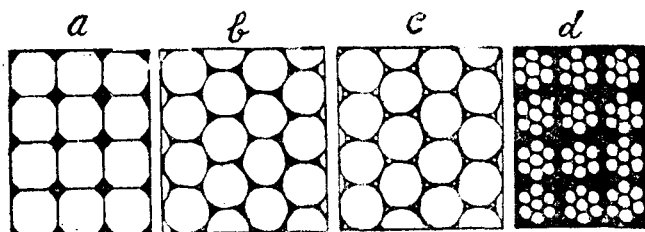
物理性質皆屬不良，非植物生長所宜。故農家栽培作物，往往須改變土壤之組織，使輕土變密，重土復鬆，以期耕地佳良，適於植物之生長焉。

一 土壤之組織法

土壤組織之法，簡言之可分為兩種：（一）柱狀法 (columnar order)。（二）傾斜法 (oblique order)。但土粒非僅同樣大小，或純為單粒者。故傾斜法，又有兩不同圓體傾斜法。柱狀法，又有多種不同圓體柱狀法。其土粒排列各有不同。由此觀之，土壤組織之法，實可分為四種。又因其組織不同。所有之空隙 (pore space) 之多寡亦異。茲分述之。

（甲）柱狀組織法 此法土粒之排列形如柱狀。（如圖五 a）其各圓體互相接觸之處有四。其空隙占土壤全容積每百分四七·六四。

第 五 圖



(a) 柱狀組織

(b) 傾斜組織

(c) 兩種不同圓體
傾斜組織

(d) 多種圓體
柱狀組織

(乙)傾斜組織法 此法土粒排列形如斜狀，(如圖五 b) 其各圓體接觸之處有六。其空隙較少，占土壤容積百分之二五·九五。

(丙)兩種不同圓體傾斜法 此法土粒排列亦為斜狀。惟以小圓體藏於大圓體內。(如圖五 c)除六處接觸外，其餘空隙多為小圓體所充塞，空隙更少。占土壤全容積百分二五·九五以下，幾至於無空隙者。故常為混土狀(puddled condition)。又名混土組織。

(丁)多種圓體柱狀組織法 此法土粒排列亦為柱狀。惟以數種不同圓體互相緊湊，成一圓體，而排成柱狀。(如圖五 d)其空隙頗大，占土壤全容積百分之七二·五八。

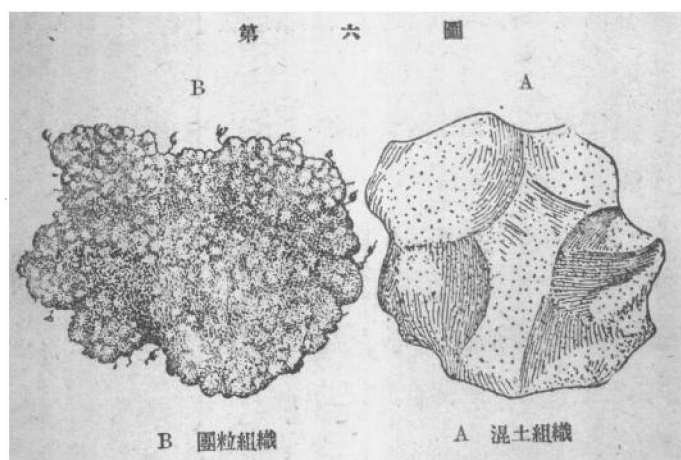
以上四法。乃近於理想上之組織，田間土壤非盡如此。蓋土粒之形狀不齊，大小各異。其組織法當不一致，自組織實際狀況言之，可分為下列三種。

(子)單粒組織(single grain structure) 此種組織，每土粒係散開，不與其他土粒相密聯，成散開狀。故亦稱散開組織。有似上述甲，乙兩法。砂質土壤，每多此種組織。

(丑)混土組織(puddled structure) 此種組織有似上述兩法，利用水力使土粒細者，混合而滿積於大土粒之間，而成混土。(如圖六 A)土中幾無空隙。此種組織，最不良好，

頗有礙作物之生長。不特其根之發育維艱，而土中空氣及水分之流通亦為阻塞。於土粒細小（黏土）之土壤中始有之。

（寅）團粒組織 (granular structure) 此種組織，最為良好。由細粒之土凝結於大粒之土，或細粒之土互相凝結，而成大粒。又曰土團 (granules)。此種土團。愈小愈佳。有似上述丁法（如圖六B）。



二 土壤組織之改良

土壤之組織有關植物生長，頗為重要，前已言之。惟組織情況 (structure condition)，各種土壤均有不同。有鬆者或密者，及硬者或脆者種種。然不外單粒組織及複粒組織兩種。粗砂土壤，多為單粒組織，其土粒散離而不黏合。故甚

鬆脆，排水通氣均屬佳良，耕作亦易，此其優點。惟有時過於疏鬆，吸收能力頗弱，水分養料易於流失，有使土壤變瘠之患。是以砂土往往多為瘠薄，此其劣點。故農家栽培作物，首宜改良。其改良之法，以施用有機物質為最要。考此種土壤，所以過於疏鬆者，以土中膠質物 (colloid) 缺乏之故。其所須施有機物者，以有機物分解後，可以增加土中膠質物。此膠質物能使土粒互相聯結，不致過於疏鬆。於是水分養料等流失較難，而土壤瘠薄之患亦可稍減矣。

黏重土壤，則為複粒組織，其粒土黏合甚密，吸收能力甚強，水分養料之流失，固屬不易。惟有時過於緊密，致排水通氣及耕作等，均屬不良，作物生長亦不適宜。欲謀改良殊不易，其最要者，在使土質疏鬆，多造成團粒，茲將天然與人工造成團粒之法分述之。

(1) 乾與溼之作用 土壤乾時，土粒互相團結，細土粒吸入大土粒之間，而容積縮小。具一種縮小之引力，若縮小之引力彼此平均，則引力之中點少。引力之中點少，則裂痕亦少。苟縮小之引力不能平均，則引力之中點多。引力之中點多，裂痕亦多。土壤溼時，則細土粒復由大土粒分出，則容積漲大。一乾一溼，循序進行。則漲縮屢變，破裂時起，團粒組織可以造成矣。惟土壤乾溼之次數愈多，則裂痕愈增，

團粒愈多而愈細，土壤之組織愈爲良好。吾人試取土一坯，加水滲溼，待乾後，則見有許多裂痕。大者較少，小者較多。再溼之而再乾之，其裂痕必較前次更多。如是多次，則裂痕愈增。是以土壤經一次乾溼，其組織則變好一次。故耕地經大雨後而驟乾者，其土壤組織多不佳良。苟時常降雨，土壤得以漸乾漸溼，則裂痕既多，團粒亦夥，物理性質自屬良好。

(2) 結冰與融冰作用 土壤具有空隙，空隙中含有水分。當天氣嚴寒時，空隙中水分凝結成冰，土壤容積增大，具有漲力。（一立方呎之水結成冰漲力有一百五十噸云）及冰融解後，則土壤容積縮小，具有縮力。一漲一縮，則起破裂。故土壤水分結冰一次，則裂痕較少。其次數愈多，則裂痕愈增。團粒愈多，土壤組織愈形佳良。

(3) 植物根之作用 植物生長，其根必向四方伸張。其伸張之際，則靠近根生長處之土壤，被根排擠而分離，於是土壤組織乃起破裂。惟植物根之生長，各有不同，有粗大者，有細小者，有長者，有短者。粗大者如玉黍蜀，甜菜等。細小者如小麥及黍等。長者如紫苜蓿等。短者如燕麥等。普通根之細小者較根粗大者爲有益。若土壤性質堅硬，則宜栽植根粗大而易生長之作物。以使土質膨鬆較易，採用輪栽法頗爲有益。且往往作物之根腐爛於土中，增進土中有機物質，

可知植物之根有關土壤組織之改良亦大矣。

(4) 動物之作用 動物亦能使土壤組織改良。如蚯蚓能鑽穴土中，使心土遷至表層，而成團粒組織，有益栽種，實屬不鮮。他如昆蟲類及各種能掘穴之動物，亦均可改變土壤組織。

(5) 腐植質之增加 一般富於腐植質之土壤，其物理性質常較缺少腐植質之土壤為佳，蓋腐植質可使土壤組織變鬆。且在腐植質乾時，其容積較濕時縮小甚多，是以土壤富於腐植質者，其伸縮性頗大。伸縮性大，則土壤之破裂甚易，故土壤腐植質之多寡，對於土壤組織之改良亦極有關係。

(6) 石灰之增加 石灰之用以改良土壤組織，頗為重要。蓋石灰質有成團作用，可將小土粒互相凝結，變成團粒，而使土質疏鬆。華令頓 (Warrington) 氏曾在英國農場試驗。謂施用多量石灰之黏重土壤，用二馬耕地。可當三馬。凡結構相同之土壤，其石灰多者，其團粒組織及其他物理性均較不施石灰者為佳良。石灰施入土中，黏重土壤固可使之膨鬆，而砂質土壤亦可使其團結。惟石灰之各種狀態不一，而其成團作用亦異。而以養化鈣 [calcium oxide (CaO)] 及輕養化鈣 [calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$] 兩種為最強。而碳酸石灰 [calcium carbonate (CaCO_3)] 則甚弱。

(7) 耕作 耕作之有益於農事，盡人皆知。蓋耕作破碎土塊，疏鬆土質，最爲有效，土壤組織當可因以佳良。但耕作不當，或非其時，則害亦隨之發生。惟耕作之適否，全以土壤之乾濕度定之。過乾過濕，均不適宜，而以不乾不濕爲最佳。

第六章 土壤一般之性質

一 土壤之色澤及臭氣

土壤之色澤 土壤之色澤對於土壤溫度頗關重要。考土壤之主要成分如石英，碳酸石灰，陶土等，本為無色之物。因受日光之反射，即呈白色，及與各種未分解之礦物或腐植質混合，因其混合物之多少不同，於是而現種種顏色。如赤、黃、綠、褐、灰、黑諸色均有之。譬如砂土含腐植質 0.2 至 0.5% 時，則呈褐色。二至六 $\%$ 時，則呈灰色。至一〇 $\%$ 以上，則呈黑色。又如含養化鐵五至一〇 $\%$ 之壤土或黏土，呈赤褐色。含水酸鐵一至二 $\%$ 者，則呈黃褐色。至於呈綠色之土壤，恆不易多見。蓋綠色化合物多為亞養化鐵，一遇空氣，即變黃赤褐諸色。惟海底與空氣不流通之地，時或見之。又土壤之色澤，乾燥者與潮濕者不同，故吾人欲觀察土壤之色澤，宜於稍潮濕時行之。

土壤最能着色之物質為鐵之化合物及腐植質是也。鐵質呈赤、褐、黃、綠等色，腐植質則有褐、灰、黑等色。是以土壤

富於腐植質者，多為黑色。黑色土壤吸收熱最多，故為最肥沃之土壤。

土壤之臭氣 土壤於潮濕時，常發放一種特別之臭氣。此臭氣之原質，係一種揮發性之有機物所生成。據一八九一年白泰路(Berthlal)氏之研究，謂由於一種揮發性物質，不易分離，與水蒸氣共蒸溜之，則得水溶液。此溶液中即含有特臭，既非酸類，亦非鹼類。在銀阿摩尼亞中不還元，加入碳酸加里則生沉澱。

二 土位及土層

土位 土位者乃研究土壤所在地之位置或狀態也。蓋土地有平坦傾斜凸凹等等之別。對於植物生育之影響，各有不同。土質之肥瘠及土地之價值亦有攸關。通常平坦之土地，較傾斜者為佳，而全為平坦者亦屬罕觀。凡近於平坦者，對於農作最為優勝。舉凡耕耘收穫施肥等事，均較便利。且水分、濕度、溫度、光線等之關係亦為均勻，作物生長自能一致。至於傾斜者，其傾斜之方向及角度等，影響於農事上甚大。譬如向南之地，吸熱最多，植物生育當然迅速。然在晚春霜降及暑中旱魃之時，其所蒙損害亦復不少。又傾斜之角度愈大者，其肥料成分及水分流失亦愈易，故傾斜之砂土地，利用樹木根之蔓延以防崩坍，職是故也。惟過於傾斜，則不適

於耕作。其傾斜之極限，在十五度以內。若在十五度以上，則只宜栽植林木。至四十度以上者，殆不適於植物生育。其他凸凹不平之地，對於農作物生長，亦不適宜。

土層 土層者，乃研究土壤層次之謂也。土壤層次，可大別爲二：表層土壤與底層土壤是也。

(一)表層土壤 表層土壤乃位於土壤之上層，又分爲表土(surface soil)與下表土(subsurface soil)兩種。

(甲)表土 表土者，由土面至6吋餘深之土層也。位於土壤之最上層，爲土層中之最可貴者。此層土壤，多爲暗褐色，含有有機物及其養分甚多。土壤中之種種變化，以此層爲最。

(乙)下表土 下表土者，位於表土下及心土上之土層也。由6吋餘至13吋餘左右深。其層較表土層爲厚，其性質頗與表土相似，無判然之分別。其肥度較表土稍小，亦爲土層中較重要者。

以上兩種土層之深度，不過一大概標準數。總之，表層土壤爲及於耕作之土層，其深度本無一定。有淺至四五吋者，有深至數呎者。惟表層土壤愈深，則作物之根蔓延愈廣，養分供給之量愈多，土質愈爲肥沃。凡普通作物之栽培，其表層土之深度，至少須一公尺以上。否則其深度不及一公尺者，

往往不適於一般作物之生長，而僅宜於淺根作物之栽培，且易罹旱害。又地下水高，則易受水患。

(二)底層土壤(又稱心土) 底層土壤在表層土壤之下，不受耕作影響之土層也。此層土壤對於排水及微管流動等，頗關重要，與下表土無明顯一定之界限，甚至有與下表土無異者(在乾地)。其深淺隨地而異，更無一定之標準。約20吋左右，原野之平地，必較山地為深。

調查土壤測定表層土與心層土之深淺，可用穿土器(soil borer or auger)。此器構造種種不同，不外旋轉入土，挖取下層土壤。土壤土層之深淺，頗關植物栽培之重要。心土性質於植物之生育亦大有影響。若表層土較淺，下層心土為黏土時，則水分停滯，有害植物之根株。若表層為砂質，上下層可互相混淆，則其害略減。反之上層土為黏土，下層為礫質，則水易透失。若上層為砂土，而下層為礫質，則過於乾燥矣。若上層為黏土，則其害稍輕。此外如腐敗有機質易與水酸化鐵還元，成第一重碳酸鐵，與重碳酸石灰共溶於水，降沉下層，一遇粗砂，再成酸化鐵，與碳酸石灰凝結為石質，此時水分停滯，亦足有害於植物根部。

三 土壤之假比重

假比重(volume weight)者，非真正純粹土壤之重量也。

乃土壤內有空隙時所定之比重。因各種影響而有不同，茲分別述之於次：

(1) 土壤之結構 砂質土壤土粒較粗，排置較密。空隙甚少，其比重自大。他如土壤及黏土其土粒細小而輕。排置不如砂土之密，空隙較多，其比重自小。大概礦質土壤之假比重，黏土自一·一〇至一·三五。砂土自一·五五至一·七〇。於此可知土壤之結構粗者，其比重大，結構細者比重小。

(2) 土壤之組織 組織密之土壤，其比重大。組織鬆之土壤其比重小。譬如土壤經過耕鋤後，則土粒擴開，土壤組織疏鬆。而土壤中所有水分與氣體之容積增加，其比重較未耕鋤土壤為小。

(3) 土壤之有機物 土壤中所含有機物多，則比重小，有機物少則比重大。蓋有機物可使土粒擴開，土壤變鬆，增加土壤中空隙之功能。故土壤中有機物增加，則其比重減少。如砂質壤土，其比重為一·五五。若有機物質增加，則可減至一·四五。壤土中有機物多者，其比重為一·一。甚至有〇·四者，如腐炭土(muck)是也。

測定假比重之法，以同容積之水為單位，而定土壤之重量。在田野間計算土壤之假比重時，可用已知其容積之圓筒

插入土中，取土秤之。并測定其水分量，而得其純乾土之量。後再以同容積之水（即圓筒之容積量）除乾土之量，其容積重量即可求得。

$$\text{容積重量(假比重)} = \frac{\text{土壤之重量}}{\text{圓筒之容量}} \quad (\text{同容積})$$

其在實驗室內而行測定時，其法如下：

1. 管之重量 192 gr.
2. 管及土壤之重量 1145 gr.
3. 管之容積量 64.77
4. 吸濕水之量 0.68
5. 純土之重量(2項減1,4項) 946.5
6. 以3項除5項則等於假比重 $\frac{946.5}{64.77} = 1.46$

茲將各種土壤之比重列表於后。

表 三 ○

土 壤	假比重	每立方呎之比重 磅	每英畝之比重 磅
純砂	1.7	110.0	4800000
粗砂	1.6	100.0	4356000
中砂	1.54	93.0	4200000
細砂	1.48	93.0	4080000
砂質壤土	1.30	81.0	3550000

細砂質壤土	1.32	82.5	3500000
沉質壤土	1.24	77.5	3400000
黏質壤土	1.22	76.0	3330000
黏土	1.17	72.0	3180000

由此表觀之，則知土質愈細，其容量愈小。每立方呎之黏土，有自七十以至八十磅之重量。砂土則有自八十至一百十磅。

四 土壤之真比重

真比重 (absolute or real specific gravity) 者，乃土壤內無空隙時所定之比重也，又曰真重。其測定此比重有兩種要素：曰個粒 (individual particle) 之重量及土質所佔之地位。前者可以化學及礦物學之性質而測定之。後者可以土粒之布置而測定之。若土粒重則土壤緊，其在一定容積之重量亦大。又礦質土壤以各種構成土壤之礦質不同，其重量亦異，以各種礦質之比重不同故也。

表 三

石英	2.6 - 2.7	磷灰石	3.2
陶土	2.60 - 2.63	蛇紋石	2.50 - 2.65
長石	2.57	綠泥石	2.65 - 2.92

斜長石	2.62-2.76	綠簾石	3.25-3.50
雲母	2.76-3.00	赤鐵礦	4.90-5.30
黑雲母	2.70-3.10	褐鐵礦	3.60-4.00
角閃石	3.05-3.47	輝石	3.20-3.60

大概一般礦質土壤之真比重，在二·六至二·七之間。是以其平均比重爲二·六五。惟土壤之組織或鬆或密，對於此種比重均無影響。又據輝特尼(Whitney)及斯密司(Smith)兩氏之研究，謂土粒之粗細與土壤之真比重亦無關係也。

表 三 二

土壤	輝特尼	斯密司
細礫	2.64	2.67
粗砂	2.65	2.64
中砂	2.64	2.64
細砂	2.65	2.69
最細砂	2.68	2.66
沉土	2.69	2.65
黏土	2.83	2.66

若土壤中之有機物存在多，則土壤之重量乃減。含有機物最多之土壤，如黑土等，其比重自一·五至二·〇，因有

機物之比重爲一·二至一·七。他如有機物多之礦質土壤，其比重自二·三以下。

測定真比重之法，以同容積水之重量，除同容積純土壤之重量，即可得土壤之重量。其程式如下：

$$\text{真比重} = \frac{\text{純土重量 (同容積)}}{\text{水之重量}}$$

普通以可容五十立方公厘 c. m. (50 gr.)

之比重瓶 (pycnometer)，瓶口裝一玻璃塞，如圖七。

以在同容積內水，被乾土置換之重量，除乾土重量，其求法如下：

- | | |
|------------------------|-------------|
| 1. 比重瓶之重量 | 23.257 grs. |
| 2. 比重瓶之容量 | 50 cc. |
| 3. 比重瓶加五公分土壤及 X 公分水之重量 | 76.347 grs. |
| 4. 比重瓶及土壤重量 | 28.257 grs. |
| 5. 水之重量 (以 3 項減 1 項) | 48.090 grs. |
| 6. 水之置換量 (以 2 項減 5 項) | 1.910 grs. |

$$\text{按程式代入則土壤重量} = \frac{5.00}{1.90} = 2.614$$

五 土壤之重量

土壤之重量，因種類而異，在同一立方呎內之土壤，黏土與沉土乃自六八磅以至八〇磅，砂土則自一〇〇磅以至一

第七圖



比重瓶

一〇磅，其有機物含量愈多者，其重量愈小，故腐炭土與泥炭土之重量僅二五磅至三〇磅，其測定之法，可由同容積之水量乘土壤假比重之量，即為土壤之重量。

土壤之重量可以畝呎 (acre-feet) 或畝吋 (acre-inch) 計之。一畝呎之土壤，(面積一畝深一呎) 其重量有四〇〇,〇〇〇至三,五〇〇,〇〇〇磅左右。平均 $6\frac{2}{3}$ 吋深之土壤標準重量，為二,〇〇〇,〇〇〇磅左右。茲將深度不同之各種土壤重量，列表於下：

表 三 三

每 畝 磅 數			
土深吋數	砂 土	泥炭土	黏土,黏質壤土, 沉質壤土,壤土, 及砂質壤土
$6\frac{2}{3}$ 表土	2,500,000	1,000,000	2,000,000 } 1
$13\frac{1}{3}$ 下表土	5,000,000	2,000,000	4,000,000 } 2
20 心土	7,500,000	3,000,000	6,000,000 } 3

由此觀之，砂土之重量最大。泥炭土最小。黏土及各種壤土其重量亞於砂土。而大於泥炭土。此種重量，對於水量之計算及存在土中之有機成分與無機成分之測定，頗為重要。

六 土壤之空隙

土壤空隙者，乃研究土壤中土粒與土粒間所有之孔隙也。凡一團或一粒之土，必有空餘之處，人所皆知。此空餘之地方，即曰空隙。如土粒大者，則空餘地方亦大，土粒小者，空餘地方亦小。然在土壤學上所謂空隙者，不以大小為要，而以多少為貴。土粒愈細，則空隙愈多，土性愈佳。土粒愈大，則空隙愈少，土性愈劣。據武尼 (Wollny) 氏之研究。謂砂土有百分之四一·五之空隙。黏土有百分之五八·三之空隙。可知土壤愈細者，空隙愈多。蓋細小土粒之土壤，面積較多故也。茲將各種土壤空隙列表於下：

表 三 四

土 壤	%
粗砂土	40.0
中砂土	41.8
細砂土	44.2
砂質壤土	50.0

細砂質壤土	51.0
沉質壤土	53.0
黏質壤土	54.0
黏土	56.0

土壤中既有空隙，然此空隙為何物所充塞？曰空氣水分二者。若土壤中水分減少，則空氣所佔之地方增多。水分增多，則空氣所佔之地方減少。二者更迭變遷，故土壤中之空氣水分得以流動不息。他如土壤之衛生 (soil sanitation)，細菌之作用 (bacteria action)，根之擴張 (root extention) 種種，均非土壤之空隙不可。苟土壤之空隙缺乏，則土壤之通氣透水不得佳良，土壤之衛生自形惡劣，細菌作用亦必不佳良，至於根之擴張，尤須有隙可入，否則無從伸張矣。於此可見土壤空隙之多少，頗關農事之重要。空隙之大小亦有關係焉。蓋空隙大，則保水力弱，水易濾去，不能上升，而養分多有流失之患。空隙小，則保水力強，水分不易濾去，養分之流失亦不易易。

土壤空隙既屬重要，而其多寡隨各種原因而異。

(1) 土壤之結構 土壤之土粒愈大，則空隙愈少。土粒愈小，則空隙愈多。各種土壤均有不同，已如前述。

(2) 土壤之組織 組織鬆者空隙多。組織密者空隙少。

(3) 腐植質 腐植質多者空隙多。少者空隙少。以腐植質有使土壤組織變鬆之效也。

(4) 耕鋤 已耕鋤之地空隙多。未耕鋤之地空隙少。如英國洛忒孟斯忒 (Rothamsted) 試驗場內有一舊草場，其土壤深度九吋。考其空隙之數，每百分有五六·八，而於未耕過之地，每百分有四五·五而已。大概計之，凡耕過之地，每畝容積半為空隙云。

又土壤之深淺亦與土壤之空隙有關。土層愈深，則土壤中之空隙愈少，愈淺則愈多。據金 (King) 氏之研究，謂表土之空隙與心土之空隙各異。

表 三 五

深 度	每立方呎之重	空 隙
1 呎	79.0	52.2 %
2	92.6	44.0
3	104.6	36.8
4	106.2	35.8
5	111.0	32.9
6	111.1	32.8

土壤空隙之計算法 土壤空隙之計算由土壤真比重與假

比重計算得之，其程式如下：

$$\text{空隙}\% = 100 - \frac{\text{假比重}}{\text{真比重}} \times 100$$

例如已知土壤之假比重為一·六，真比重為二·六。用上程式計算，即得其百分數。

$$100 - \left(\frac{1.6}{2.6} \times 100 \right) = 100 - 61.5 = 38.5\% \text{ 空隙}$$

七 土壤之凝聚性及黏着性

土壤之凝聚性 (plasticity) 及黏着性 (cohesion) 有使土粒隔離及聚合之功能。此種功能，皆為土壤分子一種引力 (molecular attraction) 之現象也。

凝聚性 土壤之凝聚性，對於土壤之物理性質極關重要。在土壤凝聚性過大時，若施以耕作，則成混土，而以水分多時為尤甚。故黏土過濕，不宜耕鋤。苟施耕鋤，則土壤土粒極形紛亂，組織變劣，有礙植物之發育。砂土則否，即在水分最多之際，亦可耕鋤，與土壤之組織無妨。以此砂土之凝聚性較黏土為小故也。

土壤凝聚性發生之原因，極為複雜，理論亦多。概言之，約有數項：(甲)則為黏質之組織，(如細微土粒之互相結合及海綿之組織等)；(乙)輕氧化鐵 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ 及矽酸鋁 $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7)$ 諸物植之存在；(丙)土壤中之分子引力；(丁)膠質物之存在。以上四項皆為土壤發生凝聚力之原因。其發

生力之大小，亦有數端，茲分述於次：

(一)土壤之結構 土壤凝聚性之最大影響，厥為土壤之結構。其結構細者，其凝聚性大。粗者反是。

(二)土壤之組織 土壤復粒組織多者，其凝聚性減少。復粒組織少者則增加。

(三)土壤之水分 土壤之水分，實為影響凝聚力之最重者。水分達一定之量數，其凝聚力最大。（譬如黏土之凝聚性達容水量百分之八十時，則為最大）。總之在一定量數內，凝聚性與水分成正比。水分增多，凝聚性亦增大。逾此一定量數，凝聚性則與水分成反比。水分逾多，凝聚性愈減。

(四)土壤之腐植質 腐植質亦為土壤凝聚性有關係者。土壤中腐植質多，則凝聚性小。

凝聚性之測定法 測定土壤凝聚性之方法頗多。其最簡便者將土壤潤濕至一定之程度，捏成長方柱形。依秀布勒爾 (Schubler's) 氏之黏着性之測定法（詳於黏着性測定法）而測定之。

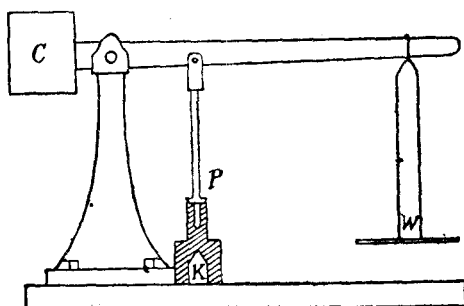
黏着性 土壤黏着性者，可使土粒互相緊合，而成土塊之力也。與凝聚性頗相類似，但不完全相同。在凝聚性大之土壤，其黏着性亦大，故黏着性者，亦可藉以測定凝聚性。黏着性發生於土壤中，約有兩種時期，濕時與乾時是也。當

水分濕時。則以水分之薄膜(water film)及膠質物(colloidal matter)而發生。此種黏着性，亦謂之韌性(tenacity)。當土壤乾時，則由土粒互相結合，及土壤中之矽酸鹽類而發生。惟土壤乾時，其分子縮小所生之力為最大。故膠質物愈多，則縮小之力愈強，而黏着性愈大，因此土壤耕作殊形不便。且土壤之物理性質惡劣。但黏着性之大小，其影響有數端，與凝聚性相同，其不同者，厥惟水分。前述水分在一定量數之內，凝聚性與水分成正比，而黏着性則適與此相反。水分減少，黏着性反增大，以無水時為最大。若水分增多，則黏着性減少。此在黏重土壤則然，而砂質土壤則異。蓋黏重土壤多含膠質物，此種膠質物，具有結合力。其結合力之大小則與膠質物之乾度為正比。乾度愈增，其結合力愈大。惟粗質土壤(如石英土)，其膠質物甚少。其黏着性大概由水分之薄膜而成，若此膜愈薄，則其牽拉之力愈增。但土壤變乾，則薄膜破裂，而黏着性減少。

土壤黏着性之測定法 土壤黏着性之測定法頗多，其最早者為希布勒爾(Schubler's)氏法。該氏用鋼刀身試驗一長方柱形之乾土，其驗試法以一秤衡裝於一支柱上，此支柱距秤衡末端三分之一長，其較長一端懸一盤，以為放置法碼壓碎土塊之用。其較近支柱之一端為一平衡力點，其鋼刀裝於

秤衡較長之一端，靠近支點之處(如圖八)。將乾土置諸刀身之下，加法碼於盤內。待土壤壓碎時，其所有法碼之重量，即為土壤之黏着性也。

第 八 圖



C 平衡力點

P 鋼刀身

K 割切土壤處

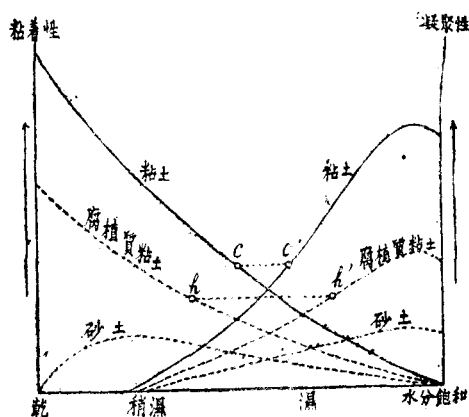
W 置法碼處

此外有一種最簡便方法，亦可試驗土壤之黏着性。其法採三十公分土壤，加水捏成球狀。以一百十度溫度乾之。待冷後，再以同大之石球二個與此土球排列而為等邊三角形(邊約長二十六公分)，上載以板，板上以法碼次第壓之，令土球破碎。使土球破碎後，取板與法碼之重量而三分之。其三分之一之重量，即為一土球之黏着性力量。

由此觀之，可知土壤之凝聚性與黏着性之大小，不特有關於土壤透水通氣之良否，而對於耕作亦極關重要。苟耕作非

時，則不特耕作不便，而於土壤之組織必更形惡劣。例如黏重土壤，其土粒既細，膠質物亦多，凝聚性與黏着性自大。若耕時過濕則成混土。耕時過乾則成土塊。混土與土塊，均為土壤之惡劣組織。植物生長頗屬不宜。故此種土壤之耕作，

第 九 圖



$c'c'$ 及 hh' 各點乃表示黏土與腐植質土耕作最適宜之點

宜特別注意土中水分之多寡。過多既不可，過少亦不宜，務須乾濕適當。如此凝聚性既可減少，黏着性亦可節制。惟砂質土壤，即耕時過乾亦無土塊，以黏着性較少故也。耕時過濕亦無混土，以其凝聚性較少故也。而在稍濕時施行耕作為宜。蓋稍濕時，可使土粒結合較密，俾無過於輕鬆。而免水分養料流失過易之虞。

第七章 土壤水

水為植物生長必須之物，直接可為植物養料，間接可促進土壤化學與生物之作用，及溶解食物與運輸養料之功能。其有關於農事，至為重要。惟土中之水，以時以地，而不盡同。而作物之生長，亦有適於濕潤或適於乾燥之別。故栽培作物於一地，欲收良好結果於將來，對於土中水分，不可不加意研究焉。

土壤有空隙，空氣水分充塞其中，前章已詳論之。倘土壤空隙中盡為水分，而無空氣，則土壤中水分含量甚多，於植物亦屬有害。考土壤之水可別為三種，(一)吸濕水(hygroscopic water)，(二)微管水(capillary water)，(三)地心吸力水(gravitational water)，亦曰滲透水。

第十圖

吸濕水 微管水 滲透水

一 吸濕水

吸濕水者，即在土粒表面凝結，或被吸收之水分(water)

of condensation or absorption)之謂也。土粒皆有吸收水分之功能，故不論在氣候亢旱，雨水稀少，及土中毫無水分供給之時，而土粒表面，必圍有一薄層之水膜 (water film)。此水膜乃吸自空中之濕氣而成，故謂之吸濕水。吸濕水之構成，半由土粒吸引水分之力，半由水之分子互相吸引之力使然。吸濕水之膜極薄，較諸土壤中微小細菌之膜尤薄。此膜是否為液體，抑為氣體，今尙未能斷定。此水不能移動，若一種土壤，其吸濕水已達飽和之度，與尙未飽和之空氣接觸，則吸濕水必變為水汽蒸發。其餘之吸濕水則須加熱，始能與土粒分離。如欲將土中吸濕水排盡，則需一百度或一百十度之熱度熱至四五小時之久，此因吸濕水與土粒凝結甚緊也。茲將佩滕(Patten)與逢伊科(Bonycos)兩氏所測定各種土壤排盡吸濕水所須熱力之量數，列表於後。

表 三 六

土 壤	每公斤乾土之熱力
粗石英	150 加路里
細砂質壤土	200 , ,
砂土	347 , ,
黑土(含25%有機物)	6413 , ,
泥炭土	22185 , ,

土壤吸濕水之多寡，視下列之各種情形而異。

(1) 土壤之結構 土壤之土粒愈細，則面積愈大。面積大，則吸濕水多。故黏質土壤之吸濕水，每較砂土為多。

表 三 七

土 壤	黏土百分數	吸濕水之係數
粗砂土	1.6	.5
細砂土	3.9	1.5
砂質壤土	7.5	3.5
細砂質壤土	12.9	6.6
壤土	14.4	9.6
黏質壤土	22.0	11.4
黏土	32.5	13.2

此表為布立格茲(Briggs)及沙茲(Schantz)兩氏取曝於空中攝氏二十度時之乾土，熱至一百十度時所成。

(2) 有機物 上述土粒愈細，其吸濕水愈多。此種原因，一方面固由於細土之面積廣大，他一方面由於細土中含無機膠質物較多故也。但有機物中尤富於有機膠質物，吸水之力頗大，其影響於吸濕水之多寡，更為顯著。故有機物愈多之土壤，其吸濕水亦多。茲將波蒙(Beaumont)氏之試驗所得

結果，列表於下。

表 三 八

土 壤	黏土 %	燃燒 %	腐植質 %	吸濕水之係 數 %
丹刻克地之滓黏質壤土(表土)	12.9	5.08	1.26	3.80
丹刻克地之滓黏質壤土(心土)	20.0	3.05	.20	5.77
克來德地之黏質壤土(表土)	20.1	14.54	4.34	18.90
味吉尼地之黏土(心土)	74.5	5.79	.49	17.40

按此表觀之，在丹刻克(Dunkirk)地之表土與心土之比較，則以膠質黏土為決定，吸濕水係數之顯著因子。在克來德(Clyde)地之表土與味吉尼(Vergennes)地之心土比較，其決定吸濕水係數之因子，則主要為有機膠質物。因克來德地之表土，僅含百分之二十之黏土。其吸濕水較含有百分之七十四·五之味吉尼地之心土為多。至克來德地之黏質壤土與丹刻克地之心土，含有同量之黏土，而二者吸濕水之係數，則克來德地之表土較丹刻克地之心土多三倍有餘。

(3) 濕度 吸濕水之多寡，與空中濕度頗有關係。空中濕度愈高，則吸濕水愈多。據汎多倫勒克(VonDoleneck)氏用石英與腐植質試驗各種濕度下之吸濕水，於攝氏二十度之溫度，經過二十四小時後，所得結果如下表。

表 三 九

空氣濕度	30	50	70	90	100
石英	.045%	.057%	.076%	.119%	.175%
腐植質	4.055	7.765	10.589	15.676	18.014

(4) 溫度 溫度與吸濕水之多寡，亦有關係。溫度愈高，則吸濕水愈少。故在空氣乾燥之風乾土 (air dry soil)，其所含之吸濕水較空氣濕潤時為少。

吸濕水係數之測定法 吸濕水係數者，即吸濕水水膜飽和時，所含最多水量之謂也。其測定法，先取土壤標本，於尋常溫度中，風乾之。再熱至攝氏百度或百十度，將所含水分逐去，秤定其量。乃露置空中，約四五小時之久，再秤定之，其重量當較熱後所稱之量增大。其增大之量，即吸收空中水分之量，亦即吸濕水之量也。後按原土之量計算其百分率，所求得之數，為吸濕水之係數。

二 微管水及其流動

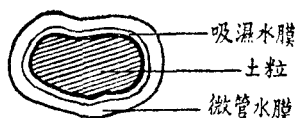
微管水者，為一較厚之水膜。位於吸濕水之外層，不為地心吸力所引去。當土粒表面之吸濕水膜遇水量增加，達此膜飽和後，即成微管水。此水能移動，可為植物利用，故土壤中此種水分頗為重要。此水與吸濕水之水膜，其界線不劃

分。其與吸濕水不同之點有四。(1) 吸濕水為液體，抑為氣體，尚未決定。而微管水決為液體。(2) 微管水在尋常之溫度，可以蒸去，而吸濕水則否。(3) 疏鬆土壤內含微管水較吸濕水為多。(4) 微管水可以流動，吸濕水則不能。

微管水膜之厚，據昆克

(Quinke) 氏計算，飽和之土壤為 $\cdot 002 \text{ mm}$ ，與黏粒直徑略為相似。此水可分為兩部，曰內部與外部是也。

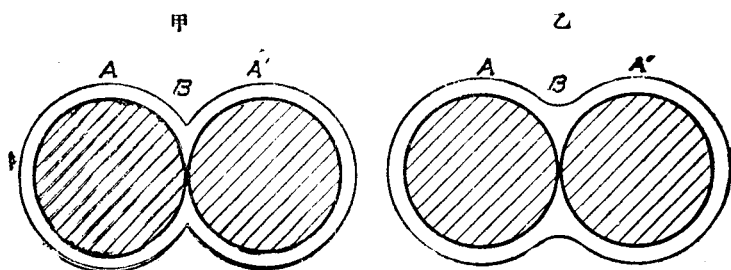
第十 一 圖



此圖表明吸溼水膜與微管水膜，互相關係。

內部之微管水，則以膠質表面之吸力而成，緊接吸濕水之水膜，流動不易。外部之微管水，則以水膜表面張力，維持而成，其流動較內部微管水為易。常於土粒與土粒之空間，彼此流動，俾土粒間之水得以平衡。其所以能彼此流動者，良以其間水膜表面張力之引力而成。倘其空間水膜之半徑愈小，則此膜之曲度愈大。曲度愈大，其表面張力愈增，則土粒表面之水膜愈向此處流動。譬如兩個土粒，各有微管水膜，使兩土粒連接，則水膜結合，如圖 AA' 為兩土粒之表面水膜。 B 為原來兩土粒間水膜之曲度，為銳角形(如圖甲)。後因此間之水膜過薄，感受表面張力之引力作用。其 AA' 兩土粒水膜，遂向土粒空間流動。待土粒空間水膜漸漸增厚，與兩土

第 十 二 圖



此圖乃表示兩土粒相聯其外部微管水膜結合之狀。甲圖表示水膜未流動前，B 爲銳角，乙圖表示水膜自 AA' 處流動，B 變爲鈍角，而成平衡。

粒水膜之力量相等，則流動乃止，而成平衡。其 B 處水膜之曲度，變爲鈍角形(如圖乙)。但其完全平衡則甚少，以其流動不止故也。

微管水離土粒中心較遠，所以不易爲土粒所緊握，而能流動。此水得爲土壤有用之水，殆以此歟。惟存在土中之量，因地而異。即地同而時候不同，量亦各異。其最大之原因，則爲下列數項。

(1) 表面張力 表面張力大，則微管水多。表面張力小，則微管水少。但表面張力以溫度及鹽質而有不同。若溫度高，則表面張力小。溫度低，則表面張力大。此理已由金氏證明。彼謂若土壤中其他情形不變，僅溫度有變更時，則與微管水量，頗有關係。鹽質多，則表面張力大。鹽質少，則表面張

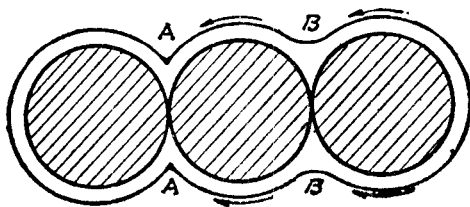
力小。故土壤中，加一定量數鹽質物，可變低其溫度，而微管水可以增加。

(2) 土壤之結構 土粒愈細，其微管水亦愈多。(一)蓋土粒愈細，則面積愈大。面積大，則蓄水之量多，自不待言。(二)土粒愈細，則土粒與土粒之角數多。角數多，則含水量亦大。(三)土粒愈細，則膠質物亦多。膠質物多，則含水量亦大。

(3) 土壤之組織 土壤組織過鬆，則空隙太大，水易流失，微管水量即減少。土壤組織過緊，則空隙太小，微管水不易存在，其量則少。故使砂土緊壓，黏土膨鬆，俱足增加土壤之微管水也。

(4) 有機物 土壤中增加有機物，則土壤中有機膠質物增多，土壤組織佳良，土壤微管水亦增。

第 十 三 圖



此圖表示微管水膜之左右流動法。

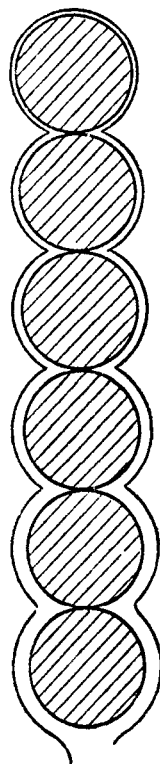
由水膜之厚處B，向水膜之薄處A流動。

微管水之流動 微管水之流動，係微管之作用。土粒間之微管水膜厚薄，各處不同。其水膜厚處，每向水膜薄處流動，使各處水膜平均，而成平衡狀。如圖 A 爲銳角，水膜薄。

B 爲鈍角，水膜厚。故 B 必向 A 流動，經過相聯之水膜，達 A B 相等時始止。其流動方向，上下左右俱無不可。向上流者，由於蒸發作用及植物吸收作用，土壤表面水膜變薄，於是下層水分上昇，以補其缺。向下流者，由於地心吸力作用，土壤下層水膜過多，不能抵抗地心吸力，是以向下流失。左右流者，大都由於植物根吸收水分之不平均。其流動之速度及高度，則視其流動之各種要素而定。如土壤之結構，土壤之組織，水膜之厚薄，表面張力，及黏着力等。

(1) 土壤之結構 土壤中其他情形相同時，其結構愈細，則微管水流動愈緩，上昇高度愈高。結構愈粗者，則流動愈速，上昇高度愈低。蓋土粒愈小，則磨擦愈大。故流動緩。但土粒愈細，則土壤空隙愈小

第十四圖



此圖表示微管水之慣流動法及滲透水之狀

而愈多。故微管之引力愈大，上昇愈高。是以滓土之微管引力較砂土大者，即此故也。茲將各種土壤流動之速度及高度，列表於下。

表 四 ○

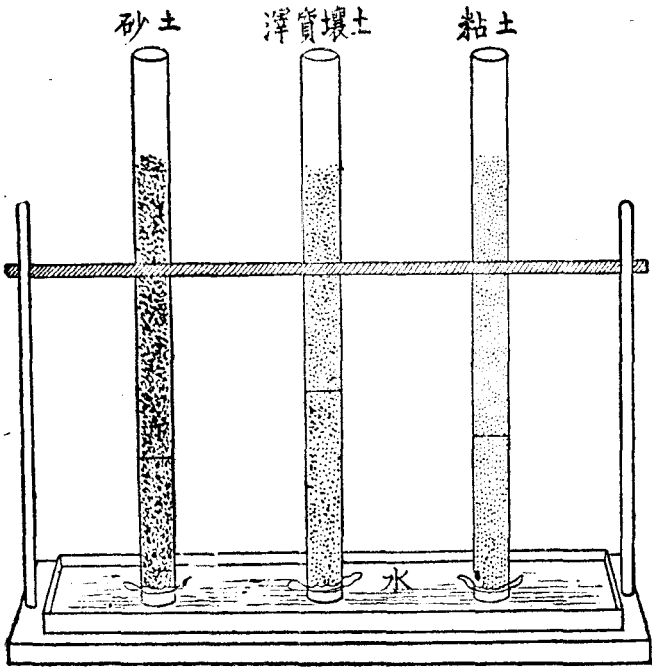
土 壤	一小時	一日	二日	三日	四日	五日
砂土	3.5 ^吋	5.0 ^吋	5.9 ^吋	6.8 ^吋	6.8 ^吋	6.9 ^吋
黏土	.5	5.7	8.9	10.9	12.2	13.3
滓質壤土	2.5	14.5	20.6	24.2	26.2	27.4

按此表觀之，可知砂土在一小時內，上昇最速。其最高度在第三日。黏土因其磨擦太大，故其速度頗緩。滓質壤土，則結構合宜，流動迅速，上昇亦高。（見第十五圖）

(2) 土壤之組織 前述緊壓砂土及疏鬆黏土，可以增加其保水力。惟此亦足以促進微管水流動速度及高度。蓋黏土經疏鬆，砂土經緊壓後，可以減少水膜磨擦力，而增加土壤之空隙數。

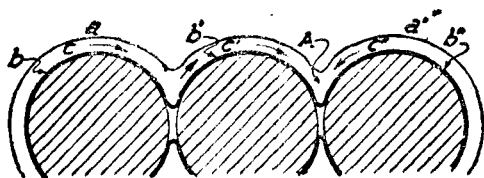
(3) 水膜之厚薄 水膜之厚薄，關於水分流動遲速，頗為重要。水膜厚者，則流動速，茲以圖表示之。水面為

第十五圖



a a'。譬如水向兩土粒A處流動，則經過微管水槽 c c' c''。倘水繼續向A處進行，則 c c' c'' 水膜變為極薄。水面 b b' b'' 乃密靠土粒之表面及微管水之內膜，則向A處進行之水，發生阻礙，流動變緩。此遲緩之微管運動，謂之遲緩微管引力 (lento-capillarity)。(見第十六圖)

第 十 六 圖



(4) 表面張力 表面張力愈大，則微管水流動不易，故流動愈緩。

(6) 土層之深淺 土層淺者，土中水分，植物易於吸收，則流動速。深者反是。據金氏以各種不同之砂土層，研究其表面蒸發。在一定時間，同等環境下，其六吋深之土層，蒸去之水量，六倍於三十吋深之土層。

表 四 一

土壤深度	每日蒸發度
6吋	.114吋
12	.111
18	.080
24	.034
30	.019

(6) 黏着性 黏着性之大小，亦有關於微管水之流動緩

速。黏着性大者，則流動緩。小者，則流動速。惟黏着性之大小，亦與溫度頗有關係。若溫度高，則黏着性減，流動速。溫度低，黏着性大，流動緩。水之黏着性，在攝氏零度時為一百，二十五度時為五十，三十度時為四十五。故溫度加高，可以減少黏着性，增進微管水流動之速度。但上昇高度，則不然。

(7) 鹽質 鹽質能增加表面張力及黏着性。故鹽質多，則微管水流動緩。

(8) 油質 油質能阻止微管水之流動，故油質多，流動緩。

他如土壤覆蓋物，能減少土壤蒸發，阻止微管水之上昇。

微管水之測定法 此法為希加列 (Hilgarel) 氏所創。其法用五 c. m. 直徑有孔之銅質圓杯一個，杯底墊以濕潤之濾紙，秤之。然後放入定量之乾土，輕輕振動，將杯浸入水中，使吸收充分之水分。於是將水傾出，使過量之水洩去，再稱之。其所增之重量，乃微管水與吸濕水之總共重量。由此量減去吸濕水量，即為微管水量。

三 滲透水 (亦曰地心吸力水)

滲透水，即吸濕水與微管水二者以外之水也。吸濕水膜加厚，則為微管水。微管水膜加厚，卒至其水膜之張力，不

敵地心吸力，遂向下流，則為滲透水。此水不特不能為植物所利用，且存積土中，足使土溫降低，通氣不良，阻礙細菌之繁殖，變劣土壤之理化性質，每使土中有效養分，多歸無效。惟微管水缺乏時，則滲透水必上昇，而變為微管水，以供給植物之需用。土壤中滲透水之多寡，與土壤空隙及微管水有關。土壤空隙多，則滲透水少。又滲透水與微管水為反比例。土中微管水多，則滲透水少。滲透水流動之速度，以土壤種類而不同。且視其感受外界力影響而異。其要素有四，(1)壓力，(2)溫度，(3)土壤之結構，(4)土壤之組織。

(1) 壓力 壓力能影響滲透水流動之速度者，(一)為氣壓。氣壓愈高，則流動愈速。(二)水之下壓，水之下壓愈大，則流動愈速。蓋土壤水分愈多，水層愈厚。則水層之重量 (weight of water column) 愈大，即水之壓力愈大也。

(2) 溫度 水以溫度而膨漲，故溫度昇高，則不特徵管水流動，受其影響，而滲透水流動亦以增加。

(3) 土壤之結構 結構愈大之土壤，滲透水流動愈速。愈小者，則其流動愈緩。據金氏謂滲透水流動之速度，與土粒直徑之平方成正比。故砂土中，滲透水之流動，比黏土中為速。

(4) 土壤之組織 土壤組織疏鬆者，滲透水流動速。緊

密者，其流動緩。

滲透水之測定法 此種水之測定，頗不易易。蓋一般土壤中，此種水之存在，決無永為飽和狀態。故其測定法，殊難精確。其法先將已稱之土壤，用水飽和後，量其排出之水，按下式求之。但須知假比重與真比重二種，及微管水百分率。

$$\text{空隙}\% = 100 \left(\frac{\text{假比重}}{\text{真比重}} \times \frac{100}{1} \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{滲透水}\% = \frac{\text{空隙}\%}{\text{假比重}} - \text{最大微管水} \dots\dots\dots(2)$$

例如砂土真比重為二·六，假比重為一·五六，最大微管水為百分之二十，故空隙為百分之四十。此百分之四十之空隙，盡充滿水分，則百之二五·一（即以假比重除空隙百分數，所得之數），再減去最大微管水百分之二十，（即吸濕水之百分加微管水之百分數），得百分之五·六，為滲透水百分數。

土壤中除上述三種水之外，又有地下水及化合水兩種，茲略述於下。

地下水 地下水，為滲透水至不能再滲透之一層，遂以停滯土內，成為水位，是曰地下水。地下水之高低，視各種土壤而異。關於農事，亦頗重要。蓋地下水過高，則表土潮濕，溫度特低，對於植物生長，至為不利，不可不行排水法，

以疏洩之。但地下水過低，亦有不利，易罹旱害。

化合水 化合水者，乃水與土壤成分化合之水也。土壤各種成分中之水，皆為化合狀態。因成分之不同，含水之量各異。黏質之土多於砂土。如含水矽酸鹽類水酸化鐵等，即含水分之化合物也。欲測定土壤中此種水分，當取乾至攝氏百度至一百十度之土壤，更灼熱之。由損失量，再減有機質之量，即為化合水之量。此種水分，尤難為植物所利用。

第八章 土壤之水分與植物

一 土壤水分對於植物之功用

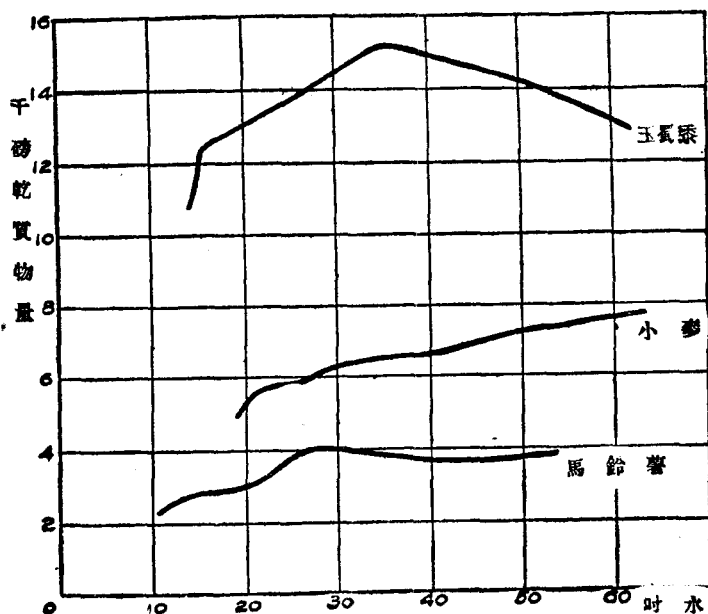
水對於植物之功用至大，約而言之，可分兩種，間接與直接是也。

間接功用 (1) 溶劑作用，水能助岩石之風化及土中各種養料之分解。其不可給態者變為可給態。(2) 媒介作用，水能將土中之養料輸送於植物體內，以供植物之需用。蓋植物吸取養料，不能直取自固體成分，必藉水分之溶解及輸送。

直接功用 (1) 水之本身可為植物之養料。蓋新鮮植物有百分之六十至九十為水分。且水經分解後，變為輕養 H.O. 原素，可造成植物之新組織。(2) 水能調節植物體內溫度。當溫熱過高時，水由葉部蒸發，減少植物體內之溫度，維持植物之生育。(3) 水能增加植物之漲力 使細胞膨漲，植物無枯萎之患。(4) 水能於植物體內運輸養料，自一部以至他部。(5) 水為原形質之主要成分。

上述水分對於植物之功用至為重要。故土中水分適宜，植物生長自形良好。過少固屬不宜，過多亦能為害。在同一種作物，苟水分之供給量愈增，則其乾質產量反少。茲以圖表示各種作物乾質物之產量與水分供給增加之關係。

第 十 七 圖



二 植物之需水率

植物由根部吸入水分，由葉孔蒸騰 (transpiration)。其

蒸騰之量，與植物所造成乾質之比，謂之蒸騰率(transpiration-ratio)，又曰需水率(water requirement ratio)。需水率者，乃植物造成每磅乾質所需水分若干磅之謂也。土面蒸發及地下滲透，均不在其內。在雨量多之地方，植物需水率為二百至五百。旱地方之植物其需水率較雨水地方約大一倍。需水率之測算，頗難確定。以其感受各種要素之變更無定，不易防制。若行盆栽法，其土中無水分滲失時，則有二法可以測定。(1) 栽一植物於盆內。盆之周圍及土面裹以臘紙，以防水分自土面蒸發。然後曝於日中，以檢其盆內所失之水量。其所失之水量，即植物之需水率。(2) 以同種之土壤分置於二盆內，以一盆栽植物，一盆不栽植物。二者同時令其蒸發。由栽有植物一盆所失去水分之總數，減去未栽植物者所失去水分之數，其差即為植物之需水率。惟第一法，盆之周圍及土面全被臘紙所裹，其通氣性等情形與普通土壤之情形不同，所得結果，自不甚可靠。第二法則差異更多，因栽植植物之土壤與不栽植植物之土壤，其蒸發迥異。蓋栽植植物之土壤，以植物之生長有枝葉等以蔭蔽土面，且因其根之吸收作用，土中水分由微管而引至土面者亦少。茲將各學者對於各種植物需水率之研究，列表於下。

表 四 二

	1850年 英國 Harpenden Lawes氏	1876年 德國 Munich Wolluy氏	1883年 德國 Dahme Hellriegel氏	1895年 美國 Wisconsin Madison King氏	1911年 印度 Pusa Leather氏	1911—1913年 美國Colo. Akron Brigg氏及 Shantz氏
大 麥	258	774	510	464	408	534
豆 類	209	—	282	—	—	736
蕎 麥	—	646	363	—	—	578
黃 花 菜	269	—	310	576	—	797
玉 蜀 黍	—	233	—	271	337	368
粟	—	447	—	—	—	310
燕 麥	—	665	376	503	469	597
豌豆	259	416	273	477	563	788
馬 鈴 薯	—	—	—	385	—	636
油 菜	—	912	—	—	—	441
裸 麥	—	—	353	—	—	685
小 麥	247	—	338	—	544	513

上表所表示各種植物需水率，不過大概之數，實不甚精確。總之植物需水率之大小，常隨下列各要素而異，茲分別言之。

(1) 作物需水率，因作物之種類而異，即同一作物，其需水率亦時有變更。當作物發育旺盛之時，則需水較多，而成熟時則需水較少。

考作物之所以需水不同者，尚有種種原因，或以植物葉綠素之多寡，或以作物有無菌類之寄生及其他作用，因此而作物造成之乾質乃異，故需水率亦不同。

(2) 氣候 雨水；濕度；日光；溫度及風皆能影響於植物需水率。

(一) 雨水 雨水多，則空中之濕度高，植物需水率小。

(二) 濕度 空中濕度低，則植物體內氣壓大，需水率亦大。據蒙特哥美利 (Montgomery) 氏在溫室內研究玉蜀黍需水率，空中濕度由四十二度增至六十五度時，其需水率自三四〇減至一九一。

(三) 溫度 空中溫度高，則植物蒸騰速，需水率大。

(四) 日光 日光能增加溫度，故日光強，則需水率大。

(五) 風力 風力速則空中水分易於變低，植物體內之氣壓乃高，需水率大。

(3) 土壤 土壤中之水分與肥沃亦與植物需水率大有關係。

(一)土壤之水分 土壤中水分愈多，需水率愈大。栽植大麥及玉蜀黍於含水量不同之各地，其需水率亦異，如下表所示：

表 四 三

大麥 Hellriegel 氏		玉蜀黍 Montgomery 氏	
土壤濕度總容量百分數	需水率	土壤濕度總容量百分數	需水率
80	277	100	290
60	240	80	262
40	216	60	239
30	223	45	229
20	168	35	252
10	180		

(二)土壤之肥沃 土壤之肥瘠不同，則需水率亦異。肥沃之土壤需水率小，瘠瘠之土壤需水率大。茲將栽植於各土壤之玉蜀黍之需水率，列表於下：

表 四 四

	植物之乾質量		需水率	
	施肥	未施肥	施肥	未施肥
瘠土(15英斗)	376	113	350	549
中等土(30英斗)	413	184	341	479
肥土(30英斗)	472	270	346	392

(三)土壤之結構 土壤之結構經許多學者考究，亦知與需水率有關。大概言之，細結構之土壤，則需水率少，以其含植物養料多也。

三 植物之枯萎及其係數測定法

作物需要之水分，全賴土壤中微管水之供給。苟微管水之供給不足以應作物需要，則作物發育停止，漸形枯萎。故土壤中之物理性質不良，或含水分過少，或水分之流動過緩，作物均有枯萎之虞。第枯萎有暫時枯萎與永久萎枯兩種。暫時枯萎者，由於植物水分之蒸騰過盛，而植物吸收之水量不足以補蒸發之缺，即致枯萎。若其後復得多量水分之供給，亦能恢復原狀。永久枯萎者，即死之變名也。此種枯萎，由於土壤中水分供給缺乏，不足以資植物生長之需要，既枯萎後，即有多量水分之供給，亦無復活之可能。

枯萎係數 (wilting coefficient 亦曰枯萎點) 作物之種類不同，其禦旱之性質各異，枯萎係數亦各不同。其不同之原因，約有三端。(1) 根之伸張力。(2) 調和緩吸水力。(3) 滲透力。後二者雖在同種土壤各作物之枯萎係數亦不盡同。惟一般之枯萎係數，在土壤吸濕水與緩微管吸力之間。

枯萎係數測定法 此法為布立格茲氏與沙滋氏兩人所創。彼等曾研究各種植物枯萎係數。其法用能容二五〇立方公分之土壤玻璃杯數個，放入定量之土壤及多量水分，播下種子，以臘紙封杯口，以防土面水分之蒸發。迨種子發芽時，則見其穿紙而出。及植物長成後，即將全器置入盛水之大缸中，杯內勿使有水浸入，保持一致溫度，於是植物漸次枯萎。其枯萎原因，全由於土中水分缺乏。雖空氣中水氣充滿，但毫無影響。然後於土中計算其所含水分之百分率，即為枯萎係數。其計算公式頗多，茲舉二種列下：

$$1. \text{ 枯萎係數} = \frac{\text{吸濕係數}}{0.68} \quad 2. \text{ 枯萎係數} = \frac{\text{容水量} - 21}{2.9}$$

又各植物之枯萎係數亦以土壤之結構而不同。黏土之枯萎係數常高於砂土。茲將枯萎係數與土壤結構之關係及吸濕水與最大含水量列表於下：

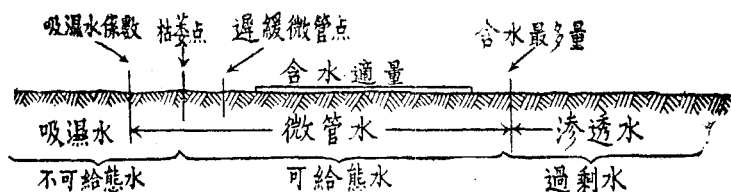
表 四 五

土 壤	吸濕水係數	枯萎係數	最高吸水量
粗砂土	.5	.9	25.7
細砂土	1.5	2.6	28.5
細砂土	2.3	3.3	30.5
砂質壤土	3.5	4.8	34.9
砂質壤土	4.4	6.3	39.2
細砂質壤土	6.5	9.7	49.1
壤土	7.8	10.3	50.8
壤土	9.8	13.9	61.3
黏質壤土	11.4	10.3	68.2

四 土壤之有效水分及其適量

土壤中水分，對於土壤言之，則曰吸濕水，微管水，滲透水。對植物言之，則曰不可給態水（無效水），可給態水（有效水），及過剩水。不可給態水，即土壤之吸濕水。可給態水，即微管水。過剩水即滲透水是也。此三種水，不盡能為植物所利用，前已言之。凡在枯萎係數以下之水，植物不能利用，總稱之為不可給態水，如吸濕水與內微管水是也。內微管水者，即微管水之內部（如圖）。此水被膠質緊握，流

第 十 八 圖



動頗難，存在於黏土中者較砂土中為多。例如砂土吸濕水係數為一·五%。枯萎係數為二·六%。則其中一·一%之水為內微管水。又如黏質壤土吸濕水係數為一一·四%。枯萎係數一六·三%。則其中四·九%之水為內微管水。此外則概為有效水。惟過剩水除稻作外，則不利於作物之生長。茲將砂土與黏土之含水量列表於下：

表 四 六

	砂 土	黏 土
吸濕水係數	1.00	1.00
枯萎係數	1.47	14.70
最大保水量	17.00	44.00
不可給態水	1.47	14.70
可給態水	15.53	29.30
過剩水	8.10	1.60

土壤中水分對於植物之重要，前已詳述。其重要之點，不在水分之多寡，而在水分之量恰適植物之需要。過多過少，不特無益，且屬有害。過少植物必罹枯萎之患，過多亦有種種之弊。其最要者，如降低土溫，充塞土中空隙，有妨空氣流動，而使植物根部呼吸不良，有益細菌不能生育。植物根部呼吸既不良好，則植物難以生長，而致悶死。細菌既不能生育，則亞莫尼亞及硝酸鹽類之各種養分不能造成，而有毒物質漸次增加。如酸性腐植質，第一養化鐵，硫化氫等之生成，皆以空氣流通不利，養氣缺乏之故也。此乃水分過剩之害。他如可給態水，其量適宜與否，亦影響於作物之生長，品質之良劣，及成熟之遲緩。譬如可給態水分，在一定適量時，其水分增加，則植物枝葉生育因以繁茂，富於漿汁，易受病害。其成熟時所含水分百分率亦高。其販賣品質因以變低。且水分多，成熟遲，農人之報酬減少，而作物所含蛋白質之百分率亦低。是知可給態水分過於適量時，其影響於植物之生長與多量可溶解之淡素相等矣。

由此可知水分過多或不及，均足使作物生長不良。故栽植作物，欲收良好結果，不可不注意最適宜之水量。但最適宜之水量，因作物之種類，土壤之性質不同而異。即同一作物，亦因其生長期不同，而有差異。例如發育旺盛時，以多

量水分爲佳。至成熟時以少量爲佳。據武尼氏之研究，大約土壤中水分之適量爲百分之四十乃至百分之八十。平均以百分之六十爲最佳。

第九章 土壤水分之調節

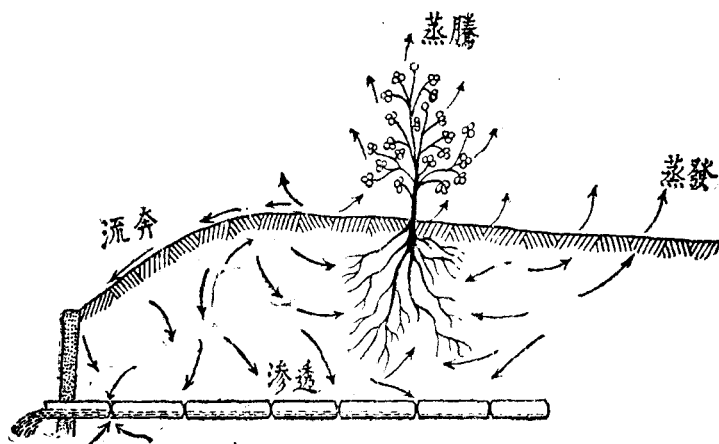
作物生長需用水分甚多，但不可過多或過少，前已言之。故欲求土壤水分之恰當，適於植物之生長，而收良好之結果，不可不加以調節之方法。其法不外土壤中原有水分之保持，與土壤中水分不足之補給，及土壤中過剩水分之排去三項是也。茲分述於后。

一 土壤中原有水分之保持

(1) 土壤中水分損失之原因 欲保持土中原有之水分者，乃免土壤中有效水分虛耗之謂也。欲知土壤中水分虛耗與否，須先知土中水分損失之原因。考其原因有(甲)蒸騰(transpiration)；(乙)蒸發(evaporation)；(丙)奔流(run-off)；(丁)滲透(percolation)。蒸騰為植物生長最要之機能，亦土中水分正當之消耗，甚宜設法促進。若蒸發奔流及滲透三者愈多，則土中水分愈形缺乏，植物生長愈形不良，易罹枯萎之患。茲將三者分別言之。

(2) 土中水分之蒸發及其節制法 土中水分之蒸發，多

第 十 九 圖



於表土行之。若土面有深大裂紋，則心土中水分亦被蒸發。其蒸發之量與溫度成正比。故夏季酷熱，土中水分之蒸發甚多。在早燥之區，土中水分之損失，大都為蒸發作用。據英國最著名之洛忒孟斯忒農事試驗場報告，謂每年雨水量由地下損失者，（奔流與滲透）平均為二分之一。由植物蒸騰與地面蒸發損失者，各四分之一。換言之，每年雨水四分之二由地下損失。地上失去二分之一。故地面蒸發過多，常減少植物所需水分之供給量，以致作物生長不能發達，故不可不謀節制之法。

節制蒸發之法有種種，而最有功效者，不外減少土面之

蒸發與阻止微管水之上升。但減少土面蒸發與阻止微管水上升，皆有賴於護蔽物 (mulches)。護蔽物者，乃蓋護土面之物也。可分為二種，(1)天然護蔽物；(2)人工護蔽物。人工護蔽物，為栽植作物用麥稻等稿秆或敗葉等物遮蓋土面，需人工而成者也。天然護蔽物者，如中耕是也。蓋土壤中耕後，微管隔斷，微管水不易上昇。其上層土壤變乾，可為下層土壤天然之護蓋物。此種護蔽物於中耕除草時自然成之，故亦曰土壤護蔽物。天然護蔽物較人工護蔽物頗為便利，農家多行之。人工護蔽物行之者鮮，因天然護蔽物不特可以減少土水之蒸發，且可調治土溫，去除雜草，促進土中微生物之繁殖等作用。砂土造成護蔽物較黏土為易，且能耐久。因砂土易於乾燥，吸收下層水分甚緩。至若黏土，則微管水引力甚強，數日後，上層乾土漸濕。倘復遇數日濕潤空氣，則空中水氣被土吸收，則土更濕，乃與心土之微管相接，由是土壤水分復行蒸發。故在雨水多地方，每隔一星期或十日須改造一次。而降雨後，尤宜注意。因雨後土壤透濕，苟不施行護蔽物，則蒸發頗速。

天然護蔽物之深度 天然護蔽物之深度，通常約三英吋左右。乾地則宜較深，以乾地植物之根較深故也。茲將有護蔽物與無護蔽物之土壤之含水量列表於次，以示護蔽物對於

土壤含水量之功效焉。

表 四 七

深 度	有護蔽物	無護蔽物
第一呎	16.8%	10.8%
第二呎	16.4	9.8
第三呎	13.2	9.5
第四呎	10.1	8.9
第五呎	9.4	8.5
平均	13.2	9.4

(3) 土水之奔流及其節制法 土壤水分之奔流為最不利於農事者。在大雨滂沱之際，土面斜度太大，或土壤固結，不易透水，則雨水每由地面奔流而去。此種奔流，不特水分不能透入土內，以供植物之需要。且表面肥土被其沖去，每每使土質劣變。甚至初生作物，亦多受其摧傷，為害頗巨。其節制法以能增加土壤保水力，減少雨水奔流為要。約有數端，分述於下。

(一) 耕耨 雨水流入土中，或由土面流失，視乎土壤之物理情形而異。若土壤疎鬆透水容易，雨水流入土中者多。若土壤固結，透水不易，雨水多奔流地面。故深耕淺耕，或

秋耕春耕，以及中耕等，皆能疎鬆土壤，減少土水奔流之患。

(二)施用石灰 石灰有使土壤土粒造成團粒之功能，可以改良土壤組織，使其疎鬆。如是水分易透入土中，亦可減少奔流。

(三)增加有機物 有機物能使土壤疎鬆，增加土壤保水力。

(四)栽培作物或牧草 作物或牧草遮蓋土面，能阻止土面雨水之流失。若土壤斜度過大，沖蝕更甚，則尤宜栽種牧草以防奔流之患。

(五)作梯形田 土面斜度過大，宜作梯田，以減少水分及養分之流失。(梯田者。田之位置如梯狀，作物之行列，多與地之傾斜面成正交)。

(4) 土水之滲透及其節制法 上述土壤之物理情形佳良，則透水易，雨水多入土中，可減少地面水分之流失。但雨水入地過多，逾於土壤容水量時，則水分向下滲透，為害亦大。其滲失量之多寡，隨雨水多少及土壤保水力之強弱而異。其滲失之量愈多，為害愈甚。在雨水較多地方之土壤，由此而失去養料之量，與作物吸收養料之量相等。美國康乃爾大學以黏質壤土行水分滲透試驗。其土中養料損失之量，幾有過於作物吸收之量云。茲將其種作物與未種作物之地，每年

平均所損失之水分及養料。各列表於下。

表 四 八

每英畝每年平均由滲透所失水分之量

土壤情形	雨水量	滲失量	滲失水分百分數
丹刻克黏質壤土			
不種作物	32.41英吋	24.92英吋	76.8
種作物	32.41	18.70	57.7
服留西亞洋質壤土			
不種作物	32.97	27.13	82.3
種作物	32.97	20.62	62.5

表 四 九

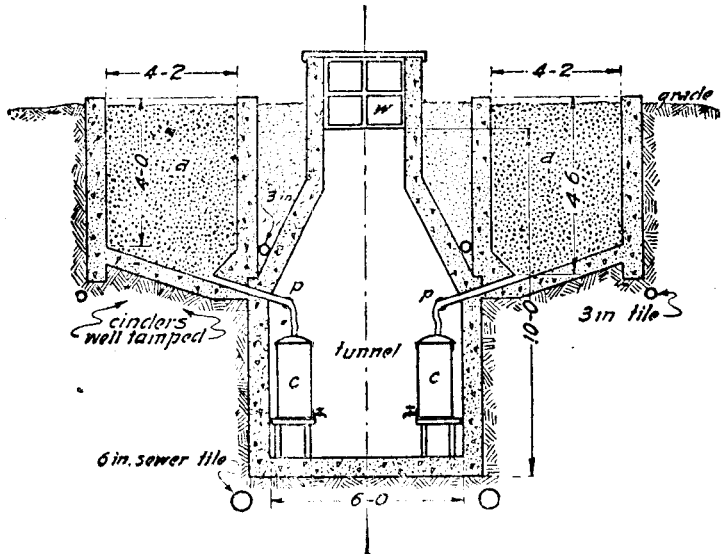
每英畝每年平均由滲透所失養分之量

土壤情形	每英畝每年損失磅數		
	淡 N.	鈣 Ca.	鉀 K.
丹刻克黏質壤土			
不種作物	69.0	397.9	72.0
輪栽	7.3	247.1	57.3
種草	2.5	259.9	61.7
服留西亞洋質壤土			
不種作物	51.8	356.4	81.5
種作物	10.2	341.4	73.2

以上兩表，係美國康乃爾大學用排水計 (lysimeter 如第二十圖) 試驗十年，平均之數量。可知土水滲透，不特土中水分有缺乏之虞，而土壤中之養分亦損失甚巨。每英畝每年損失淡素量六十九磅，等於硝酸鹽 NaNO_3 四百九十磅，鈣分三百九十磅。等於碳酸鈣 CaCO_3 九百九十九磅，鉀分七十二磅。等於綠化鉀 KCl 一百三十七磅。於此可知節制土壤水之滲透極為重要。

康乃爾排水計 康乃爾排水計，為美國康乃爾大學所創，其不良之點，在變易土壤之組織，起初數年，流下之水分額

第 二 十 圖



及其成分不甚可靠，故必須經長久時間之試驗，此計構成，頗為複雜，器之兩傍，有水門汀桶兩個，為裝試驗土壤之用，桶大為五十平方英吋，桶之週圍敷以石腦油，以防溶液之浸蝕，器之中央有一洞道，a. 應研究之土壤，P. 出水口，C. 盛水桶，W 為 Sky light。

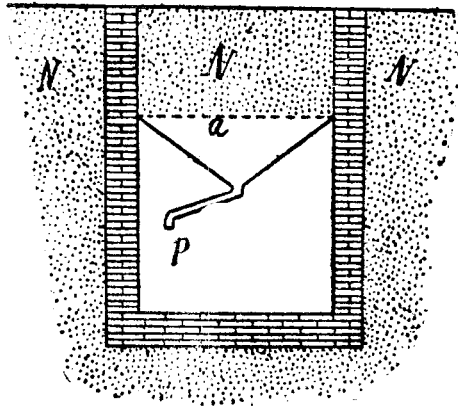
又英國洛忒孟斯忒試驗場，用洛省排水計，試驗不種作物之黏質壤土，深約三英尺。經多年試驗，茲將其二十四年平均每年滲失水分之量，列表於下。

表 五 ()

時 期	雨水量	滲失量	滲失水分百分數
12月—2月……	6.77英吋	5.58英吋	82.4
3月—5月……	5.96	2.11	35.4
6月—8月……	7.83	1.81	23.2
9月—11月……	8.29	4.50	54.2
總 量……	28.85	14.01	48.8

洛省排水計為英國洛省試驗場所創，世界排水計之老者，其優點在不甚妨害土壤之組織，雖經短期之試驗，結果亦較可靠。其構造較為簡單，週圍以磚砌成，中有一溝道，溝道之上，橫置有孔之鐵板，以支持土壤(如下圖)。

第二十一圖



N 應研究之土壤， a. 鐵板， P. 出水口。

土壤水分之滲失作用，不僅減少土壤中之有效水分量，並土中之有效養分，因而流失者甚多，前已言之。故節制土水之滲失，實為重要。其節制之方法，亦有種種。其重要者如下。

(一)增進土壤之保水力 土壤之保水力大，則土水之滲失少。如增加有機物，改良土壤之結構與組織，為增進土壤保水力之重要者。

(二)栽種作物或草類 不栽作物或草類之土壤，其滲失量大。栽培作物或草類之土壤，其滲失量小。因作物與草能抵抗滲失作用故也。

(三)排水 排水主為減少土中養分之滲失，苟土壤排水

良好，則土中過剩水分流去較速，土壤中養分被溶解而去者較少。

二 土壤中水分不足之補充

當雨水稀少，土中所有水分之量，不夠作物之需用。不可不謀補充，而行相當之灌溉。灌溉者，以人工補給土壤相當之水分，以資植物之生長者也。蓋土壤中水分過少，植物不能生長，自不待言。故乾燥之地，雨水鮮少，灌溉甚為重要。且灌溉可以增加土中養分，改良土壤組織，及防除病蟲等害。是知灌溉不特為供給土壤相當之水分而已也。惟灌溉之方法頗多。因土地之面積，形狀，土質，及水量等而異。普通分為溢瀦，溢流，地下及噴布四大類。

(1) 溢瀦灌溉(flooding irrigation) 溢瀦灌溉者，係將水溢瀦於土壤之表面，使其次第向下滲透之法也。此法又分為兩種。上面溢瀦，與側面溢瀦是也。

上面溢瀦法者，乃以水灌入耕地土面，勿使流去，以備土壤之吸收。是法對於水田甚為便利，稻田灌溉多行之。

側面溢瀦法者，乃將田中設明渠，使水由渠內而流。渠之下端塞之，使水溢瀦於渠內，以滲潤土壤之法也。

(2) 溢流灌溉(furrow irrigation) 溢流灌溉者，田內滿設小明渠，使水徐向低處流過而歸於排水渠內之法也。此

法較爲普通。如馬鈴薯，玉蜀黍，甜菜，萊菔等作物田內，均適宜此法。果樹園內，亦多行之。

(3) 地下灌溉(sub-irrigation) 地下灌溉者，乃供給水分於土壤之下層，其法設渠於地下。塞其口，將水滲於渠內，使其漸次向上層土壤滲昇也。

(4) 噴布灌溉(spray irrigation) 噴布灌溉者，乃將水自空中噴灑於地面。其法設管於地面之上，用架承起。管上裝置龍頭，管內滿盛以水，加以壓力，使水由管之龍頭噴布。此法灌溉，甚稱便利。但所費亦昂，大都於土地凸凹不平，或不便於設渠，或地積狹小，地價昂貴者行之。

三 土壤中過剩水分之排去

土中水分過少，既不適於作物之生長，而過剩則亦能爲患。欲祛此弊，須行排水。而尤以低窪汗積之地爲甚。蓋排水良好，其利甚多。

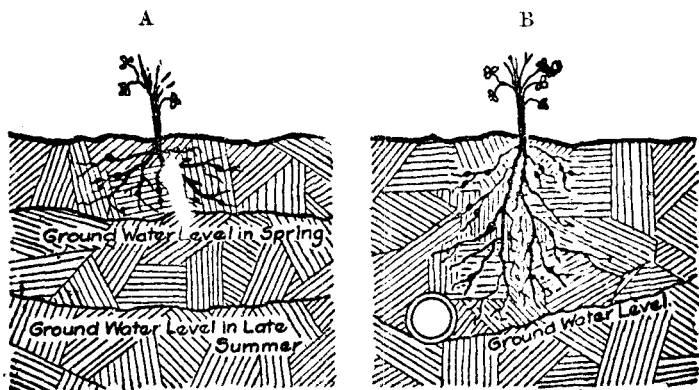
(一)減少土中養分滲失之量，因土中排水不良，土中養分隨而流失者尤多。

(二)增加土壤之溫度。因水分能減低土中溫度，土中水分愈多，則其溫度愈低。

(三)流通土中之空氣，因土中水分減少，則空氣增多，流通自易。

(四)促進植物根之生長。土壤排水良好，則地下水低，植物根能深入土中，生長旺盛。

第 二 十 二 圖



A. 表示濕土中植物根之生育，

B. 表示同濕度土中植物根之生育，
惟用排水管以排除水分。

(五)促進細菌發育。因土中水分過多，細菌不適於生育。

(六)除去土中有毒之物質。因排水良好，則土中之酸性或鹼性等物質，可以洗去之。

(七)增加土中有效養料。土中溫度既適，通氣既佳，細菌之發育旺盛，則植物有效養料自行增多。

(八)管理方便。土壤排水佳良，則田中處理及耕作等均甚方便。

排水之利益，已如上述。而其亦有種種方法，約而言之，可分爲二。明渠排水，與暗渠排水是也。

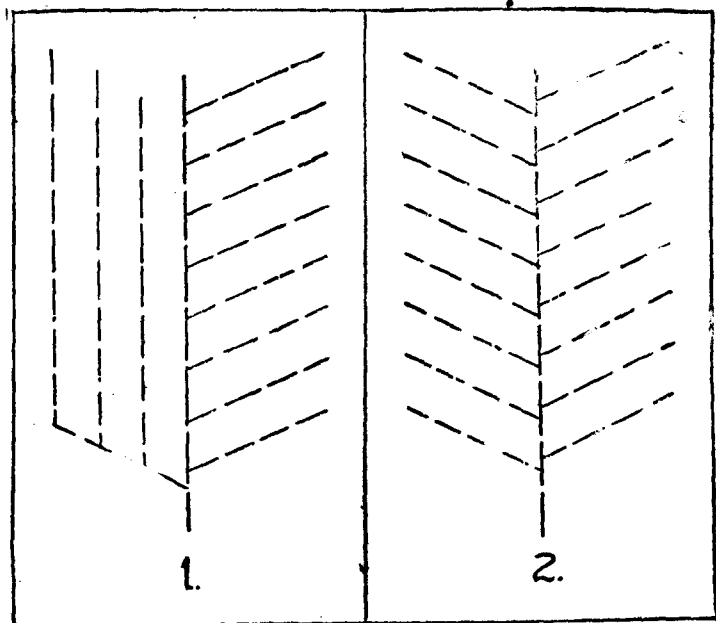
(1) 明渠排水(open ditch drainage) 明渠排水者，於田內隔相當距離(約十至二十呎左右)開一水溝。其開溝之法，隨土地之情形而異。總之以諸小水溝會入大水溝，由大水溝排之河港或溪內。此種排水，土壤保水力較大，排去水分較少。惟能剝蝕土壤，不便工作。且一年一次，需費亦多。實粗放之排水法也。

(2) 暗渠排水(under ditch drainage) 暗渠排水，亦曰地下排水。田之表面，不開明溝，而於地下設渠，使水由地內排出。可免剝蝕土壤之弊。且地面經濟，工作便利，其利較多，乃精緻之排水法也。此種排水，可用木枝或粗石子等爲之。但此法除有特種情形外，多不適用。普通多用管爲之，故曰管筒排水(tile drainage)。

管筒排水之方式甚多，大概分爲天然式及人工式兩種。天然式者，依土壤之結構及土面傾斜之情形而定。此法頗爲經濟。人工式又分爲角骨式及鐵耙式兩種。

角骨式 角骨式者，中部設一大主管，左右兩邊各設許多支管(如第二十三圖2)。其管之大小，視地方雨水之多寡排水之面積及傾斜度而定。其設置之法，先掘三呎或四呎深

第 二 十 三 圖



之溝，（溝之深度，以土質不同而異。黏土較砂土稍淺）。然後置管於溝內。使管與管啣接，稍成斜形，使水易於洩出。洩水之口，用水門汀緊固，以免崩壞。

鐵耙式 此排水式管之大小及其裝入之深淺，亦隨地方，及土壤各種情形而異。中部設一大主管，兩傍各設一副管，副管上再分多數小管（如第二十三圖 1）。其裝置法與上同。

第十章 土壤之有機物

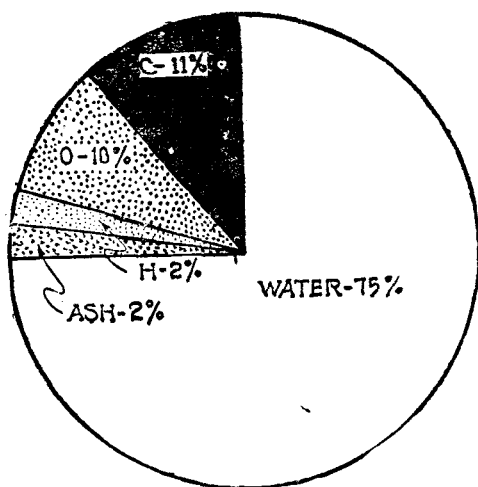
有機物爲土壤組成重要成分之一，不特作物生長所必需，而對於土壤之理化及微生物學種種性質，殊關重要。

一 土壤中有機物之起源及植物之組織

土壤有機物之起源 土壤爲無機與有機物混合而成。無機物則由岩石分解而來。然有機物則自何而始？曰始於生長於其處之植物。植物枯死，乃變爲土壤有機物。惟最初生長於其處之植物，何自而得其生長所需之有機養分？其有機養分又源於何物何地？據一般推測，謂土壤初由岩石風化而成，含有多種無機養分。其一般不需用有機養分之硝化菌類，或僅藉空氣雨露中之淡素化合物而生長之下等植物，（如地衣、蘚苔等類）乃克生長。但一經此菌類及下等植物生長後，其遺體日漸腐朽，有機物質乃漸漸增多。久之，高等植物亦漸生長。高等植物既能生長，於是植物之根莖及葉腐敗於土中，而土中之有機物質成矣。於此可知土壤有機物之來源，由於一般植物之組織。

植物之組織 土壤之有機物質既從植物之組織而來。然構成植物組織之物不可不知。大都不外水分與乾物質兩種。一般新鮮植物，水分居百分之七五，乾質居百分之二五。其乾質中炭素則居百分之十一，養氣居百分之十，輕氣居百分之二，灰分居百分之二。

第 二 十 四 圖



植物組織之成分略如上述，惟組織中各成分之化合物，普通亦可別為下列數類。

(1) 炭水化合物 炭水化合物常以 $C_x(H_2O)_n$ 表示之。其包括之化合物，如澱粉，纖維，右旋糖，葡萄糖，蔗糖及

其他糖類。

(2) 脂肪與油 植物體內之脂肪及油甚多，因植物之種類而異。如 butyrin, stearin olein, palmitin 是也。

(3) 蛋白質 植物體內之蛋白質甚多，乃極複雜之化合物也。除含有炭輕養及淡素外，并有各礦物質存在。如硫，磷及鐵等質亦含有之。其種類甚繁，其組合成分殊難判定。除數種蛋白質如 proteoses 及 peptones 外，其他如 albumin, globulin 及 protamins 種種，植物中皆含有之。

(4) 酸類與鹽類 植物體內含有各種酸類，如有機酸是也。此種酸類，於植物之果實中最多。至於鹽類，植物體中亦含有之。如有機鹽類是也。

表 五 一

植物所含之普通成分

	水分 %	灰分 %	粗蛋白 質%	粗纖維 %	無淡可 溶物%	粗脂肪 %
苜蓿艸(青的)	71.8	2.7	4.8	7.4	12.3	1.0
萵苣(新鮮的)	94.7	.9	1.2	.7	2.2	.3
小麥(穀粒)	10.5	1.8	11.9	1.8	71.9	2.1
提摩太草(乾芻)	13.2	4.4	5.9	29.0	45.0	2.5

二 土壤中有機物之分解

土壤中有機物之分解，乃使複雜有機化合物變為簡單有機化合物，以供植物之營養者也。由化學之變化及微生物之作用使然。而化學之變化，亦多賴微生物之輔助而行。故微生物者，乃分解有機物之利器，造成植物養料之原動力也。（參閱土壤之微生物章）。

有機物之分解作用，為土壤中造成植物養料之自然程序。但因空氣之存在與否，可分為二種，曰養化分解，及還元分解。

(1) 養化分解(即曰分解) 養化分解為需要養氣之分解作用，主在通氣良好之土壤中之行。其分解時，不發生惡臭。其分解產物，為碳酸氣(CO_2)，水，及阿摩尼亞等物。常有中性腐植質殘留。但外界情形適宜，則分解盛行，腐植質殘留較少。

此種分解作用，全由一種好氣性微生物之作用而起。故土壤一遇高溫，或加以昇汞(HgCl_2 corrosive sublimate)，古羅仿模(chloroform)，及其他種種毒物，則有礙微生物之發育，即有妨礙分解作用矣。反之若加以促進微生物發育之物質，則分解作用即可增進。

分解作用之緩速可由所發生碳酸氣之分量測定之。各種殺菌劑加於土壤中，因其殺菌力不同，而有有機物分解時所發

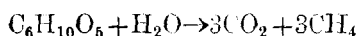
生碳酸氣之量各異，由所發生碳酸氣量之多寡，即可驗有機物分解之速緩，而知有機物分解與微生物之關係焉。如下表。
(以加水發生碳酸氣者爲 100)。

表 五 二

殺菌劑	殺菌劑對於土壤量數	在一定時間內所發生碳酸氣之量數
水	—	100
salicylate ($C_6H_4OHCOOH$)	0.030%	98.4
鹽素	0.045	71.7
硼酸(H_3BO_3)	0.330	47.9
硫酸銅	0.045	47.1
chloroform		44.3
石炭酸	0.110	33.5
青酸($H(CN)$)	0.045	11.6
昇汞($HgCl_2$)	0.045	6.8
溫度 115°C 時		2.3

(2) 還原分解(即曰腐朽) 還原分解爲不需要養氣之分解作用，主在通氣不良或空氣斷絕之土壤中之行。分解時發生惡臭，其分解產物爲碳酸氣，沼氣，淡氣，硫化輕氣及二

養化淡等，簡單化合物。此種分解作用，由於一種嫌氣微生物之作用而起，與水分有至大之關係。如纖維質物在水中，因分解菌之作用，則發生碳酸氣及沼氣，其化學變化如下。



有機物之分解作用，乃一種化簡作用。俾複雜化合物變為簡單化合物者也。惟複雜化合物變為簡單化合物時，其分解程序可分為三級(如圖二十五)。由未分解之有機化合物經一種微生物之作用，變為中間化合物。又曰第二化合物(即腐植質)。此中間化合物比原有機物更為複雜，植物多半不能利用，必再經他種微生物之作用，由中間化合物再分解為簡單化合物。又曰最後產物。此簡單化合物，則植物均能利用之(詳第二十一章)。

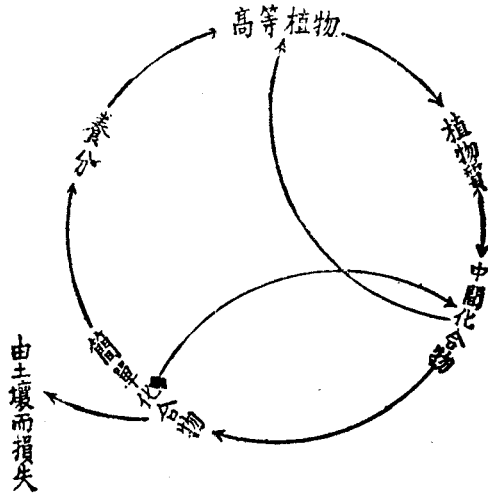
第 二 十 五 圖

植物之組織 plant tissues	腐植質 humus	最後產物 end products
未分解之物質 undecomposed matter	中間化合物 intermediate compounds	簡單化合物 simple compounds

有機物經分解後，能為植物所利用。惟植物一方利用分

解之有機物，一方亦能造成未分解之有機物，俾土壤中之有機質得以循環不絕耳(如圖二十六)。

第 二 十 六 圖



此簡單化合物，一為植物之養分，一由土壤損失。

三 土壤中有機物分解與各種要素之關係

土壤中有機物分解，雖僅分為三級，但分解情形甚為複雜。其分解之緩或速，常因外界之情形及有機物之性質而異。茲將各種影響於分解之要素分述於下。

(1) 養氣 養氣供給愈多則有機物分解愈速。至達一定之適量時，分解之速度極盛。過此適量，則養氣雖增，而分

解速度增加漸緩。茲以泥炭與砂混合之土壤，裝於U字形之管內，通入種種含養氣不同之氣體，其二十四小時內所發生之碳酸氣量，如下表所示。表內之數以養氣百分之二時所發生之碳酸氣量爲一。可知各種養氣含量對於分解作用之影響矣。

表 五 三

養氣含量	2%	8%	15%	21%
碳酸氣發生量	1	2.9	3.0	3.5

(2) 溫度 凡有生之物，欲維持其生活作用，必須若干溫熱，有機物分解亦然。在一定限度內，其溫度愈增，則其作用愈盛。故有機物分解之時溫度上昇，其分解益速。武尼氏常於攝氏十度時以有機物分解所生之碳酸量爲一，以觀各種不同溫度之分解作用，如下表。

表 五 四

含水量 (濕度)	溫 度	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
44%	碳酸氣量	1.0	5.5	13.1	15.0	27.3
68%	碳酸氣量	1.0	1.6	3.4	7.2	12.4

由此表觀之，溫度漸昇，則發生之碳酸氣漸多，至攝氏

五十度至六十度時，其量最大。溫度漸降，則碳酸氣發生漸減。至零度以下，雖有碳酸氣發生，其量極微。據哥思台爾 (Kostyls-cheff) 氏之試驗，謂最適宜之分解溫度，在攝氏三十五度左右。其最高溫度為六十五度至八十度。該氏以 78.9% 之濕度及溫度，由零度至五度時，所發生之碳酸氣量為一，其試驗結果如下表。

表 五 五

濕 氣 溫 度	78.9%	64.1%	38.7%
0-5°C	1	1.1	1.2
17°C	1.9	1.8	2.7
35°C	7.6	7.9	7.7
50°C	2.7	2.8	2.8
65°C	2.0	2.1	2.1

由上二氏之試驗觀之，似不甚同。據武尼氏之試驗，其最適溫度在五十至六十度之間。科思台爾氏之試驗，其最適溫度在三十五度左右。此由於所試驗之分解物之種類及濕氣之多寡與分解菌之種類不同，故結果各異。

(3) 濕氣 細菌生育，須有相當濕氣，故濕氣之多寡，

亦頗關於有機物分解之緩速。有機物在完全乾燥時。決不能起分解作用。雖於風乾狀態，其分解亦難。徵之森林地中受日光直射之落葉堆，往往不行分解，或分解而不完全，此即濕氣不足之故也。因日光直射之處，其濕氣較不受日光直射者為稀少。故分解作用，不甚良好。於此可知濕氣與有機物分解之關係矣。雖然。濕氣過少，既礙分解作用之進行。過多，則有妨空氣之流通，反使分解作用遲緩。

(4) 酸類與鹽類 凡有機酸類均有妨有機物之分解作用，雖於極稀薄溶液中，效用亦著。據武尼氏之試驗，硝酸最強，硫酸次之，磷酸最弱。至於鹽基性之溶液，則可以促進有機物之分解，但鹽基性過強，亦足妨害云。

鹽類為微生物重要養分之一。換言之，即鹽類為促進微生物之發育者。據武尼氏試驗，謂以鹽液浸出之土壤，其發生碳酸氣之量。比原有者殆增四分之一或五分之一。又於含有鹽類最少之朽腐木材，加以智利硝石。其發生碳酸氣之量，較未加智利硝石者，多至二倍。他如磷酸鹽及硫酸鹽等等，亦稍能促進分解作用。而普通食鹽則有妨分解作用。

(5) 性質及成分 有機物之分解作用，因其性質之粗細軟硬及成分之不同，大有差異。譬如同為植物質，其淡素成分含量不同，則分解緩速各異。含淡素成分多之植物質，分

解較速。含淡素成分少之植物質，分解較緩。如禾穀類作物之莖葉富於纖維而少淡素，故分解緩。豆科作物之莖葉富於淡素而少纖維，故分解較速。至於有機物之性質，其細軟或粗硬不同，而分解亦異。如同一植物，其枝葉之分解恆較莖根之分解為易。又含淡素成分雖同，而性質不同時，其分解亦異。

又含酸質少者較含酸質多者分解為速，故往往有含淡素少之藁稈較含淡素多之林地落葉分解反速者。此以林地落葉多含單寧酸（又曰皮革酸）故也。總而言之，各種有機質肥料，其分解固各有不同，而動物質常比植物質分解為易，又植物質之新鮮者，恆較枯燥者分解為易。

四 腐植質

腐植質者，乃半分解之有機物也。有機物受微生物之作用，先分解為中間化合物，前已言之。此中間化合物。即為腐植質 (humus)。腐植質為黑色或褐色之物質。考腐植質之名稱，由腐植酸 (humic acid) 而來。在一八六〇年為德人穆德爾 (Mulder) 氏所發明。其化學成分頗不一定，比原來未分解之有機物更為複雜。且變化莫測，時時不同。故腐植質者，為有機化學中最不易研究之物也。從來許多化學家對於土壤中此種有機化合物之研究，均無一定之結果。穆德

爾氏對於土壤之有機化合物研究最早。嘗取土壤中之有機物分析。得數種之分析物。如(1)ulmic acid, (2)ulmin, (3)humic acid, (4)humin, (5)apocrenic acid, (6)crenic acid。

Ulmic acid 及 ulmin 係褐色物質，爲腐植質之主成分。當有機物分解時，先變褐色者即此種化合物生成之故也。humin 及 humic acid 爲黑色物質，由褐色腐植質 ulmin 及 ulmic acid 變爲黑色時，則生成 humin 及 humic acid。故爲黑色。humin 與 ulmin 二者，皆爲水及亞爾加里液所不能溶解。crenic acid 則無色。apocrenic acid 其色亦褐。ulmic acid, humic acid, crenic acid 及 apocrenic acid 四者，皆於亞爾加里液中可以溶解。crenic acid 及 apocrenic acid 二者於泥炭朽木及天然腐植質中，均有此等成分。此等成分酸化時，變成各種酸，後再爲礦物質。法蘭沙茲 (Franz Schalze) 氏常分離各酸，其法以泥炭加於苛性加里液中。久置之後，得透明液。此透明液加醋酸銅，變爲酸性。於是醋酸銅液 (CH_3COO) Cu (copper acetate)，即生褐色之 apocrenic acid 銅鹽。未及沉澱時，即濾過其濾液。以碳酸亞莫尼亞 $(\text{NH}_3)_4\text{CO}_3$ 中和之。再加少許醋酸銅，即得綠色 crenic acid 銅鹽之沉澱。以此二者化合物入水中，通過硫化輕後，其銅爲硫化銅，餘爲 crenic acid 之透明液。此液

通常無色，或稍帶黃色。於真空中蒸乾之，則得黃色無定形之酸性物，內含淡素。於水及酒精中能溶解之，置空氣中則變褐色。因其吸收空氣中養氣而成 apocrenic acid 也。又 crenic acid 與亞爾加里，養化鎂，亞養化鐵等化合，則生可溶解之鹽類。若與他鹽類化合，則遇水絕不溶解。

Detmer 氏以腐植質之成分對於亞爾加里分爲二種。一爲不溶解於亞爾加里液，而漸變爲腐植酸者。謂之腐植質物 humus substance。一爲溶解於亞爾加里液，加強酸而沉澱者。謂之腐植酸 humus acid。如是則 ulmin 及 humin 爲腐植質物。ulmic acid, crenic acid 及 apocrenic acid 等爲腐植酸。茲據分析此種化合物之原素。列舉於下。

表 五 六

種 類	C%	H%	O%	N%
ulmin(褐色泥炭中)	52.14	7.03	40.19	0.64
ulmin 及 ulmic acid(蔗糖中)	67.1	4.2	28.7	—
hummin(黑色泥炭中)	55.33	6.31	37.45	1.01
hummin 及 humic acid(蔗糖中)	63.4—64.4	4.3	31—32.3	—
crenic acid(耕土中)	44—44.9	5.4—5.5	46.65	1.9—3.9
apocrenic acid(耕土中)	47.2—50.9	3.8—4.2	41.9—47.5	1.5—4.1

以上各原素之數量，各學者分析互有差異，不能視為準確，不過知其大概而已。又此等化合物之分子式，亦不一致。穆爾德與斯托克布立治 (Stockbridge) 二氏之研究，各有不同，如下表。

表 五 七

研究 者 化 合 物	穆爾德氏分子式	斯托克布立治氏分子式
humic acid	$C_{40}H_{24}O_{12}$	$C_{40}H_{24}O_{12} + 3H_2O$
humic acid	$C_{40}H_{30}O_{12}$	$C_{40}H_{24}O_{12} + 3H_2O$
ulmic acid	$C_{40}H_{26}O_{12}$	$C_{40}H_{28}O_{12} + H_2O$
ulmin	$C_{40}H_{28}O_{12}$	$C_{40}H_{28}O_{12} + H_2O$
crenic acid	$C_{24}H_{24}O_{16} + 3H_2O$	$C_{12}H_{12}O_8$
apocrenic acid	$C_{24}H_{12}O_{12} + H_2O$	$C_{24}H_{24}O_{12}$

腐植質之種類 腐植質因有機物之種類，生成之地方，及歷時之久暫種種情形不同，而腐植質之種類亦多。如廐肥腐植質，耕地腐植質，森林腐植質，泥炭腐植質，沼地腐植質種種。而所含之化學成分，各有差異。總而言之，可分含淡腐植質與不含淡腐植質兩種。

(一)含淡腐植質 含淡腐植質，乃腐植質中含有淡氣者也。含淡腐植質，其淡氣在腐植質中多為阿摩尼亞之化合物。

至含淡之多少，因各種土壤及氣候不能一定。有少至百分之二者，有多至百分之二二者。

(二)不含淡腐植質 不含淡腐植質，乃腐植質中不含淡氣而含礦質者也。(如石灰，磷，硫，鐵等等)此等不含淡腐植質，於農業上不如含淡者為重要。

土壤中腐植質之含量 土壤中腐植質之多寡，殊不一定。隨土壤有機物之多少，分解之狀況，并氣候及地方之情形而異。凡空氣不甚流通之地，生成特多，牧草地較耕種地為多。黏重土較輕鬆土為多。至有腐植質組織成分亦與此有關，茲將乾地與濕地之土壤所含腐植質之分量，列表於下。

表 五 八

	在土中之腐植質%	在腐植質中之淡氣%	在土壤中之淡氣%
41乾地土壤	.91	15.23	.135
15半乾燥地土壤	1.06	8.38	.099
24濕地土壤	4.58	4.23	.166

此表係希勒加爾德 (Hilgard) 氏在加利福尼亞之試驗。

由此表可知濕地土壤，其腐植質量及淡氣量均較乾地土壤為多。又土壤之深淺與腐植質及淡氣等量亦有關係。愈深者其含量愈少，可由下表知之。

表 五 九

深度	有機物之百分數		腐植質之百分數		淡氣之百分數	
	半乾土	濕土	半乾土	濕土	半乾土	濕土
第一呎	2.77	4.98	1.02	2.34	.138	.236
第二呎	1.38	3.02	.65	1.29	.082	.145
第三呎	1.09	1.38	.48	.55	.065	.083
第四呎	.79	.83	.34	.27	.046	.059
第五呎	.55	.45	.26	.23	.038	.043
第六呎	.45	.36	.26	.19	.030	.038

此表係阿爾韋(Alway)氏在內布拉斯加(Nebraska)地方之試驗。

五 有機物對於土壤之影響

有機物對於土壤之影響極為重要。茲從物理化學及微生物學三方面分別言之。

(1) 物理上之影響 土壤之有機物對於土壤物理性質頗關重要，分述於下。

(一) 有機物可使土壤之比重變小，緣有機物之比重較小，因此土壤有機物愈多，比重愈小。

(二) 有機物可使土壤個粒擴張，容積增大。此種作用，

以黏土爲尤甚。

(三)有有機物可使土壤鬆軟，此種作用，亦以黏土爲甚。

(四)有有機物可使砂土互相黏緊，因有機物富於黏着力及凝聚力，故可將砂土黏結。

(五)有有機物可使土壤多起團粒組織，因有機物乾度與濕度不同，其容積之變改甚大。或漲或縮，土壤因而細碎。

(六)有有機物可使植物根深入土中，因有機物能改良土壤組織，增加土中之空隙，植物之根易於伸張。

(七)有有機物可使土壤之溫度增加，因有機質多爲黑色，吸收熱力甚強。

(八)有有機物可使土壤之含水量增加，因有機物富於膠質，能增加土壤空隙，含水量自較有機質少之土壤爲大。

(九)有有機物可使土壤之耕鋤佳良，有機質多之土壤，耕鋤甚易。因有機物可以鬆軟土壤，改良其組織。

(2) 化學上之影響 有機物對於土壤化學上之影響亦頗重要，分述於下。

(一)有有機物可使土壤中之毒性減少，因有機物分解之時，發生養氣，可使他種有毒物養化。

(二)有有機物可增加土壤中之淡素，土壤中之有機物多，則淡素量亦多。

表 六 ○

	有機物%	淡素%
少	0— 3.0	.00— .10
中平	3.0— 6.0	.10— .25
多	6.0— 10.0	.25— .40
甚多	10.0 以上	.40 以上

(三)有機物可增加土中養料，有機物除本身為重要養料外，其分解時，能生出碳酸氣及有機酸類。可以增進土壤溶液之溶解力，而使土中之各種礦質，多變為有效養分。

(四)有機物可增進土壤之吸收力，因有機物為富於膠質之物，膠質物多，則吸收力強。

(3) 微生物學上之影響 有機物能直接改良土壤之理化學性，即為間接改良土壤微生物學性。因土壤之理化學性佳良，而微生物學性，亦必良好。自不待言，茲亦略分述之。

(一)有機物為微生物之重要養料，若土壤中有機物缺乏，則微生物之養料必起恐慌，微生物之發育自屬不良。

(二)有機物能促進微生物之發育，因土壤之物理性良好，則土中水分適宜，溫度恰當，通氣佳良，微生物之發育，必形繁茂。

以上所述，皆爲有機物對於土壤之優點。然苟處理失當，對於土壤亦屬有害。(一)養氣之供給不足，則分解不佳。多產生有毒之中間化合物，以妨害植物之生長。(二)阻礙微生物之發育。(三)可使土壤變爲酸性等等。

六 土壤有機物之增加及其改善

有機物對於土壤之重要，前已詳述。然苟處置失當，管理不宜，常有缺乏或不良之作用，故必須設法以增加及改善。茲分別述之。

(1) 增加 作物生長，消耗土中有機成分甚多，苟不謀土中有機質之增加，則土中有機成分，不無缺乏之虞，故欲土中有機物不形乏缺，不可不行增加，其增加之法，不外廣其供給之來源。考土壤有機物之來源甚多，茲擇其要者，略述於次。

(一) 綠肥 綠肥者，乃將成熟而未成熟之作物犁入土中以爲肥料者也。此種綠肥作物，多用豆科植物爲之。顧亦有禾穀類作物（如蕎麥燕麥等）及其他作物爲之者。但以豆科植物爲最多而最佳。以豆科植物能利用微生物之力，吸取空氣中遊離淡氣，以增土壤中淡素肥料故也。總之，凡用作綠肥之作物，不能生長甚老。於未成熟前，即當犁入土中。因作物在幼嫩時，腐敗既易，肥效亦大。老熟者，則不然。腐

敗既難，肥效亦少。惟愈老熟者，則犁入土中應愈深。

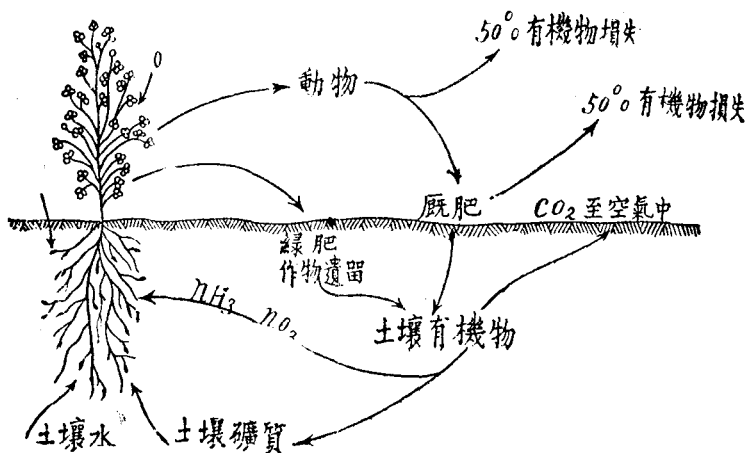
(二) 作物之遺留 作物收穫後，每遺留一部分於土中。蓋作物成熟時，其幼根多已腐敗。又如莖葉等往往殘留地上，作物生長所消耗土中有機質，於此亦不無小補。惟作物之莖葉等棄置田中，無傳染病蟲害者，宜犁入土中，切不可燒燬，以防有機質虛耗故也。

(三) 廐肥 廐肥者，乃牲畜之排泄物與藁稈混合之肥料也。含有機質頗多。通常牲畜所食之物，其有機質四分之三至四分之二為畜體所消失，而四分之一至四分之二復遺於排泄物中。此排泄物與褥草混合，則為最好之肥料。其褥草多以藁稈水藻落葉及泥炭土等為之。就中最佳者，為稻麥藁稈，蓋稻麥藁稈，不獨富於吸收排泄物之力，且能令排泄物分解遲緩，以減少養料之損失。大約廐肥一噸，含有機物四百磅至一千磅，液質八磅至十二磅。加里八磅至十五磅。燼質四磅至八磅。

(四) 以上數種，皆為土壤有機物增加之來源。但此外尚有泥炭土，豆餅，棉餅，牧草及其他含有機質肥料，亦均能增加土壤之有機質。

(2) 改善 土中有機質缺乏，固無所宜。然其量雖多，而呈不良之作用者，亦不可不設法改善。改善云者，乃改善

第 二 十 七 圖



土壤適當之情形，俾土壤有機物得發生相當之功效，而不發生毒性，為害作物者也。是知改良土壤情形，為改善土壤有機物之要端。倘土壤之情形不良，土壤有機物雖多，則分解不易，功效鮮少，且能為害作物之發育。是固不可不注意也。

(一)改善土壤之物理性質，如排水通氣之良好及團粒之造成，最為重要。

(二)勿使土中重要鹽基缺乏，苟土中之鹽基物缺乏時，則宜加以相當之石灰，以利微生物之工作。

(三)輪栽 輪栽不特可以減少土壤毒質之堆積，且能增進作物之生產，而加多其綠肥。惟最佳之輪栽，必須栽培一次

之豆科作物以增土中之淡素。因豆科作物之根有瘤(nodule)，瘤中有細菌，細菌能吸取空中游離淡素，變為阿摩尼亞。由阿摩尼亞變為亞硝酸鹽。如亞硝酸鈣 $[\text{Ca}(\text{NO}_2)_2]$ 是也。由亞硝酸鹽變硝酸鹽，如硝酸鈣是也。

七 土壤有機物之測定法

土壤有機物之測定，其法甚多，而完善者頗少。蓋有機物之組合，極形複雜，且變化甚易。故欲其測定毫無差異者甚難。其較為優美適用者，分述於下。

(一)灼熱法 (ignition method) 此法頗為簡單，將有機物燒去，而測定其損失之重量者也。其法先將坩鍋燒乾。秤定其重量。再加五公分之乾土於坩鍋內，燒紅，使有機質完全養化，俟其冷卻，再加碳酸銨 $[(\text{NH}_3)_4\text{CO}_4]$ 。燒至攝氏一百五十度，秤其重量。然後將第一次之重量，減去第二次之重量，其所得之差，則為有機質損失之量，即為有機質之量也。

例如 坩鍋之重量 = 10.42 gr.

土壤之重量 = 5 gr.

坩鍋 + 土壤重量 = 15.42 gr. (第一次重量)

15.42 gr. + 熱後之重量 = 14.6 gr. (第二次重量)

15.42 - 14.6 = .82 gr. 損失重量(即有機物重量)

此法若灼熱過高，則除有機質燒去外。他如土壤一定之化合物。如阿摩尼亞化合物，及少許鹽化加里，亦能燒去，故其結果恆較真有機質量為多。

(二) 鎢酸法 (chromic acid method) 此法為華爾富 (Wolff) 氏所倡。并經多數化學家之更改。其法將土壤標本施以硫酸 (無機酸) 及鎢酸 (有機酸) 少許，熱之使沸。其碳酸氣全數發出。并將此碳酸氣聚集於水酸化鉀液內稱之。於是復取他土壤標本，只加硫酸不用鎢酸，亦熱之及沸。使碳酸氣發出，而聚集於水酸鉀液內，稱定之。然後將加無機酸 (硫酸) 及有機酸 (鎢酸) 所發生之碳酸氣之總數，減去只加無機酸 (硫酸) 發生之碳酸氣之數。其所得之差，為有機酸 (鎢酸) 發生碳酸氣之數。〔 CO_2 (硫酸 + 鎢酸) - CO_2 (硫酸) = $x\text{CO}_2$ (有機酸發生之碳酸氣)〕 此有機酸發生之碳酸氣，再乘以 0.471 即為有機物之量數。或以炭素乘 0.724 亦可。惟用此法測定有機質量數，常較第一法為低。

(三) 燃燒法 (bomb combustion method) 此法用二公分之土壤，0.75 公分之鎂粉及十公分之過氧化鈉 Na_2O_2 ，使完全混合於測熱器瓶 (calorimeter bomb) 內熱之。使土壤之炭盡變為碳酸狀態，後再於瓶內加酸，則變為碳酸氣而發出。將碳酸氣收入器內，用標準溫度及標準氣壓測定

之。并將其中所含無機炭素除去，再依上法計算其碳酸氣，以0·四七一乘之，或以1·七二四乘其炭素，即得。

二三兩法。均藉養化劑之作用，使養氣與土壤中之炭化合物成爲碳酸氣而發出，以測定土壤有機物者也。

第十一章 土壤之膠質物

自然界所包含之物，多半爲膠質狀態而隱存。故僅以結晶化學(crystalloidal chemistry)之研究爲表現自然界之現象者，實有缺憾。近來許多科學家，深信大部自然界之現象，非用膠質化學(colloidal chemistry)之研究，難得圓滿之解決。土壤爲孕育萬物之母，當亦不在例外。而土壤膠質物，對於土壤之性質，極爲重要。

一 膠質物之特性

膠狀物(colloids)者何，係一物體(氣體液體或固體)在他一物體內分佈極爲細小。但尚未達分子(1分子 = $\frac{1}{1000}$ 之膠粒)狀態時之一種膠質物也。(溶液狀態係固體，液體或氣體分佈在液體內成分子狀態者)該膠狀物之膠粒(colloidal particle)之大小，隨其物質及其造成之情形而有差別。大約在膠質狀態時。其直徑爲 1μ 至 100μ 之差。在 1μ 以上者，則常下沉。在 100μ 以下者，則爲分子，成真正溶液。其關係可以下圖表之。

第 二 十 八 圖

普通混攪物 ordinary suspension	膠狀物 colloidal state	真正溶液 true solution
在此狀態膠粒頗大故 多下沉	在此狀態時一膠 粒合數個分子而 成故能浮於水中	在此狀態時一膠 粒由一分子而成 故成爲真正之溶 液

由此圖觀之，即可知膠質物既非混攪物時之物質，又非真正溶液時之物質，實乃混攪物與真正溶液中間之物也。故在混攪物與真正溶液之間之物質，即謂之膠質物。

膠質物之地位，居於混攪物與真正溶液之間，既如上述。而膠質一般之特性，亦有數端。

(一)膠質物非真正之溶液，其對於液體之冰點與氣壓無甚影響。(二)膠質物不能透過半透膜（如羊皮紙豬之膀胱均不能透過）。(三)膠質物熱之及加電解物可以凝結其他種膠質物。(四)膠質物之吸收力極強，不特有絕大之吸水力，其氣體及固體亦然。此種性質，對於土壤之肥瘠問題，極爲重要。

凡膠質物遇其他種電解物時，多能團結。此種團結現象，曰團結作用。例如置黏土於水中攪拌之，則見黏土浮於水中

若加輕養化鈣 $[Ca(OH)_2]$ 少許，則細微土粒，立成大粒，沉於瓶底，溶液立即澄清。此種作用，在土壤中亦復如是。惟進行遲緩，肉眼不能察及。其所以起此作用，頗難解說。蓋當膠質物受一種電流時。則由電離作用，膠粒遂分解而附於陽極或陰極。可知膠粒實能發出一種電氣。故施電解作用可以中和膠粒內所含之電氣，於是可促起膠粒之團結。

有數種膠質，可以團結他數種膠質者。如矽酸 (silicic acid) 可由水酸化鐵 (ferric hydrated) 團結之。但亦有一膠質物，可使其他膠質不團結者。此以該種膠粒，具有保護薄膜 (protective film)。不易與他種膠粒相凝結，如加純膠 (gelatin) 於黏質混攪液是也。

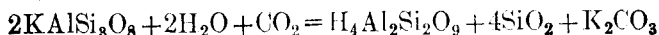
二 土壤膠質物之種類及其發生

土壤中之膠質物，約分兩類。(一)係膠狀有黏性而可回復者。(二)非膠狀無黏性而不可回復者。土壤有機物之腐敗，礦物之分解，均能發生此二種膠質物。由有機物腐敗而發生者，謂之有機膠質物。由礦物分解而發生者，謂之無機膠質物。

有機膠質物 有機膠質物，又曰腐植膠質物。由有機物腐敗而成，較無機膠質物為重要。此種膠質，極為複雜，變化頗多，研究甚難。此種研究，尚為幼稚，其種類亦繁。如

純膠，洋菜，蛋白，炒糖，澱粉，腐植質，數種細菌，黑炭及單寧酸等等是也。又有機膠質物可分有黏性與無黏性兩種。其吸收氣體液體及固體（如鉀鎂鈉等）之力，均較無機膠質物為強。

無機膠質物 土壤中無機膠質物，由礦物分解而成，除矽酸及水酸化鐵而外，其餘大多化合複雜。此種研究，較有機膠質物之研究為多，若在黏質土壤，則水化矽酸鋁(hydrated aluminium silicate ($H_4Al_2Si_2O_9$))含量亦富。茲舉一例，以明其概。當長石受水及碳酸氣之作用時，即能生成。其變化如下。



長 石

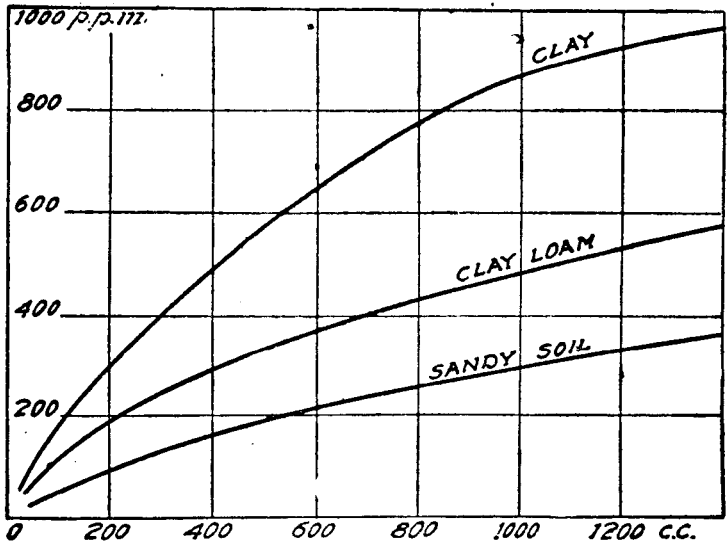
水化矽酸鋁

三 膠質物對於土壤之影響

膠質物對於土壤之影響甚大。土壤之一切性質，如物理性，化學性，及微生物性種種，土壤中膠質物皆可以左右之。茲將其對於土壤重要之點，列述於下。

(1) 增加土壤之吸收力 膠質物具強大之吸收力，可以吸收任何狀態之物質。故膠質物多之土壤，非特保水力獨強而氣體及其固體質之吸收亦多(如圖)。是以土壤吸收力之大小，恆以此為標準焉。

第 二 十 九 圖



曲線爲表示在磷酸—石灰之溶液中，各種土壤百萬分中磷酸之吸收量。

由上圖觀之，知各種土壤吸收磷酸之力不同，於此即可知膠質物對於土壤吸收力之影響矣。黏土膠質最多。吸收之力最強，黏質壤土次之，砂土膠質物最少，故吸收之力亦最弱。

又土壤之選擇吸收，亦多賴膠質物之作用。蓋膠質物有選擇物質而行吸收之功能，喜吸收鹽基性物，而不喜吸收酸性物。故土壤中鹽基物之吸收恆較酸性物爲多。如施用硫酸銨 $[(NH_4)_2SO_4]$ 於土中時，則土壤多吸收銨分，以應植

物之生長。而將其酸根遺於土中。

(2) 觸媒作用 土壤中之化學變化，時時進行，毫無間斷。不過因自然接觸之故，反應速度甚緩。若觸媒加多，速度乃增。膠質物者，乃促進土壤反應速度之觸媒物也。如取養氣時加二養化錳 (MnO_2)。則反應速度增加，膠質物之於土壤。亦類此耳。

(3) 對於空氣與水分流動之關係 土壤中空氣及水分之流動，與膠質頗有關係。土粒細，空隙小之土壤，其膠質物之生成，足以阻礙空氣微管水之流動。惟土粒較粗，空隙較大之土壤則否。

(4) 增加土壤之凝集力及黏着力 膠質物具有凝黏性質。自不待言。故土壤之膠質物多，對於土壤之凝集力及黏着力自形增加。而以第一類膠質物(有機膠質物)之影響尤大。因此故有使土壤土粒結合之作用。惟此作用，因土壤之種類不同，其影響亦異。砂土與黏土適為相反。砂土質輕而疏，因膠質凝黏之力，可凝合各單粒土粒，而成佳良之團粒組織，俾土中之養分，難於流失，而適於植物之生長。黏土則質重而密，不特無益，而且有害。以土壤之凝黏力過大，乾則成塊，濕則黏重，理化學性反致惡劣。故祇宜加入砂土，以資調劑也。

四 土壤膠質物之測定

土壤中之膠質物，種類甚多，且極複雜，易感變化。故其準確之測定，頗屬難能。其測定之法雖多，然均能知其大概而已。茲舉數種分述於下。

(1) 水浸分離法 史羅辛氏(Schloesing) 希勒加德氏威廉氏(Williams)及邵賀氏(Sahol) 諸學者之測定土壤膠質物，大都為水浸分離測定法。其法將土壤放入水中攪拌之，使其膠質分出。惟水之浸出膠質，固屬可能，但實非易易。即以多量之水，經長時間之浸漬，其分泌膠質之量，仍極稀少。若此，則測定土壤膠質之量，固甚難矣。

(2) 吸收測定 阿士力(Ashley)及密折力喜(Mitcherlich)兩氏之測定土壤膠質法，均本土壤吸收之理以行。阿士力氏則用綠色染料，密折力喜氏則用水汽，本土壤吸收力之強弱，以定膠質物之數量。但各種土壤，所含膠質之種類均有不同，其對於色素之吸收率，頗不一致。其定量亦自不確，阿士力法則更甚。

(3) 凝縮法 鄧迫離氏(Tenpany)則根據土壤乾燥時之凝縮率，以測定膠質物之量。惟各膠質膨脹係數，頗不相同，有機膠質物與無機膠質物相差更多，亦非準確之法也。

以上所述各種方法，均為大概之測定。其較為準確者，

則為美國農部土壤司最近所用之方法也。

(4) 濕熱測定法 此法為美國農部土壤司最近所用之新法。在一九二四年美國密執安 (Michigan) 地方農事試驗場波揚阿思氏(G. Bonyancos)，經數年之研究，知膠質浸濕後，則發生熱量。非膠質物者則否。氏名此熱曰濕熱。(heat of wetting) 並由試驗而知膠質物提出土中後，其濕熱亦大減。此由於土壤本身亦挾有膠質分子之故。藉膠質濕熱之特性，以為測定之標準，其時間與標準均較以上各法為優良。

其法先將測定每公分土壤平均之濕熱。次取定量之膠質。再測定每公分膠質之平均濕熱。依下式計算即得。

$$\frac{\text{每公分土壤之濕熱(加路里)}}{\text{每公分膠質之濕熱(加路里)}} \times 100 = \text{土壤膠質量}$$

先取約五十公分之風乾土壤，(膠質十五公分即可)置入試管，放於電爐烘二十四小時。溫度約在攝氏一〇七度。取出時，用橡皮栓塞緊。冷至常溫，秤其重量，然後將土壤(或膠質)急傾入鹽水 100 cc 之測熱器中，測定濕熱之數量。此時最宜注意者，當土壤與水混合時，其溫度須與前溫度一致，且須與室內溫度相近。為妥善計，當混合時，土壤管子外面，可包一厚絨布，以免受外界溫度之影響。

膠質浸出之手續，以土壤五十公分浸於一公升之水中，經二十四小時後，吸取浮於面上之液體，置於一器中，將土

另傾於一大盆內，用手搓捏，以促膠質物之分離。然後放土壤於原器，再加原容積之水爲止，亦經二十四小時後，仍照上法行至五次乃可。其所集儲吸取之液體，置於離心器內搖之。其搖轉之速度，爲每分鐘一五〇〇次。經二十分鐘，所得膠狀物再加熱（55°C）蒸發之，卽爲真正之膠質。依前法測定其濕熱可也。

第十二章 土壤之溫度

植物之生長，必須有適當之溫熱，此盡人皆知也。故植物生育繁茂與否及生產物之豐歉，與溫度有密切關係。考植物所接受之溫熱有二。(一)得自空氣，(二)得自土壤。前者乃因氣候所發生之溫度，非人力所能支配。後者雖亦受氣候之影響，然苟將土壤處置適當，亦可增加溫度，以供植物之需用。

一 土壤溫熱之重要

普通植物在華氏表四十度以下，則不能生長，種子尤難發芽。故土壤中溫度低，植物生長不得繁盛，種子發芽不得迅速。在土壤溫度太低時，植物固不能生長，即使能生長，必為微生物所侵害。蓋溫度低時，微生物能繁殖旺盛，而傷害已播下之種子及植物根部，遂致植物死滅。由此觀之，植物之生長，必賴有較高溫度。且土壤中一切化學之變化，如有機物之腐朽及分解，阿摩尼亞之發酵，硝化作用之暢旺，養分之分解，微生物之發育，及根瘤菌之固定遊離氮素等等，

均非有相當溫熱，不克奏其效能。

土壤溫熱與植物生長之關係

植物發芽及生長，必需相當溫熱，已如上述。但所需溫熱，有一定之界限。在此一定界限內，溫度愈高，則植物發芽率愈強，生長愈速。反之，則發芽弱而生長緩，此實最易察見者也。植物之種類及性質各不相同。所需溫度，亦各有差異。今據德國學者哈德蘭 (Huberlandt) 氏試驗各種作物發芽及生長所需溫度之結果，列表如下。

表 六 一

作物發芽之溫度

作物	最低溫度	適中溫度	最高溫度
玉蜀黍	49	93	115
小麥	41	84	108
大麥	41	84	99
南瓜	52	93	115

表 六 二

作物生長之溫度

作物	最低溫度	適中溫度	最高溫度
小麥	32-40	77-88	88-98

大 麥	32-40	77-88	88-98
玉蜀黍	40-51	88-98	98-111
豌 豆	32-40	77-88	88-98
蕎 麥	32-40	77-88	98-111
瓜	60-65	88-98	111-122
南 瓜	51-60	98-111	111-122

按此表觀之，作物發芽及生長所需溫度，可分為三級。

(一)在溫度較低者如麥類，(二)在溫度較高者如玉蜀黍類。

(三)在適中之溫度者如瓜類。

土壤溫熱影響於土壤理化學上之變化

土壤溫度無論若何高低，而化學作用常能發生。若土壤溫度太高時，亦能使其作用停止。但在一定限度以內，溫度愈高時，則化學作用變化愈速。如土壤中水化作用，酸化作用，碳酸作用，及溶液作用等，均須有適當高溫，始能發生化學變化。

至若土壤中物理變化，亦須賴有較高溫度。如滲透作用，蒸發作用，微管水之流動，氣體蒸發及鹽類溶液之傳導，根之滲透作用，土面之引力及水氣之漲力等等，均視土壤之高低而定其變化之速緩。又如土中水分之結冰及融化所生長之

團粒結構及通氣作用，與土溫關係尤為密切。

二 土壤溫熱之來源

土壤溫熱之來源有五，(一)太陽。(二)星球。(三)地心熱。(四)土中有機物之分解。(五)溫潤熱。此五者之中，以太陽之熱力為主要。其餘四種熱力，雖亦能增高土溫，影響植物生育，但土壤得之甚微，並不能發生若何效能。即使此等熱力缺乏，或因他種原因不能發生，對於土壤及植物亦無甚妨礙。要之土壤熱力之來源，實可云僅太陽一種。其他熱力，不過略能輔助太陽熱力之不足耳。

(1) 太陽熱 太陽熱乃土壤熱力之最要者，對於土壤有直接及間接兩種作用。

(a) 直接作用 直接作用，謂太陽光線直射至地面者。太陽之光線直接射及地面，土壤吸收其熱力，土溫逐漸增高，此為土壤直接吸收太陽熱也。

(b) 間接作用 間接作用，謂太陽光線由空氣中傳遞而至地面者。熱力雖由太陽而來，但未必盡直射地面，須經過空氣傳導而後至於土壤，此太陽熱間接而入於土壤也。土壤所吸收熱力亦薄。

(2) 星球 星球所生之熱力頗弱，土壤得之亦微，但有時亦能增高土溫。

(3) 地心熱 地心熱者，由地球內部所發生之熱力也。近火山及溫泉等地，地心發生熱力甚強。但影響土溫亦不甚大。據和(Haw)氏曾證明一年地心熱之總量，僅可溶解七·四四公釐之冰塊，可知地心熱對土溫影響亦微。

(4) 有機物之分解 土壤中有有機物分解時，亦能發生熱力。若土壤中有有機物含量多而分解旺盛時，則熱力放出多。故有機物分解，亦為土壤熱力來源之一。如用馬糞以作溫牀肥料，其一例也。然土壤中有有機物含量少或分解不甚發達時，其所發生之熱力薄弱，影響土溫亦甚微，據喬治遜(Georgeson)氏試驗報告，謂日本地方每英畝施厩肥八噸。二十日後，較未施肥者，增高華氏三四度。又瓦格勒(Wagner)氏謂每英畝施厩肥二十噸，平均可增高華氏表一度。

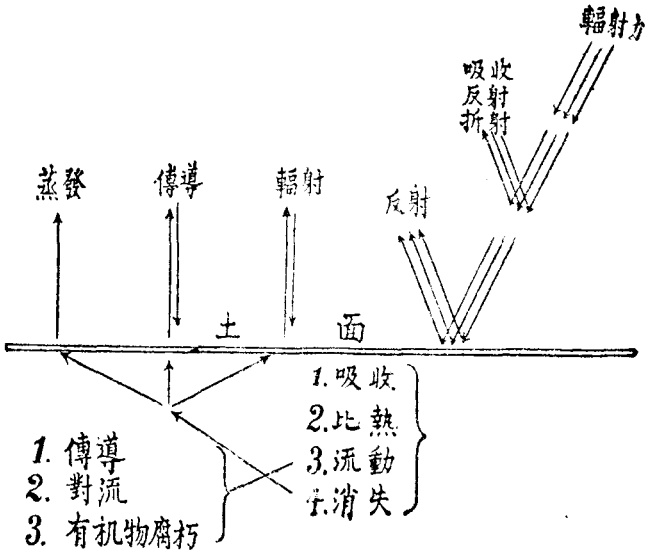
(5) 濕潤熱 濕潤熱者，在乾燥土地受水分潤濕後所發生之熱力也。當土壤中水分極少時，一遇水濕，即發生此熱。但熱力殊弱，且不常有。對於土溫影響尤少。

三 土壤之吸收熱力

土壤有吸收作用，能吸收各種熱力。凡熱力傳及於土壤，由土壤吸收以增高土溫，在太陽射及之地面，於二十英寸厚之土壤，一小時內能增高土溫華氏二十度。此種情形，僅於夏季太陽熱力最強時常有之。若在太陽熱力微弱時，土壤所

吸收熱量亦少。由此可見太陽熱力強，則土壤所吸收熱量多，太陽熱力弱，則土壤所吸收熱量少。

第 三 十 圖



土壤吸收熱量之多寡，固視乎外界所傳來熱力之強弱。但與其關係最大者，仍在土壤本身之性質。如土壤之結構，組織，色澤，及土面方向等，均關重要。而最後二者，尤為密切。茲分別述之。

(1) 色澤 依反射之學理，黑色者反光弱，吸收熱量多。

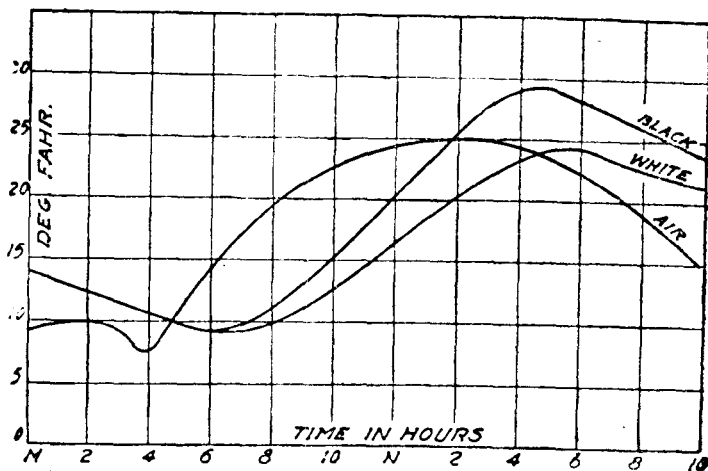
白色者反光強，吸收熱量少。此物理學上之定理，土壤亦然。色澤較深者，則反射力弱，所吸收熱量多。色澤較淺者，則反射力強，所吸收熱量少。換言之，土壤之吸收熱量，隨色之濃度而異。富於腐植質之土壤，其色黑暗，故吸收熱量特多。據美人波揚阿思氏於秋季晴和之日，將石英砂土染成各種色澤，以試驗吸收熱量多寡，而考察土溫。其所得結果，列表於后。

表 六 三

土 壤	溫度 c
黑	37.6
藍	36.7
紅	35.9
綠	34.7
黃	32.6
白	31.7

又據武尼氏之研究，將土壤染成各色，至四英寸之深，以察土溫，并與空中溫度比較，所得結果如下圖所示。

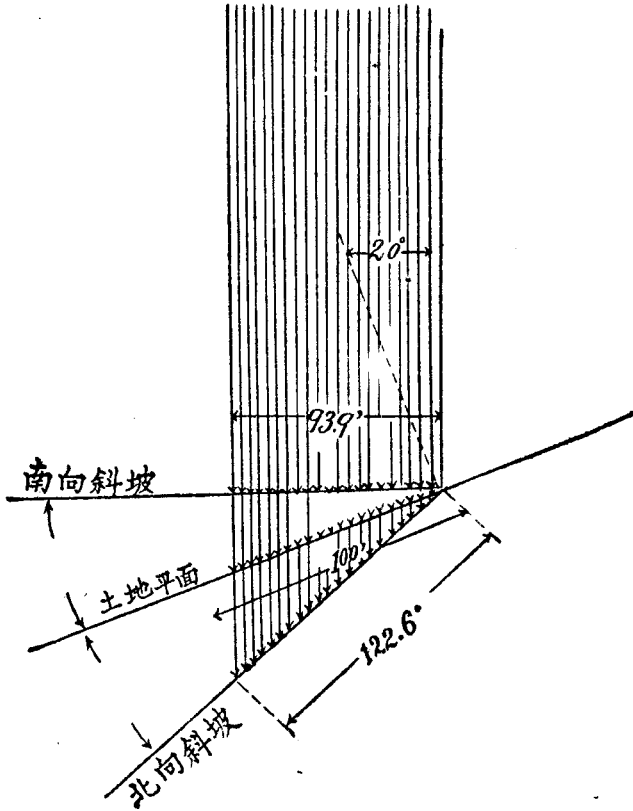
第三十一圖



(2) 土面之傾斜及方向 土壤表面與太陽射線間所成之度，對於熱之吸收大有影響。如土面之傾斜度對於太陽射線成直角，則吸收熱量必多。即土面之傾斜度與太陽射線所成之直角愈近，則吸收熱量愈多。且可增加平均季溫(Seasonal temperature)。如圖所示，南向斜坡與太陽射線確成直角，故土壤所吸收熱量當多。其土地平面及北向斜坡與射線所成直角太大，(已如鈍角)所吸收熱量當少。故土地之傾斜，宜南向，東南向，及西南向。不宜東向及西向。更不宜東北向，

第 三 十 二 圖

太陽射線



及西北向。據金氏之試驗，其所得結果，列表於下。

表 六 四

	一英尺深	二英尺深	三英尺深
十八度南向之斜坡	70.3°	68.1°	66.4°
土地平面	67.2°	65.4°	63.6°
相差數	3.1°	2.7°	2.8°

坡之傾斜度不宜太大，上已言之。（土面宜與太陽射線成直角）傾斜之度，以二十度為最適。又據武尼氏之研究，謂南向斜坡，亦以氣候不同，而土壤所吸收熱力亦有差異。例如東南向之斜坡，土溫以在春季為最高。南向之斜坡，夏季最高。西南向之斜坡，秋季最高。

四 土壤之比熱

比熱者。乃一物體之熱量與水之熱量相比較之謂也。此種比率，為一物質所需之熱量，用以增高攝氏表一度，及同量水所需之熱量兩相比較之率也。換言之，為熱一定量物質，增高攝氏一度所需之熱量。與同量之水增加攝氏一度（由十五度至十六度）所需熱量之比。

表 六 五
各種土壤之比熱

Lang 氏	Bonyocos 氏	Patten 氏
粗砂土 .198	砂土 .193	砂土 .185
石灰土 .249	礫土 .204	砂質壤土 .183
腐植土 .257	黏土 .206	土 .191
.276	壤土 .215	壤土 .194
泥炭土 .477	泥炭土 .252	黏土 .210

表 六 六
土壤比熱之容量

土 壤	容 量	比 熱 量
砂 土	1.52	.2901
黏 土	1.01	.2333
有 機 物	.37	.1639

土壤比熱之高低，常受土壤中有機物，結構，及水分之影響而異。有機物能使土質輕鬆及低減土壤之容積重量，故富於有機物質之土壤，則熱量必低。熱量低，則土壤比熱亦低。土壤結構愈細，則比熱愈低。(砂土之比熱較黏土高)水

分對於土壤比熱更爲緊要。水之比熱爲一，較土壤高。若土壤中含水分多，則比熱增。乾燥土壤，含水分少，故比熱低。至若空氣對於土壤比熱影響極微。

表 六 七

水分對於土壤比熱量之影響

	乾土	10%水分	20%水分	40%水分	60%水分	80%水分	100%水分
砂 土	.291	.330	.368	.444	.520	.597	.675
黏 土	.233	.294	.355	.478	.600	.723	.845
有機質	.164	.242	.320	.476	.632	.788	.945

五 土壤熱之傳播

土壤中之熱常能流動，其所以能流動者，乃因熱有傳導對流作用及土壤中腐植質之發酵所致也。茲分述於次。

(1) 傳導 傳導者，乃熱力由分子互相遞傳於各物體之謂也。固體物質之傳熱較易於液體，而液體物又較易於氣體。若土壤含礦物質多，則易於傳熱。土面下之溫度，大部分由於熱之傳導作用而來，其他則爲地心熱及有機物腐朽等所發生。

土壤之結構，組織，有機物，及水分均能影響於熱之傳導。蓋土壤結構愈細，則熱之傳導力愈弱，故砂土最易於傳熱。土壤中有機物多，熱之傳導亦弱。如土質愈緊，土粒接

觸愈近，則熱之傳導愈速。故土壤經過耕鋤後，能阻止熱之下降。土壤中水分愈多，熱之傳導力愈強。因空氣為不易傳熱之物體，由土壤中之熱傳導於空氣較傳導於水分為難。（約有一百五十倍之多）苟土壤中水分愈多，空氣愈少，則傳熱愈易。總之心土緊結，水分含量多，則傳熱自易也。

(2) 對流 對流者，液體或氣體受熱之一部分上升，受冷之一部分下降之謂也。熱之傳播方向，常向側面或逕上升，從未有下降者。但對流熱之作用，能將土面之熱傳至地下。空氣傳熱雖最難，然能為土壤對流之媒介。熱之下降亦由於水之滲透作用，而傳至地下者，此乃真實對流之能力也。

六 土壤溫熱之消失

土壤熱之放散，起於土溫比氣溫高時。若土溫比氣溫愈高，則熱之消失愈多，熱之傳導輻射及蒸發作用，均有消失土溫之能力。傳導作用前節已論及之。茲述輻射及蒸發於次。

輻射 輻射者，太陽光線射及於地面，由土壤所吸收之熱力，復放散於空氣中。空氣因此得吸收熱力，而土壤中遂失去一部分之熱也。太陽之輻射，經過空氣中所損失之熱力頗少，因光波長故也。但從土壤上之輻射，光波短，所損失之熱力多。土壤結構，組織，水分，及色澤，與輻射作用微有影響。水分之放射熱量比土壤更多，故土壤中水分愈多，熱

之放射愈增。如土面上蓋以護蔽物，(藁稈及糞渣等)可以防止熱之放射。又栽植作物之土，地熱之放散亦不易。

蒸發 水分蒸發作用，必需消費熱力。土壤中水分蒸發，則熱力減少。熱力減少，土溫變低。一磅水之蒸發，在華氏五十度時，須用二六七·九尅加路里。可使一立方之飽和黏土，降至華氏二十度。故土壤中水分蒸發，常令土溫降低甚速。潮濕地之土壤，溫度所以低降者，一方面受蒸發作用，一方面受比熱之增。苟土壤所含水分愈多，受熱力愈大，則蒸發力愈強，而愈速。蒸發力愈強而速，則所失熱量愈多，而土溫愈易變低。據金氏之試驗，謂在夏季已排水之土壤，較諸未排水者，其溫度約增華氏 2.5 度至 12.5 度。英人帕克 (Parks) 氏之試驗，所得結果，與此相仿。是知排水可以保存土溫，因排水之土壤，水分減少，蒸發不旺故也。

土壤之組織，結構，及有機質等，與蒸發作用大有關係，已於前章詳述之矣。

七 土壤溫熱之調節

土壤之水分與土溫影響極大，故防止土壤熱之消失，最主要者，厥為排水。他如耕鋤施用有機質肥料及少量石灰，亦可節制土壤中水分。蓋如此可使蒸發減少，比熱減低，傳導熱力較強。至若土面上以護蔽物等遮蓋，既可免土中水分

蒸發，又能阻止土壤熱之輻射。故凡以護蔽物庇覆土面者，在寒冷氣候，能使土溫增高，至炎暑時，又能使土溫減低。但在礫土或砂土則反是，蓋砂土與礫土之吸收及傳導熱力較多故也。至於多施腐植質可以增加土溫，已於前節言之。總之防制土溫消失之法，要在使土壤吸收熱量多，易於傳導及對流，而阻遏其蒸發及輻射也。

八 土壤溫熱之變化

土壤溫度之高低，既以吸收力之強弱及消失之多寡為轉移，又常受氣候之影響而變遷。氣候溫暖，土溫高，氣候寒冷，土溫低。故在一季一月或一日中，皆隨外界溫度而變化。但土壤之上下層次不同，所感受外界氣溫之變遷不一，溫度亦有差異。表土感受外界氣溫變遷最易，心土則影響甚微。故春夏兩季，氣溫高時，表土溫度比心土高，至秋冬兩季，氣溫低時，則心土溫度較表土高，此皆以氣候之不同，而土溫所以有變化也。

第十三章 土壤之空氣

土壤乃多微隙之物體也。除去固體物佔有半數外，所有之空隙，即為氣體與液體所充塞。普通耕作之土壤，所含空氣容量約居百分之二十至二十五。其存在土壤中，能互相流通。若土質愈鬆，空隙愈多，流通亦愈易，故常得直接與植物根部及土中微生物相接觸。或僅隔一水膜，或一膠質物耳。

一 土壤中氣體之成分

土壤之氣體，常無一定之成分，與空氣中氣體略異。大概土壤中氣體，其炭氣較空氣中多。養氣較空氣中稍少。他如水蒸氣，阿摩尼亞，輕氣，硫化水素，沼氣（炭化水素）等等，含量亦較空氣中多。至於淡氣成分與空氣中相似。茲將英美德三國測驗土壤中空氣平均成分，所得結果列表於下。

表 六 八

百 分 數		
CO ₂	O ₂	N ₂

德 國	.20	20.60	79.20
美 國	.20	20.40	79.40
英 國	.25	20.65	79.20
空氣中	.03	20.97	79.00

土壤氣體之成分既有不同。而其真實不同之原因，乃以土壤之結構，組織，土壤之位置，含水量之多寡，溫度之高低，及有機物分解之狀態等等而異。此外如土壤中氣體與空氣中氣體之交換作用，土面護蔽物之有無，及護蔽物之種類亦不能無影響焉。茲將巴辛格(Boussingault)及留伊(Lewy)兩氏試驗各種土壤氣體所得結果，列表於下。

表 六 九

百分數之容量

土 壤	CO ₂	O ₂	N ₂
林地砂質心土	.24	—	—
林地壤質心土	.79	19.66	79.55
林地表土	.87	19.61	79.52
黏土	.66	19.99	79.35
施肥一年後土壤	.74	19.02	80.24

施肥後土壤	1.54	18.80	79.66
綠肥沃土	3.64	16.45	79.91

二 土壤中炭氣及其功用

土壤中空氣有兩種狀態，(一)即普通之空氣。(二)由土壤中水分所吸收者。前者富於養氣，後者富於二養化炭氣。因二養化炭氣易溶解於水故也。

土壤中炭氣之來源 土壤中炭氣之來源，有四。

(一)由空氣中侵入或雨水所帶下而透入土中者。

(二)由於化學作用而來者。土壤能吸收碳酸石灰及過碳酸石灰而放出炭氣，故土壤中多施石灰，能增加土中炭氣。

(三)由於生物作用而來者，土壤中細菌之生育，須吸收養氣，而釋放炭氣。又植物之生長，根部亦放出炭氣。其生長愈盛，則根部放出炭氣愈多。而土壤中炭氣之含量亦愈夥。據斯德哥拉薩(Stocklasa)氏之研究，謂在一英畝四英尺深之土壤中，微生物能於一年中有二百日每日放出炭氣六十五磅至七十磅。若燕麥及小麥在生長期間，根部所放出之炭氣，較此數更多。

(四)由於有機物分解而來者。土壤中有機物分解時，亦有炭氣放出。

土壤中二養化炭氣容量之多寡，常受以下五種要素之影響。

(一)石灰及肥料 施石灰或肥料於土壤中，能增加容量。

(二)氣壓 氣壓愈高，二養化炭氣侵入土壤中愈多。

(三)溫度 溫度高，二養化炭氣易消失。但溫度高，土壤中微生物易繁殖。微生物繁殖盛，則釋放二養化炭氣多。又能促進有機物分解，而增加二養化炭氣含量。

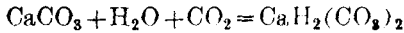
(四)雨水 雨水透入土中雖能增加二養化炭氣。苟土中水分太多，溼度過高，則溫度必低。溫度低，能阻止生物作用，故二養化炭氣容量少。

(五)有機物 土中有機物含量過多，則二養化炭氣容量少。蓋二養化炭氣積蓄多，能阻止有機物分解故也。

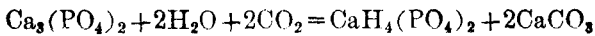
又二養化炭氣入地愈深，其容量愈增。因土壤上層中之二養化炭氣常與土面上空氣行交換作用，是以稀薄。故耕作之土壤，二養化炭氣之容量反較休閒地為少。同一土壤，因其位置及時季等不同，而二養化炭氣之容量亦不相似。如夏秋之季，常較寒冷時為多。

二養化炭氣有液解作用，為其存在土壤中最顯著之功效。土中礦物質，二養化炭氣能液解之而為植物養料。土中若有弱酸性物質，二養化炭氣亦能消溶之。故凡土中一切之養料

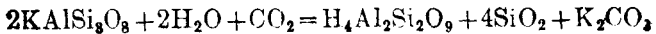
與二養化炭氣均有直接或間接作用焉。例如碳酸鈣，磷酸三石灰及正長石，本為不易溶解之物。若與二養化炭接合，即變為植物養料，其變化之方程式列下。



碳酸鈣



磷酸三石灰



正長石

據斯德哥拉薩氏之研究，發現各種土壤排水中之磷酸與二養化炭之產生，大有關係。以磷酸鹽類在含二養化炭之水中，較易溶解故也。其試驗所得結果。如下表所示。

表 七 ○

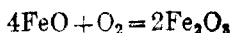
土 壤	排水中之磷酸 每一英畝磅數	二養化炭之產生
		二十四小時內每磅土壤之 千分格蘭姆
壤土	4.6	11
黏土	3.1	7
石灰土	5.1	16
有機質土	7.4	25

三 土壤中之養氣及其重要

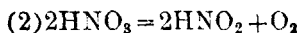
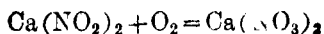
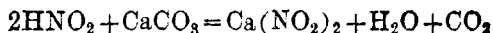
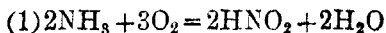
土壤中養氣對於土壤之生產力甚為重要。土壤中養化作用之發生，能影響土壤中養氣之含量。蓋土壤中發生養化作用，則養氣之含量減少。考土壤養化作用有二。(一)化學之反應。有數種礦物之分解須經過養化作用，而以含鐵質者為尤甚。苟土壤潮溼，水分較多，則其養化作用之發生更盛。例如橄欖石分解時，須吸取水分，而後分解生成亞養化鐵。其變化方程式如下。

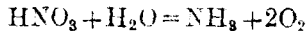
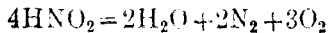


若亞養化鐵經過養化作用。則生成第二養化鐵，其變化方程式如下。



如此變化，則土壤中養氣減少。(二)生物化學之變化。土壤中發生硝化作用(硫化作用)，須吸取養氣。致使土壤中養氣減少。倘發生硝酸還元作用，則放出養氣，可使土中養氣增多，其變化方程式如下。





土壤中所含有之氣體，以養氣為最重要。倘土壤中無養氣存在，則風化作用，不能發生。礦物質不易破碎，溶液不得產出。故土壤中養化作用發生愈好，則化學與生物的變化愈佳。有機物之分解，須有養氣為之養化。而後產生二養化炭以溶解礦物質，所餘之淡氣及灰分為植物所用。至植物種子之發芽及根之呼吸，亦必須有養氣。土壤中養氣含量多，則種子發芽及根部生長迅速。

四 土壤之容氣量

土壤容氣量之大小，由各種土壤理化性質之不同及時代之變遷而有差異。茲有數種要素，能影響其容量焉。(一)土壤結構精細。(二)組織疏鬆。(三)有機物含量多，則土壤中空隙多。空隙多，則容氣量大，否則反是。又(四)土壤中水分過多，則容氣量減小。因空隙為水分所充塞故也。他如(五)耕鋤之地及(六)低溫之土壤，容氣量亦增。其計算土壤中氣隙法，可依下列方程式求之。

$$\% \text{氣隙} = \% \text{空氣} - (\% \text{水分} \times \text{容積量})$$

$$\text{air space} \quad \text{pore space} \quad \text{H}_2\text{O} \quad \text{vol. wt.}$$

例如有有一種土壤有空隙百分之五十容積量一·五含水分

百分之三十按方程式計算則得氣隙爲百分之十一。

$$50\% - (30\% \times 1.5) = 11\%$$

五 土壤中空氣之流動及交換

空氣在土壤中，常流動不息。且與土外之空氣行交換作用。此交換作用，常將二養化炭氣及水氣排出，使新鮮空氣侵入。如是土壤中所必需之養氣，始克不斷其供給。此種作用，與生物呼吸作用，頗相類似。故亦可認爲土壤呼吸作用。生物不呼吸則死，土壤亦然。蓋土壤空氣不流動與交換。則土中氣體之成分及平衡，不能調節。其所以能流動交換者，原因約有數端。

(一)土壤水分量之變化 土壤空隙若爲水分所充塞，則氣隙少。氣隙少，流動作用亦少。雨水下降，則空氣被迫自排水道排去。微管水上升，無論其原因爲蒸發，植物根之作用或一種普通外力等，均足引起土中空氣之流動。

(二)溫度之變化 溫度變化，可使土壤空氣膨脹或收縮。空氣膨脹與收縮，則必須流動。若在高溫時。則土壤空氣流動迅速。

(三)氣體之擴散 氣體擴散極緩，但不間斷。對於空氣流動及交換亦稍有影響。

(四)氣壓之變動 氣壓低，則土中氣體膨脹，易流出土

外。反之，氣壓高則土外空氣流入土內。而交換作用以起。

六 土壤通氣性之改進

土壤空氣須常流通，已如上述。土壤通氣良好，則植物生長始得繁茂，土壤生產力方能增高。其改進之法有五。

(一)耕鋤。(二)肥料。(三)排水。(四)灌溉。(五)栽植。

(1) 耕鋤 耕鋤者，乃疏鬆土壤者也。土壤疏鬆，土中空隙必增多。空隙增多，則空氣易於流通。凡土壤組織密或土質緊壓者，宜常耕鋤以通空氣。

(2) 肥料 施畜肥或少量石灰，可使土壤組織疏鬆，通氣良好。

(3) 排水 土中水分多，則氣隙少。排水則能減少土中水分。水分減少，則氣隙增加。而通氣得以佳良。

(4) 灌溉 灌溉可改進土中空氣與土外空氣之交換。蓋土中水分增加，則空氣須排出。一旦水分為土壤吸收，則土外空氣得以透入。

(5) 栽植 植物根部生長於土中，須吸收水分，土中水分因以減少，空氣得隨時侵入。在植物成熟後，如將植物拔去，則土面上必留有一穴，空氣可由此穿入。又植物成熟後，有僅刈去其莖者，而遺其根於土中，日久根腐朽，土中孔隙必增，空氣亦多。

第十四章 土壤之溶液

一 土壤溶液之要義

土壤溶液者，乃土中之水與諸種無機及有機物質混合而成之液體物也。植物賴此以作養料。否則任何養料，植物不能吸收。蓋因植物吸收養料，不能取自固體，必待其溶解變為液體後，始能利用。換言之，土壤溶液者，即土壤中之養料，可為植物利用之狀態也。惟溶液之成分及其濃度若何，影響於作物之生長，極為重要，非可概論。苟其成分含有毒質或濃度過大，自亦不適於作物之吸收矣。

土壤為固體液體氣體三者之混合體。其由岩石破碎之無機體及動植物腐敗之有機體，因空氣與水分之循環變化於其間，及種種微生物之作用，而土壤溶液於以生成。但其成分及濃度，則頗有研究之價值焉。

土壤溶液中之成分，種類甚多，隨各種情形而有不同。而其性質可概分為兩類。曰鹽基性成分與酸性成分是也。據一般分析所得，鹽基成分以鉀 K^+ 鈣 Ca^{++} 鐵 Fe^{+++} 鎂 Mg^{++}

鋁 Al^{+++} 鈉 Na^+ 及銨 NH_4^+ 等最為普通。酸性成分，以矽酸 SiO_4^{\equiv} ，磷酸 PO_4^{\equiv} ，碳酸 CO_3^{\equiv} ，鹽酸 Cl^- ，硫酸 SO_4^{\equiv} ，硝酸 NO_3^- ，及亞硝酸 NO_2^- 等最為普通。

土壤溶液之濃度，亦隨各種情形而有不同，普通均甚稀薄。除乾地鹼性土壤外，均少過每百萬分之三萬。惟土壤溶液之稀或濃，全係上述各成分存在量之多寡而異。其存在之量多，則溶液濃。存在之量少，則溶液稀。但各成分存在之量或多或少，因土壤之種種情形而不同。據摩爾根(Morgan)氏所研究，在不同種之乾土，鉀成分自每百萬分之四至一八〇。磷(PO_4)自每百萬分之〇·二至四·六。鈣分自每百萬分之六至一千。又據金氏在同種土壤，於不同時間所研究硝酸鹽淡素之量，有自百萬分之零至一五〇之差。茲將摩爾根氏以各種不同之風乾土，用油壓法所得鉀，磷，鈣，諸成分之量，列表如下。

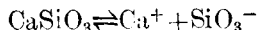
表 七 一

土 壤	水分 %	百 萬 分			
		K	PO_4	Ca	$NH_3+NO_3+NO_2$
細砂壤土	29.7	71.80	1.54	9.10	0.91
中砂壤土	27.2	9.82	1.41	12.75	13.56

克來得細砂壤土	41.9	12.44	1.85	37.12	3.80
邁安密洋質壤土	37.8	27.02	4.64	25.93	1.20
邁安密黏土	24.5	11.03	1.13	10.56	1.61
泥炭土	132.9	139.33	2.19		33.91

二 土壤溶液之變化

凡土壤中之各種成分，無論其為礦物質或有機物質，皆為電解物。在水溶液中，概得電解為載電之伊洪。例如矽酸石灰 (CaSiO_3)，可電解為兩種伊洪。在平衡狀態時，其式如下。



若於矽酸石灰之稀薄溶液中，加入硝酸鉀 (KNO_3) 之電解物，則硝酸鉀忽而電解為鉀與硝酸。

$\text{KNO}_3 \rightleftharpoons \text{K}^+ + \text{NO}_3^-$ 故於此溶液中，當存有不電解之 CaSiO_3 ， KNO_3 ，及 Ca^+ ， K^+ ， SiO_3^- ， NO_3^- 之四種伊洪。鈣 Ca^+ 陽伊洪得與硝酸 NO_3^- 陰伊洪相化合，生成若干不電解之硝酸石灰 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 。又鉀 K^+ 陽伊洪得與矽酸 SiO_3^- 陰伊洪相化合，生成若干不電解之矽酸鉀 (K_2SiO_3)。於是鈣 Ca^+ 伊洪及矽酸 SiO_3^- 伊洪。因生成硝酸石灰及矽酸鉀之故，伊洪遂以減少。其電解之矽酸石灰及不溶解之矽酸間，

失其平衡。但此矽酸石灰之大部分，尙得電解而復其平衡狀。至此溶解之矽酸石灰與不溶解之矽酸石灰，（即固體狀），更起變化，又破其平衡。而不溶解者，復至溶解。由此可知凡鹽類溶液中所有伊洪，加以不相同伊洪之第二電解物，則可增加電解物之溶解度。故硝酸鉀，可以增加矽酸石灰之電解。而矽酸石灰，亦可增加硝酸鉀之電解。

今於矽酸石灰水溶液中，不加硝酸鉀，而加硝酸石灰。此硝酸石灰，亦得電解。 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$ 惟水中所存鈣 Ca^{2+} 伊洪之外，更加以鈣伊洪。則鈣伊洪過多，而與電解之矽酸石灰間，失其平衡。鈣陽伊洪遂與 SiO_3^{2-} 陰伊洪相結合，而爲不電解之矽酸石灰（ CaSiO_3 ）。此種溶液，較化合物尤爲飽和。即曰過飽和溶液。其後此物遂爲固體狀而與溶液分離。由此又可知凡鹽類溶液所有伊洪加以相同伊洪，則可減少電解物之溶解度。故施用肥料於土壤，若加以不同伊洪之肥料，可以增加肥料之溶解力也。

土壤溶液之變化，極爲複雜，且無一定。然其所以起種種變化者，均由二化合物之質量作用所致。故溶液之平衡與否，恆視其成分之相當與否而定。其成分在一定適量時，則變化終止，而形平衡狀態。否則一方必向他方而生反應。

土壤溶液之平衡，事實上實爲鮮少。即或平衡，不能持

久，可以斷言。蓋普通田間情形，阻礙平衡之原因頗多。如吸收體之性質及吸收力之變更，水分之加減，成分之流失，肥料之施用，石灰之增加，以及耕鋤等等，均為有妨平衡狀態者。故土壤溶液之變化，實無時或已，不過進行緩慢已耳。

三 土壤溶液之濃稀與各種要素之影響

土壤溶液之種種變化，或濃或稀，因種種情形而異。其感受各要素之影響，臚列於下。

(1) 結構及組織 土壤之結構粗，組織疏者，則溶液薄弱。結構細組織密者，較為濃厚。

(2) 水分 土壤水分之增減，對於土壤之溶液濃稀，極關重要。水分減少，則濃度增厚，水分增多則濃度變稀。如下表。

表 七 二

土 壤	水分%	濃度%	水分%	濃度%
砂土	2.60	0.3939	21.98	0.0303
砂質壤土	8.30	1.3639	21.53	0.0606
壤土	11.18	1.3780	20.97	0.0848
滓質壤土	17.40	2.0153	34.76	0.1061
黏土	18.80	2.8940	30.50	0.1031

(3) 作物 土壤作物之有無，對於土壤之濃度亦極關重要。蓋栽培作物之土壤，則土中養分多被作物所吸去。土壤溶液自必稀薄。未栽作物之土壤反是，如下表。

此表為表示肥土與瘠土，栽種作物(大麥)及不栽種作物，土壤溶液濃度之差別。其濃度之數，以百分數計之。

表 七 三

日 期	肥 土		瘠 土	
	無作物	有作物	無作物	有作物
七月十日	.20	.12	.11	.06
七月二十四	.17	.05	.08	.02
八月二十一	.18	.07	.13	.04
十月二十三	.43	.19	.29	.09
十二月十八	.34	.15	.18	.10
二月十二	.42	.19	.27	.18
五月七日	.67	.38	.63	.37

(4) 流失 流失作用，亦甚與土壤溶液濃稀有關。蓋流失作用，可將土中養分減少。故流失愈多，則溶液愈薄。

(5) 有機物 土壤有機物之多寡，與土壤溶液甚關重要。蓋有機物不特直接可以增加土中之有機成分，且有有機物分解

時，放出碳酸氣以溶解其他不溶解之化合物，故有機物愈多，溶液愈為濃厚。

(6) 肥料 各種肥料之增加，均可使土壤溶液變濃厚，故肥料施用愈多，土壤溶液，自必愈濃。

(7) 石灰 石灰能直接增加土中之鈣分，但經選擇作用後，亦可增加鉀鈉鎂諸成分。蓋石灰所成鹽類，較諸鉀鈉鎂等鹽類不易溶解。石灰加入土壤後，即與鉀鈉鎂鹽類之陰伊洪化合。而使鉀鈉鎂陽伊洪增入溶液，以供植物之養料。此不過交換分解，並非真能增加鉀鈉鎂諸成分也。若施用磷酸肥料時，石灰則與磷酸化合成不溶解之磷酸三石灰。

(8) 季節 季節不同，土壤溶液亦有變更。冬季寒嚴，土壤之微生物作用及化學變化，均為緩慢，溶解質物較少，溶液濃度亦形稀薄。故溫暖時，土壤溶液較嚴寒時為濃厚。

(9) 耕鋤 耕鋤可以改良土壤之物理性質，可使土中不溶解性之化合物變為可溶性，土壤溶液亦可變厚。

(10) 通氣及排水 通氣及排水，亦與土壤溶液有關。若通氣排水均屬佳良，則土壤之理化性均可增進，有機物質分解自為迅速。溶液濃度，亦可增厚。

四 土壤溶液之採取

土壤溶液之採取，其法甚多。如布立格茲及梅蘭(Malam)

兩氏之擬根吸收法及離心力法，凡沙基忒楞 (Van Suchtelen) 氏置換法，摩爾根氏之油壓法，均為採取土壤溶液之方法。而完善精確 (其所取溶液可以表示土中原來狀態) 者絕少。因此土壤溶液之研究，頗多缺點。其較為精確可用者，分述一二。

(1) 土壤濾過法 美國採取土壤溶液，多用此法。其法加水於土壤中，藉水為溶劑，加水之量，為一與五之比。土壤一分，加水五分。水加後，搖動約五分鐘久。乃靜置二十分鐘，濾過之。濾下之溶液，即為土壤溶液。後分析之。

(2) 冰點壓下法 此法為測定土壤溶液濃度惟一方法。用柏刻曼 (Beckmann) 之寒暑表及其相當之措置，隨冰點壓下之度數。以測定土壤溶液之濃度。例如一種純鹽溶液，欲計其濃度時，可觀其冰點壓下之度數而定之。

第十五章 土壤之凝吸性

土壤有吸收物質之性，早已爲人所深知。亞里斯多德 (Aristotle) 謂海水經過砂時，可以澄清；此即土壤吸收物質之明證也。考土壤之吸收性，能將氣體液體及固體三者吸收。關於土壤自身之肥瘠及作物生長之良否，頗爲重要。苟土壤之吸收能力薄弱，土中養分含量必少。即多施肥，旋被流失，欲其不瘠，奚可得也。

一 土壤之凝吸作用

土壤之凝吸作用即土壤保存植物養分之作用也。可分爲兩種。(一)物理之作用。(二)化學之作用。物理作用者，土粒表面凝著物質之謂也。如炭及棉之吸收顏料是也。化學之作用者，則爲土壤成分與溶液成分所起之複雜化合與分解也。究之土壤之吸收作用，係純爲物理作用或純爲化學作用，抑二者並同而行，殊難斷定。多數學者之主張，亦各不同，要之實不外土粒表面之凝著，土壤中分子與溶液分子之交換及沈澱三種。前者屬於物理，後二者屬於化學。

土壤之凝吸作用，不論其為物理或化學，而其所凝吸之物質，乃為分子與伊洪二種。其所吸收之物質為分子時，曰分子吸收。所吸收之物質為伊洪時，曰伊洪吸收。

分子吸收者，謂土壤能將化合物之分子吸收之也。何以言之，如顏料氣體及各輕養化物被吸收時，分子完全團結如初。又如硝酸鉀分離為 K^+ 及 NO_3^- 。鉀陽伊洪與輕養 OH^- 陰伊洪化合，成輕養化鉀 KOH 。此輕養化鉀，土壤可以完全吸收之。故曰分子吸收。

伊洪吸收者，謂化合物之分子經分離為伊洪後，土壤始能吸收之也。如硝酸鉀分離為鉀陽伊洪與硝酸陰伊洪時。土壤即將鉀陽伊洪吸收而遺硝酸陰伊洪於土中，故曰伊洪吸收。

選擇吸收。土壤既有吸收養分之力，且有選擇之功能。通常多擇鹽基物吸收，酸根則否。如硝酸鉀加入土中，則鉀即被土壤吸收，而遺其酸根於土中。此酸根後與 H 化合，則呈酸性反應。又硝酸銦加入土中，則銦即被土壤吸收，酸根則否。但在鹼性土壤，亦可以吸收酸根。（如硝酸鈉加於土中，土壤可吸收其硝酸根。而遺其鈉於土中。後鈉與水化合，而成鹼性鹽 $(NaOH)$ 。

二 土壤重要氣體之凝收

土壤有吸收各種氣體之力。此吸收力有化學與物理二種。

化學吸收爲土壤成分與氣體物互相化合。物理吸收爲土壤成分表面附著氣體物也。又化學之吸收，大概爲鹽基性物質與酸性物質二者所成。土壤成分爲鹽基性時，則吸收酸性氣體。土壤成分爲酸性物時，則吸收鹽基性氣體。至於物理之吸收，各種土壤成分均能行之。

土壤成分中吸收氣體最強者，爲輕養化鐵及腐植質。其最易吸收者爲阿摩尼亞氣及碳酸氣。

(1) 阿摩尼亞之吸收 空氣中之遊離阿摩尼亞，遇雨水下降，及土中有機物分解發生之阿摩尼亞氣，土壤均能吸收之。惟土壤成分中之輕養化鐵，對於此種氣體尤易吸收。

(2) 碳酸氣之吸收 空氣中之碳酸氣及有機物分解與植物根呼吸所發生之碳酸氣，土壤均能吸收。且時時進行，他如淡氣與養氣亦爲土中之重要氣體，土壤均能吸收之。

三 土壤重要鹽基物之吸收

土壤有吸收各種鹽基物之力。凡溶液中之鹽基物，爲土壤所吸收時，皆係土壤成分中之陽伊洪與溶液成分中之陽伊洪起化學交換分解，謂之鹽基交換作用。此交換作用，由於質量作用而起。換言之，即溶液中分量多時，則變爲土壤成分。土壤分量多時，則變爲溶液成分。易秋翁(Eichoron)氏曾以一種含水矽酸礬土石灰(沸石)粉末，浸於氯化鈉(NaCl)

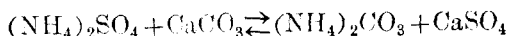
溶液中，經數小時後，取出，用水洗之，然後分析其結果，已證不誤。如表。

表 七 四

	矽酸%	礬土%	石灰%	綠化鈉%	水%
原礦物之百分數	47.44	22.69	10.37	0.42	20.18
浸後礦物之百分數	48.31	26.04	6.65	5.40	19.33

由上表觀之，原礦物中之石灰有百分之一〇·三七。浸後僅含百分之六·六五。其損失之數，入於溶液中矣。又綠化鈉原礦物僅含百分之〇·四二，浸後則增至百分之五·四。其增加之數，來自溶液可知。

(1) 阿摩尼亞鹽類之吸收 阿摩尼亞鹽類之吸收，為鹽基交換作用。自不待言。據魏氏(Way)及霍爾開氏(Vaelcker)之試驗，凡阿摩尼亞鹽類之溶液，如硫酸銨，鹽化銨，及硝酸銨等加入土壤時，鹽基物即被土壤吸收。其酸根與土中之石灰等化合，仍存於溶液中。譬如硫酸銨 $[(NH_4)_2SO_4]$ 加入土中，則硫酸即與土中之鈣化合而為硫酸鈣 $(CaSO_4)$ 。其化學變化如下。



硫酸銨 碳酸石灰 碳酸銨 硫酸石灰

惟此係可逆反應，依石灰量之多寡而定。其所生成之炭酸鈣為黏土及腐植質所吸收。他如水酸化鐵及水酸化礬土，亦能吸收之。霍爾開氏試驗時，用硫酸鈣及鹽化鈣與土壤及水相混合。其混合之比例，為 1 : 1000 : 400。即硫酸鈣或鹽化鈣一分，土壤千分，水四百分。混合後，靜置之，再行濾過。以定量其溶液中所含鹽類之量。然後計算土壤所吸收之量，其結果如表。

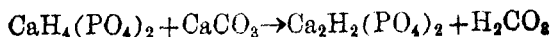
表 七 五

土 壤	吸收量對於溶液之含量	
	鹽化鈣(NH ₄)Cl	硫酸鈣(NH ₄) ₂ SO ₄
石灰質黏土	48%	35%
肥沃砂質壤土	54%	56%
黏土	56%	50%
砂土	11%	22%
牧草地	45%	40%

(2) 鉀鹽類之吸收 鉀鹽類之吸收與阿摩尼亞鹽類相似。係鹽基交換作用，苛性鉀 (K₂O) 及碳酸鉀 (K₂CO₃) 土壤可以直接吸收。他如硫酸鉀，硝酸鉀，鹽酸鉀等，與土壤之炭酸石灰行交換分解，變為碳酸鉀，則易於吸收。而硫酸石灰，

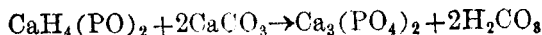
硝酸石灰等，則溶解於水中而流失。據霍爾開氏之試驗，謂碳酸鉀較硫酸鉀，綠化鉀吸收為易。黏土泥灰土及牧草地之土壤，其吸收力頗強。水酸化鐵及水酸化礬土皆能吸收之。

(3) 磷酸鹽類之吸收 土壤之吸收可溶性之磷酸鹽類，大抵乃土中可溶性之磷酸化合物，變為不溶性之磷酸化合物者也。土壤中之養化鐵，礬土，石灰，苦土等，皆能變可溶性磷酸鹽為不可溶性磷酸鹽。故施用磷酸—石灰於土中時，即與土中碳酸石灰化合，變不溶性之磷酸二石灰及磷酸三石灰。如下式：

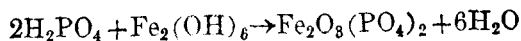


磷酸—石灰

磷酸二石灰



磷酸二石灰雖不溶解，但於弱有機酸及碳酸水中易溶解之。故石灰多之土壤，施用過磷酸石灰（磷酸—石灰）時，其可溶性之磷分，能分佈土中。若碳酸石灰甚少之土壤，則與土中之輕養化鐵或輕養化礬土等化合物相化合，以變成不易溶解之磷酸化合物。



故此種土壤，須預先施用適量之石灰，使鐵之一部分與石灰置換。變為較易溶解磷酸化合物。

土壤成分吸收磷酸之力，除石英，長石之矽酸鹽缺乏吸收外，其餘一般土壤成分，均能吸收。又普通土壤經鹽酸浸過，亦無吸收磷酸之力。據霍爾開氏試驗，以石灰土吸收力最大。該氏取各種土壤，用磷酸鹽溶液於一定時間內，檢定其磷酸吸收力，如下表。其溶液中之磷酸量，與土壤之重量為一與一千之比。即磷酸之量一土壤之重量一千。

表 七 六

土 壤	全磷酸 100 分之吸收量		
	1 日後	8 日後	9 日後
赤色壤土	60	78	95
重黏土	51	62	86
黏質心土	48	69	74
石灰土	89	99	100
輕砂土	53	59	73

四 土壤凝吸力與其各要素之關係

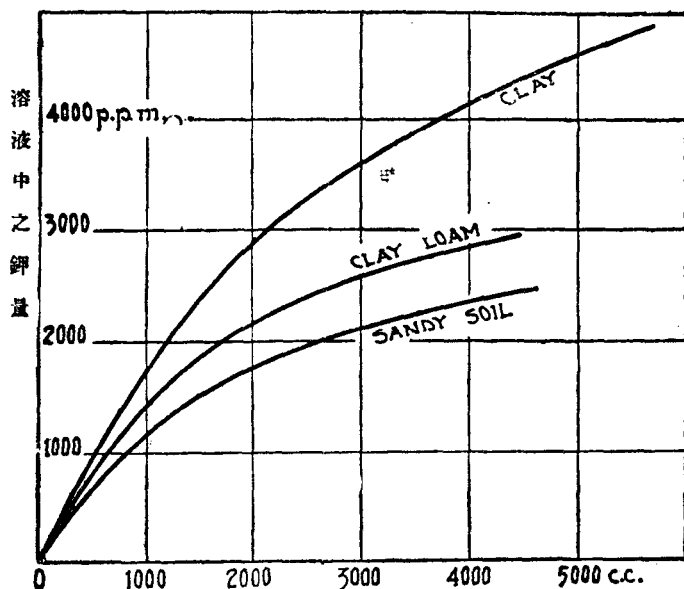
土壤有吸收各種養分之性，已如前述。但其吸收量之強弱，各種土壤皆有不同。其所以不同之者，約有數端。

(1) 土壤之成分 土壤之成分種類不同，吸收量隨之而異。土中具吸收性之成分(如腐植質輕養化鐵石灰含水矽鹽)

愈多，則吸收量愈強，愈少則愈弱。

(2) 土壤之結構 土壤之結構愈細，則吸收量愈大，愈粗者則愈小。

第 三 十 一 圖



此圖表示三種土壤吸收鉀分之量，依其結構粗細之不同，而吸收之量各異。

(3) 土壤之膠質物 土壤之膠質物對於土壤之吸收量極關重要，土壤之膠質物愈多，則吸收量愈大。

以上二，三兩端，均與土壤之面積攸關，蓋土壤之結構愈細，膠質物愈多，則土壤之面積愈大。土壤之面積愈大，

則吸收量自大。

(4) 時間 土粒與溶液接觸之時間久，則吸收之量亦增加如表。

表 七 七

時 間	在每百萬分中磷酸之吸收量	
	黏質土壤	細砂質土壤
3 分鐘.....	400	235
40 分鐘.....	410	255
1 分鐘.....	415	260
2 分鐘.....	435	315
4 點鐘.....	440	335
24 點鐘.....	445	370

(5) 溶液之濃度 土壤吸收量之大小，與溶液濃稀之度有關。濃度厚則吸收量大，濃度稀則吸收量小。如表。

表 七 八

溶 液	$\frac{1}{10}$ 規定溶液 K ₂ O 吸收量	$\frac{1}{20}$ 規定溶液 K ₂ O 吸收量
綠化鉀 KCl	.3124 gr,	.1990 gr,

硫酸鉀 K_2SO_4	.3362 gr,	.2098 gr,
碳酸鉀 K_2CO_3	.5747 gr,	.3141 gr,

(6) 溶液之量 溶液之濃度相同。土壤之吸收量則隨溶液之量而異。溶液量多，吸收之量亦可增加。

(7) 其他關係 如溫度壓力及溶液之種類與土壤吸收量亦有關係。

五 土壤凝吸性之功效

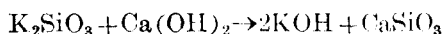
土壤凝收養分之性，關係農事功效甚大，前已略述之。茲分述其有關係者於下。

(1) 防止養分之流失 土中養分之流失，為土壤養分消失最大而最無益者。苟土壤之吸收力極為薄弱，則加入土中或土中分解之有效養分，一遇雨水下降，或灌水，難免盡數流失，而成瘠薄之患。故土壤吸收力，即為保存養分以供植物生長之力也。

(2) 調節土壤溶液之濃度 土壤溶液，在一定濃度內，始能為植物所利用。過稀或過濃，均非植物生長所宜。甚至過於濃厚，不特不能為植物所利用，而且有害。土壤吸收作用，則具有調劑之功能，俾土壤溶液恆得保持一定濃度。蓋土壤溶液過濃，土壤可以吸收溶液中之溶質。使其成分減少，

變為稀薄。若土壤溶液過稀，土壤又能將其已吸收之溶質出而溶解於溶液中，以增加溶液之成分。可使溶液不至過於稀薄。

(3) 造成有益之養分 土中不溶解性之化合物甚多。因吸收進行，鹽基交換作用之故，其不溶解之物，能將有益之養分放出。例如矽酸鉀為不溶性，因吸收作用，能將鉀分放出，變為可溶性輕養化鉀。如下式。



不溶性矽酸鉀 可溶性

(4) 增加土壤溶解力 土中能吸收氣體（如碳酸氣）以促進土壤之溶解力，增加土中之養分。

(5) 可作施肥之準備 土壤吸收力之強弱，對於施肥之種類及分量頗有關係。苟吸收力弱之土壤，（如砂土）施以多量有效之速性肥料，始則使土壤溶液驟然變厚，有礙作物之生長。既則一遇雨水，頓被流失。是以此吸收薄弱之土壤，與其加以速性肥料，不如加以遲性肥料。與其多施，不如稍少分為數次施用為妙。

(6) 可以分佈養分 土壤吸收作用，恆有分佈養分之功能。一時溶解之養分吸收於土壤，使變不溶解性。後漸廣行分佈，密接於植物之根，再由植物根使其溶解而利用之。

六 土壤凝吸性之測量

土壤吸收性之強弱，爲土壤重要之性質。克諾浦(Knop)氏，謂測定土壤之吸收量，大約可以此斷定土壤之優劣。是知測定土壤之吸收量，與判定土性，關係甚大。

測定土壤吸收量(吸收力)，通常於常溫度時，取一定量之風乾土壤，浸於二倍量之溶液中(溶液濃度必須一定)，置四十八小時，後用濾紙濾過，測定溶液所失去之溶質量。其失去之溶質量，被土壤吸收，即土壤之吸收量也。每百公分風乾細土所收之量，以單位公絲計之，是爲吸收係數(Coefficient of Absorption)。又曰吸收率。茲將阿摩尼亞及磷酸之吸收量測定法，略分述於下。

(1) 阿摩尼亞吸收量測定法 取風乾細土五十公分，置於乾燥玻璃膽瓶中，加氯化銦規定溶液 200 c. c. ($\frac{1}{10}$ 規定液)。密塞之，時加振蕩，經過四十八小時，後以乾燥濾紙濾入能容 50—100 c. c. 之乾燥瓶中，然後取濾液 10 c. c. 用克諾浦氏的淡素定量計，定量所含之阿摩尼亞，以原液中阿摩尼亞含量之差，爲吸收阿摩尼亞之總量。惟求原液中阿摩尼亞含量，須加入供試驗土壤中之水分爲要。每 100 公分風乾細土所吸收之阿摩尼亞重量，以單位公絲計之，是爲淡素吸收係數。或曰吸收率。

(2) 磷酸吸收量測定法 取風乾細土，五〇公分，如上法置於乾燥玻璃膽瓶中 加磷酸鈉規定溶液 200 c. c. ($\frac{1}{10}$ 規定濃 Decinormal Solution)，時加振蕩。經過四十八小時後，取上部澄液以乾燥濾紙濾入乾燥瓶中，取濾液之一定量，加以鎂混合液以定量磷酸。以原液磷酸含量之差，為吸收磷酸之總量。但濾液由腐植質着色時，須於蒸發之後，復行燃燒，使有機物分解，乃以鹽酸溶解之，再行磷酸定量。每公分風乾細土所吸收之磷酸重量，以單位公絲計之。是為磷酸吸收係數，或曰吸收率。

第十六章 土壤養分之消失

一 土壤養分消失之原因

土壤爲植物養料之貯藏所，人已知之。然土中植物養料，苟非處理適當，難免消失之患。消失之端，不一而足。總而言之，約有五種。(1)作物之吸收，(2)排水，(3)有機物分解，(4)奔流，(5)蒸發。

以上五種作用，均爲土壤養料消失之根本原因。惟消失之量有多寡之別，及有益消失與無益消失之分。奔流消失者，謂土水多時，奔流地面，挾帶養料以去。其奔流愈急，則養料之消失愈多。分解消失者，謂有機物當分解時，其重要淡氣多被發散。蒸發消失者，主爲水分(水分亦養料之一)。惟水分被蒸發時，亦有挾其他物質以去者。此三種消失作用，均屬無益，但其量較少。而奔流蒸發二者，尙易防備。其消失最多者，則惟作物與排水二者是也。惟作物之消失，乃生產之消失，有益之消失也。而排水消失，全屬虛耗。是知土中養分五種消失作用，除作物消失外，餘皆無益之消失也。

二 作物對養料之消失

作物生長所需養料，全賴土中養分之供給。土壤養分愈多，生長愈盛。生長愈盛，則所消失之養分愈多。惟此消失養分雖多，仍屬有益。農家栽培作物，正宜促進此種養分消失焉。且作物生長之後，其根莖葉之一部，及其灰燼等，仍還歸土中，聊資補救。

作物消失各種養分之量，各種作物，均有不同。其所以不同者，全由作物之本性而異。概言之，約有三端。

(1) 作物之吸收力 凡作物之吸收力大者，其消失養分之量較吸收力小者為多。

(2) 細胞膜滲透力 植物細胞膜有滲透養分之功。植物吸收養分，必經此細胞膜。惟細胞膜滲透力強者，則吸收養分較滲透力弱者為多。

(3) 根系 根系者，即植物根粗細長短之謂也。其根粗而長者較根細而短者吸收養分為多。例如草及穀類作物，其根細短。故所需養分之量少。豆科作物，以根粗長，故所需養分之量多。茲將各種作物所消失各養分之量，列表於下。此表係瓦林頓 (Warington) 氏於一英畝內所得各種作物消失氮素，鉀，磷酸，石灰，及三養化硫等之全量。

表 七 九

作物	產量	灰分	N (磅)	K ₂ O (磅)	CaO (磅)	P ₂ O ₅ (磅)	SO ₃ (磅)
小麥	30英斗	172	48	28.3	9.2	21.1	15.7
大麥	40英斗	157	48	35.9	9.2	20.7	14.3
燕麥	45英斗	191	55	46.1	11.2	19.4	19.7
五蜀黍	30英斗	121	43	36.4	18.0	12.0
牧草桿	1 $\frac{1}{2}$ 噸	203	49	50.9	32.1	12.3	11.3
紅苜蓿	2噸	258	102	83.4	90.1	24.9	15.4
馬鈴薯	6噸	127	47	76.5	3.4	21.5	11.5

三 排水對於養料之消失

排水為消失土中養分一大原因。惟排出水之成分，究屬若何，以理推之，當與土壤溶液成分相同。但經土壤或作物之吸收作用，事實方面，殊多差異。其重要鹽基物之鈣，鎂，鉀及鈉等成分，排出水中則常有之。至於酸性物，如硝酸鹽，硫酸及過碳酸鹽等，亦多存在。惟磷酸二養化淡，阿摩尼亞，及三養化炭則幾絕跡。

排出水之濃度，較土壤溶液為薄。其平均濃度在每百萬分之五百以下(即每百分之〇·〇五以下)。但因肥料之增減

及氣候之變遷，其濃度亦有伸縮。英國洛忒孟斯忒試驗場，用黏質壤土及瓦管排水法，試驗排出水中，各種養分之量如下表

表 八 ○

調 治 法	每 百 萬 分 之 溶 液 量										
	N ₂ O ₅	NH ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Cl	SO ₃	SiO ₂
無 肥 料	3.9	.12	.63	1.7	98.1	5.1	6.0	5.7	10.7	24.7	10.9
底 肥 14 噸	16.1	.16	—	5.4	147.4	4.9	13.7	2.6	20.7	106.1	35.7
僅磷質肥料如 P ₂ O ₅ , K ₂ O, C ₂ O ₃ , 及其他磷質成分	5.1	.13	.91	5.4	724.3	6.4	11.7	4.4	11.1	66.3	15.4
磷質肥料及 600 磅之 (NH ₄) ₂ SO ₄	16.9	.27	.17	2.7	197.3	8.9	10.6	2.7	39.4	89.7	20.9
磷質肥料及 550 磅 NaN ₃	18.4	.24	—	4.1	118.1	5.9	56.1	5.1	12.0	41.0	10.6

由此可知阿摩尼亞及磷酸之失去極少，鈣最多，硫次之。硝酸及鉀亦不甚多。其加廐肥者，成分亦增。加硝酸鈉者，則硝酸，淡素，鉀，蘇打及石灰等，均因以增加。

由此亦可知無論何種肥料增加，大抵均可增加排出水中之石灰。蓋以肥料之增加，多遺酸根於土中。此酸根即與土中石灰合而流失。譬如磷酸與石灰化合，則成磷酸三石灰。硝酸與石灰化合，則成硝酸石灰，均易流失。總之，施肥之土壤其排出水之成分，較未施肥之土壤為多。但作物之生長，及土壤之情形不同，亦未可概論。據格拉錫 (Gerlach) 氏同樣土壤試驗報告。謂施肥之土壤，即作物生長良好。結果其淡素及石灰之流失，較未施肥者反少。鉀則較多云。

四 作物與排水對於土中養分消失之比較

作物與排水，為消失土中植物養分之二大原因。在同一土壤，二種消失作用同時並行。其消失各成分之不同及其總量之差異，殊饒興趣，頗有研究之價值。美國康乃爾試驗場。用洋黏壤土及排水計，試驗十年。其每年平均由排水及作物消失各養分量，如下表。

表 八 一

消失狀況	一英畝每年消失磅數				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	SO ₃
排水消失荒地	69.0	—	86.4	557.0	132.0
輪 作	7.3	—	68.7	345.9	108.5
種 草	2.5	—	24.0	363.8	111.0
作物消失荒地	—	—	—	—	—
輪 作	70.5	43.5	105.4	24.3	41.0
種 草	54.4	28.6	74.0	12.8	29.2
消失總量荒地	69.0	—	86.4	557.0	132.0
輪 作	77.8	43.5	174.1	370.2	149.5
種 草	56.9	28.6	158.0	376.6	140.2

由此觀之，無作物之荒地，其排水消失以淡素為最多，石灰次之，鉀，硫酸又次之，磷酸則無。輪作者，其排水消失淡素，較無作物之荒地頓減九倍有餘。鉀，石炭及硫酸亦減。種草者，其淡素之消失量尤少，較荒地減少二千餘倍。鉀，石炭及硫酸亦較荒地減少，較輪作之地則稍增。至於作物消失量，均較種草者為多。總之各養分之消失量，其輪作

者較種草者爲多。此以草地有保儲養分之功能，不使多爲流失也。

由此亦可知排水消失與作物消失所消失各養分量，各有不同。排水消失對淡素及磷酸之消失較少，對於石灰硫酸之消失較多。作物消失，則對於淡素磷酸之消失較多，而石灰硫酸之消失較少。茲另列表以明栽培之土壤，其排水與作物消失各養分之互相關係，如下表。

表 八 二

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	SO ₃
排水消失	少	少	多	多	多
作物消失	多	多	多	少	少

土壤中養分之消失既有種種，而防止之法頗非易易。其最應防止者，則爲排水消失。（參看十章四，五，兩節）。既屬無益，且爲患最烈。其防止方法，在改良土壤之理化學性質，以增進土壤之吸收力。至於作物消失，其量雖多，仍屬有益。與排水消失絕然不同。調劑之法，則宜栽種細短根之作物，以免地力過於虧耗。他如奔流及蒸發之消失，則宜減少土中水之蒸發。及阻止土水之奔流已詳土壤水分調節章。（第十章二三兩節）。至於有機分解消失，雖不能全行阻止，

但亦略有可以防範者。有機物分解時之碳酸銨，屬揮發性。

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 若加以石膏，則此揮發性之碳酸銨，變為不揮發性之硫酸銨，不易揮發。 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$ 第此種消失，其量實甚微也。

第十七章 鹼性土壤

鹼性土壤(Alkali Soil)者，乃土壤中含有多量可溶性之鹼性鹽類，而呈鹼性反應之土壤也。此種土壤，分佈甚廣。世界各國，無不有之。如美國，印度，埃及，匈牙利諸國爲最多。吾國東南沿海各省，因海水之作用，鹼土之生成甚多。北部一帶，因氣候乾燥，雨水稀少，鹼土亦多。

一 鹼土發生之原因

鹼土發生，多在乾燥或半乾燥之區。其發生原因，約有數端。

(1) 岩石 土壤由岩分解而來，岩石中含有鹼性鹽類。當岩石分解時，多種鹼性物質，自行分出。若地方之雨水稀少，無適當之水分溶解而排洩之，則鹼質仍存於土中，是成鹼土。我國西北，東北及蒙古一帶，類多此等土壤。

(2) 海水 在海濱或江河兩岸，因水力之剝蝕，土壤多被沖去。其沖去之土壤，依土粒之大小先後沉下。其粒小者，則隨水流而入於海，其入海之土粒，因土粒膠黏之力，於是

土粒表面，多披鹼質。因宇宙之變遷，滄海桑田，其海中細土，變成海灘。水分漸漸蒸散，鹼質仍在土中。是為海濱土。此種土壤，如江蘇各鹽墾公司所墾之地，及勃海一帶地方頗多。

(3) 鹹水湖 鹹水湖因湖牀日漸枯涸，迨至無水而成陸地。則從前湖中所含鹼質，如氯化鈉及氯化鎂等，俱存於地面，及土中，而成鹼土。我國青海，西藏，新疆，蒙古等地亦多。

(4) 灌溉與蒸發 灌溉與蒸發，為鹼土發生一大原因。蓋鹼質溶解於水，水在土中，或昇或降，鹼質隨之而行。當雨水下降或灌溉時，則鹼質溶於水中。水挾鹼質而下降，及後降雨或灌水停止，土面之蒸發盛行，則下層之水由微管上升，亦挾鹼質以行，上升地面。故乾燥之地，灌溉愈多，則鹼質昇積地面者愈夥。因土壤未經灌溉以前，水之滲入土中尚淺，鹼質之上升較少。一經灌溉，則水深入土中，（自十五尺以至二十尺）迨土乾後，其隨水上升之鹼質亦多。及第二次灌水，水復挾鹼質下降，及水乾後，其上升之鹼質較下降之鹼質尤多。故為害頗大。

(5) 肥料 久施用鹼性肥料，亦能使土壤變為鹼性。例如常用智利硝石，其鈉分不為作物所吸收而遺於土中，久之

亦能變成鹼土。

地面鹼質因地面之高低不平，其鹼質之多寡亦異。高處鹼質常隨水流而積於低窪之處，成爲鹼堆。鹼堆面積之大小，頗不一致，有數尺以至數畝者。若雨水充足，則害較輕，其土壤仍有生產能力。設遇旱魃，則鹼質多積，不能生產矣。總之，鹼土成因，雖有種種，然關於水分之多寡，實爲重要。苟地方之雨水果多，土中鹼質雖多，久之自被雨水洗去。不至發生甚大鹼毒。故鹼土之發生，多在乾燥或半乾燥之地。

二 鹼土之類別

鹼土之類別，由鹼土中之鹼質成分而異。鹼質之成分頗多，而存在土中最普通者，爲鹽基物，與酸性物兩種。屬鹽基物者，有鈉，鉀，鎂，鈣，鋁等。屬酸性物者，有鹽酸，硫酸，碳酸，磷酸，硝酸等。但鹽基物與酸性物二者，多爲分子狀態而存在。

鹼土之種類概列爲二種。卽白鹼土與黑鹼土是也。凡土中含有綠化鹼質（如綠化鈉綠化鉀）或硫化物（如硫化鈉 Na_2S ）等之白色成分，則謂之白鹼土。含有碳酸鹼質者，（如碳酸鈉及過碳酸鈉等成分）則謂之黑鹼土。碳酸鈉本爲白色，但因有機物之溶解，遂成黑色。又黑鹼土中每有由綠化鈣及硝酸鈉而成者，其爲害植物甚於白鹼。

此二種鹼土外亦有所謂棕色鹼土。此種鹼土，亦為綠化鈣及硝酸鈉所成。

三 鹼土對於植物之影響

鹼土對於植物之影響甚大，其為害之輕重，則視鹼質之多寡而異。大約鹼質在千分之二以下者，各種植物皆能生長。在千分之二以上者，則作物類（如大麥小麥及棉花等）不能生長。惟抵抗鹼性稍強之植物，仍然生長。若鹼質過多，則全不生長。茲據美國土壤局試驗植物耐鹼之力如下表。

表 八 三

作物	Na_2SO_4	Na_2CO_3	NaCl	鹼質總量
葡萄	40.800	7.550	9.640	45.760
橘	18.600	3.840	3.360	21.840
梨	17.800	1.760	1.360	20.920
蘋果	14.240	640	1.240	16.120
桃	9.600	680	1.000	11.280
黑麥	9.800	960	1.720	12.480
大麥	12.020	12.170	5.100	25.520
甜菜	52.640	4.000	5.440	59.840
蘆粟	61.840	9.840	9.680	81.360

苜蓿草	102.480	2.360	5.760	110.320
Saltbush	125.640	18.560	12.520	156.720

此表爲表示每英畝土深四尺所含鹼質磅數。

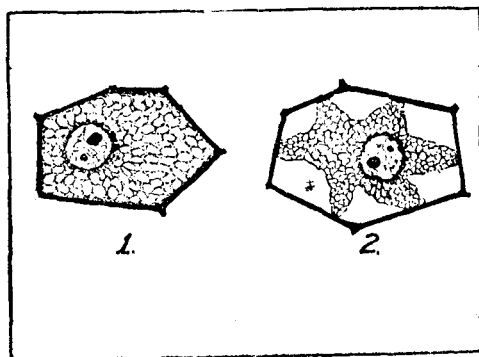
植物耐鹼之力或強或弱，固各有不同。而其所以強或弱者，則有兩種原因。(1)生理之構造。惟此生理之構造，係於植物細胞之內部或細胞膜之不同，故耐鹼之力有強有弱，但細胞內部及細胞膜究竟若何，甚爲玄妙，知者甚少。(2)根之習性。植物根之習性不外深根與淺根兩種。根之深淺不同，其耐鹼之力亦異。淺根植物耐鹼力弱，深根植物耐鹼力強。因深根植物，其根甚長，能深入土層以吸收水分，土面鹼毒不甚爲害。淺根植物，其根甚短，入土較淺，其吸收水分必在土面稍下之處，易受鹼毒之害。又幼小植物，耐鹼之力較成長者弱。如苜蓿草，其成長時耐鹼之力，較幼小時可加十倍。種子發芽對於鹼質亦頗關重要。非使種子不能發芽，即發芽遲緩。格斯萊氏(Guthrie)及赫門氏(Helms)。用肥沃土壤及不同濃度之鹽溶液以試驗數種作物發芽及生長之影響，如下表。(表內數量以每百萬份計)

表 八 四

情 況	NaCl			Na ₂ CO ₃		
	小麥	大麥	黑麥	小麥	大麥	黑麥
發芽不良	500	1000	1000	3000	2500	2500
不發芽	2000	2500	4000	5000	6000	5000
生長不良	500	1000	1500	1000	1500	2500
不生長	2000	2000	2000	4000	4000	4000

鹼質之所以為害植物，不外兩種作用。(1)可使植物細胞內之原形質分離。因植物生長，必吸收多量水分，鹼質則能阻止植物吸收水分，甚且能將植物細胞內之水分吸出。故原形質分離。如圖三十九。(2)可溶解植物之組織體，如植物之根冠。一遇鹼質，即被毒死。若為純黑鹼土，則為害尤甚。

第 三 十 二 圖



普通植物細胞(橫斷面)

細胞原形質分離

四 鹼質與土壤之關係

鹼質除直接妨害植物生長外，且能變劣土壤之物理性質。黑色鹼土，有一種反結合作用。此種作用，可使土壤團粒組織破壞，致土層硬化，排水不易，耕鋤艱難，不利於植物之生長。若土壤之情形佳良，鹼毒之害亦可以減少。

(1) 保水力 土壤保水力之強弱，對於鹼毒之影響頗大。土壤保水力強，土中之水分必多，水分多，則鹼性變稀。鹼毒乃少。

(2) 吸收力 土壤吸收力強，則鹼毒亦減。

(3) 有機物 土壤中之有機物愈多，則為害愈少，因有機物能分泌有機酸以溶解各鹼質而中和之。

(4) 耕耘 土壤耕耘良好，既可使排水順利，減少鹼質，亦可使鹼質分佈均勻。以同一鹼質之分量，分佈均勻者，其害較積於一處者為輕。

五 鹼土之改良

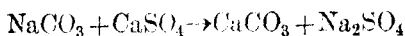
改良鹼土為發展我國農業之重要問題。吾國鹼土之多，已如前述。或以鹼性較輕，生產減少。或以鹼性過重，全地荒蕪。苟能亟謀改良，均可變為沃壤。

改良鹼土之方法甚多，而根本良法，係於水利。惟此種建設，工程甚繁，耗費亦大。誠國家事業，非局部問題也。

茲將各種改良方法，分述於下。

(1) 暗溝排水法。暗溝排水，乃改良鹼土最良之法。其法於土中設築暗溝，安置排水管，依地方之不同，而定設置之方法。然後灌水浸地，水深可數寸，於是水漸滲入土中，挾鹼質由管內流出。迨水將乾，又復灌水，勿使乾燥，以防鹼質之上昇。如是數次，使土中鹼質盡行流失始止。但當灌水浸地之時，宜栽培能耐水浸之作物。蓋栽培作物，既可得相當之收入，復可免土壤乾時過緊之患。若不栽種作物，則土壤將乾時，務宜耙鬆。

(2) 施用石膏 石膏能變更鹼土之性質，如使黑色鹼土變為白色鹼土，碳酸鹽變為硫酸鹽，其害可減。蓋黑鹼為害約五倍於白鹼。惟施用石膏時，土壤必須溼潤，否則不生反應。又其施石灰之量，亦宜斟酌。視鹼質之量及其成分而定。大約石膏之用量，倍於鹼質之量為宜。



黑鹼

白鹼

又黑鹼土用暗溝排水法時，其地亦宜先施用石膏，以使土壤鬆散，排水佳良，且可減少有機質及可溶性磷酸之流失，因硫酸鹽能澱沈之故也。

(3) 剷除 此法於未播種以前，先灌水浸地，使鹼質多

行上昇地面，然後剷除之。但此法甚笨，地大尤不易行。

(4) 栽培可耐鹼性之作物 各種作物耐鹼之力，各有不同。其最能耐鹼者。如 salt bush, salt grass 糖蘿蔔(sugar beet), 及苜蓿草等。此等作物，既有強健之耐鹼力，且能利用鹼質以生長。久而久之，土中鹼質漸被減少，但鹼質過多之地，則收效甚微。

(5) 沖去 此法將地面所積聚之鹼質，用水沖洗，以使鹼質沖去。但此法宜注意地面斜度。因傾斜之地，沖去過急，土壤土粒必被沖去。若為黑鹼土，亦宜先用石膏，後再沖洗。否則其黑鹼中可貴之有機物質，亦被沖去。

(6) 防止蒸發 土壤之蒸發愈盛，則地面之鹼質愈多，為害愈大。苟阻止蒸發，則鹼質之上昇必少，其害自減。其阻止蒸發之法，可用覆蔽物蓋於地面。此法耗費極廉，其在鹼質較少之地，收效甚佳。因覆蔽物不獨能減少蒸發。且在作物根之範圍內，可以阻止多數鹼質之侵入。但鹼質多之地，其效甚微。

(7) 溢浸 此法亦可減輕鹼毒，因土壤被溢浸時，其鹼質隨水下滲，以至三尺或四尺之深，可免其害。久之，鹼質亦漸流失，但為效極微。

(8) 深耕翻下鹼質 此法將土壤深耕，使地面鹼質翻入

下層，於是幼小作物之根，暫能生長。及後作物生長較大，根雖較長，而抵抗鹼質之力亦較大，爲害亦少。

(9) 分佈法 此法將鹼質分佈各處，勿使集積一處，以免過多之患。因同量之鹼質，苟分佈均勻，其害較積一處者爲輕。鹼質甚多之地，則極難生效。

第十八章 酸性土壤

酸性土壤 (acid or sour soil) 者，乃土中有多量之酸基存在，或鹽基物之缺乏，而呈酸性反應之土壤也。此種土壤，發生雨水多之區。乾燥地方絕少，與鹼土發生之地，恰為相反。世界酸土面積較鹼土為少，我國酸土亦甚鮮。

一 酸土發生之原因

雨水甚多之地，容易發生酸土。其發生原因，亦有數種。

(1) 流失作用 流失作用，可使土中之鹽類減少。但數種重要鹽類，如石灰，鉀，苦土。於土壤排水時損失特多。約計每一中畝，石灰在一百五十磅以至五百磅左右，鉀百磅以至二百磅左右，苦土數十磅以至一百餘磅。總之其損失量之多寡，依土壤之情形而異。據美國康乃爾試驗，每英畝損失之量，石灰有三千七百餘磅。鉀一千七百餘磅，苦土九百餘磅。土壤中失此巨量鹽類，則土中酸根缺乏多量鹽基與之化合，於是發生酸性，自不待言。

(2) 植物之吸收 植物生長，須用鹽基養分較酸性養分

爲多。是以土中鹽基漸漸減少，酸基漸漸增多，故變酸性。

(3) 土壤之吸收 土壤亦喜吸收鹽基而遺酸基於土中。且可溶性鹽類，經土壤吸收後，變爲不可溶性鹽。如鈣分被土壤吸收，即與土中之矽酸化合而成不溶性之矽酸鈣。此不溶性之矽酸鈣，即失其鈣原來之功用，不能再中和土中之酸基，故亦能發生酸性。

(4) 肥料之遺存 肥料加入土中，其鹽基多被植物或土壤所吸去而遺酸基於土中，如硫酸銨加入土中，其銨成分即變硝酸，爲植物所吸收，而遺硫酸於土中。他如硫酸鉀，綠化鉀等，施入土中，植物將鉀分吸去，而遺酸基於土中。此等酸基，即與水素化合，而成硫酸或鹽酸。

又施用硫黃於土中以防禦病害時，其硫遺於土中。後與水化合， $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ 變爲硫酸。久之亦可發生酸性。

(5) 有機物之分解 有機物分解，亦可使土壤發生酸性。因有機物分解時，可發生有機酸類以增加土壤之酸性。但施用綠肥，其分解時發生之酸類愈多。據美國土壤局試驗各種綠肥作物發生酸類之量，其法乃用石灰以調和酸類。將所用石灰之量減去綠肥作物原有石灰之量，即爲綠肥作物發生酸類之量。

表 八 五

作物	作物重量	作物原有石灰量	發生酸類之量 (即需用石灰調和之量)
苜蓿草	3 $\frac{1}{2}$ 噸	139 磅	267 磅
紅苜蓿	2	131	142
大豆	2 $\frac{1}{2}$	92	200
黑麥	2	11	178
篩草	1	4	89

二 酸土之類別

酸土亦可分兩類，曰含酸類與不含酸類是也。此二種酸類，皆具酸毒性不利於作物之生長。含酸類者謂之正酸性，不含酸類者謂之負酸性。

含酸類云者，謂土壤中含有游離酸類。此游離酸類，多為輕(H)伊洪。此輕伊洪於土壤水分過多，通氣不良，則土壤溶液中之可溶性有機酸無機酸及不溶性酸類與酸性鹽類與水化合，均能發生此輕伊洪焉。

不含酸類云者，謂土壤中本無若何酸類存在，乃因鹽基缺少故也。第此種酸性，亦因鋁之有毒鹽基存在而發生，其害較含酸類為輕。在一九一三年阿波特 (Abbott)，康涅爾 (Conner)，斯摩勒 (Smalley) 諸學者，謂在一種不能生產之

土壤，必具有一種鋁鹽毒質。一九一八年，阿威 (Hartwell) 及彭伯 (Pember) 二氏。亦證明謂鋁伊洪對於一種土壤與一種作物，其害較輕伊洪為大。又土壤中之亞鐵鹽類與酸類同濃度時，其害亦較酸類為大。他如鎂錳等，亦具毒性。惟以上種種鹽基，其發生毒性時，均因鈣鹽缺少。若鈣分增加，其害可減。

三 酸土對於植物之影響

酸土對於一般植物之生長，為害亦大。(1)使作物所須之可給態鈣分缺乏。(如苜蓿草類作物之生長對於鈣分頗為重要)。(2)減少植物養料之功效。(3)增加植物之病害。蔬菜作物為害尤甚。(4)易生雜草。凡此數端，皆為直接或間接影響於作物之生長者也。

酸土對於一般植物，雖為害甚大。然植物之種類不同，其耐酸之力各異。在同一酸土，有能生者，有不能生者。惟雜草耐酸之力，均較一般作物為強，茲將能生長於酸土及不能生長於酸土之作物略列於下。

表 八 六

能生長於酸土之作物

覆盆子 Blue berry	美國牧草 Red top	黑麥 Rye
----------------	--------------	--------

紅莓台子草 Cran berry	蘆葦之一種 Rhode Island bent	黍 Millet
草莓 Straw berry	牛豌豆 Grasscow pea	蕎麥 Buck wheat
烏藜莓 Black berry	大豆 Soybean	紅蘿蔔 Carrot
麻莓子 Raspberry	假扁豆 Harry Vetch	羽扁豆 Lupine
覆盆子之一種 Blackcap	紫苜蓿 Crimon clover	蘿蔔 Radish
西瓜 Water melon	番薯 Potato	蓖麻子 Castor bean
蕪菁 Turnip	甘薯 Sweet Potato	

表 八 七

不能生長於酸土之作物

苜蓿 Alfalfa	婆羅門參 Salsify	甘藍菜 Cabbage
紅苜蓿 Red clover	南瓜 Squash	黃瓜 Cucumber
Salt bush	菠菜 Spinach	萵苣 Lettuce
牧草 Timothy	糖蘿蔔 Red beet	蔥 Onion
玉蜀黍 Maize	高粱 Sorghum	秋葵 Okra
燕麥 Oats	大麥 Barley	煙草 Tobacco
胡椒 Pepper	甜菜 Sugar beet	花生 Peanut
茄 Eggplant	菓蓀 Currant	冬瓜 Pumpkin
防風 Parsnip	芹菜 Celery	花椰菜 Cauliflower

四 土壤酸性之測定法

測定酸性土壤之法，可分為兩種，定量法與定性法是也。

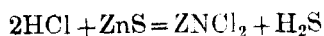
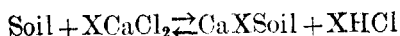
(1) 定性法 此法甚多，茲述其要而易行者如下。

(甲) 試紙定性法 此法手續簡單，易於舉行。又此法有不用硝酸鉀與硝酸鉀兩種。

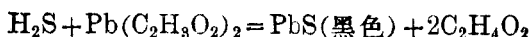
(A) 不用硝酸鉀法 此法先將土壤放於盤內，加水少許，俾其溼潤。後再將試紙放入土內，若土壤為酸性，則藍色試紙變紅色。察其變色之速遲及輕重，以判定土壤酸性之強弱。

(B) 用硝酸鉀法 此法亦先放土壤於盤內，加硝酸鉀溶液（中性鹽）少許，使其溼潤。若土壤為酸性，必將硝酸鉀內之鉀分吸收，而遺硝酸基於土內。以藍色試紙試之，若變紅色，則土壤為酸性。

(2) 硫化銻測定法 此法近較盛行。先取土壤十公分左右，放於大底瓶內。加綠化鈣（ CaCl_2 ）及硫化銻，再加水七十五公分，使其混和，然後熱之。及沸，置溼潤之醋酸鉛紙 $[\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2]$ 於瓶口上面，繼續加熱沸之。約五分鐘久，經土壤之選擇吸收作用，其鈣分被土壤吸去。其酸土中之輕伊洪即與綠化物之 Cl 化合，而成鹽酸及硫化輕。其反應程式如下。



硫化輕 H_2S 被熱逐出，即與鉛紙相遇而成黑色硫化鉛。此黑色硫化鉛即為土壤酸性之表示也。



(2) 定量法 定量土壤酸性之法，亦有種種。茲僅述二種於下。

(甲) 中性鹽類定量法 此法可將規定之硝酸鉀液加入土中，振動約三小時之久，靜置一夜，然後熱之。將碳酸氣逐出。待冷後，用標準之輕養化鈉液中和之。由輕養化鈉所用之量，以計算其酸性之大小。

(乙) 石灰水定量法 此法用定量之土壤數份，放入數個蒸氣皿中，各加以不同量之標準輕養化鈣溶液。倘其中有一被中和時，則從此中和者計算所用石灰水量之多寡，推算土壤酸性之大小。

五 酸土之改良

酸土為不適於一般農作物生育之土壤。或減少作物之生產量或變劣其品質。至於土壤中一般微生物之發育，亦多不適。故改良酸土亦甚重要。其改良之法，雖有種種，而根本要圖，不外鹽基物之增加。蓋土壤酸性之發生，無論其為含酸類與不含酸類，均與鹽基物有莫大之關係。苟土中之鹽基不形缺乏，其不含酸類之酸土，固不致發生酸性。即含酸類者，其酸基或游離酸素，亦必被鹽基中和。故改良酸土，重在鹽基物之增加。但鹽基物之種類甚多，其增加種類亦不可

不知。大約鹽基物能用以中和土壤酸性者，不外鈣，鉀，鎂，鈉等成分。鈉則對於土壤可生有害化合物，鉀則價值太昂，鎂則施用多，亦生毒性，均不宜於多用。惟鈣則價值既廉，奏效極大，多用亦無甚害。故增加石灰，乃改良酸土之惟一方法惟一物質也。他如少施酸性肥料，以免酸性物之增加，栽培能耐酸性之作物以期酸性物之減少及防止鹽基物之流失種種，亦為改良土壤酸性所當注意者也。（參看土壤之石灰章）

第十九章 土壤之石灰

石灰對於土壤之關係甚爲重要。農業上施用石灰之歷史，亦極爲久遠。歐洲羅馬帝國時代，已盛行施用。在十一世紀時，英國施用泥灰石(marl)甚盛。十二世紀時，德國亦盛用之。他如日本水田之施用石灰亦古。至於我國栽培作物，施用石灰之事實，諒亦維時久遠。特始於何時，則無可稽考耳。

現今科學昌明，土壤肥料之研究，頗形進步。石灰之功用益爲顯著。昔所謂肥料三要素者，今有四要素之稱。即磷，鉀，鈣是也。(在一八六七至一八七四年)喬治維爾(Georges Vill)氏行栽培試驗，發現磷鉀鈣四者，均爲各種作物所必需，故謂磷鉀鈣爲顯性肥料成分(dominant constituents)。

石灰雖爲植物生長所必需之物質，惟施用當否，均有顯著之利害。苟用之得當，其效甚大，否則亦頗足爲害也。故東西農家有謂石灰國者，富國也。又有謂石灰者，可使父富而子貧。曩者日本竟有石灰亡國之論。明治三十一年九月，鹿兒島縣首先頒布石灰禁令，勿許農人施用。凡此種種，雖爲

施用石灰經驗之談。然皆由於施用石灰當與不當之反應，而非石灰本身固有此利害現象也。我國南部水田，施用石灰甚盛。其當與否自有待於研究者。茲將石灰之種類及其對於土壤利害之關係，植物生長之影響，與施用之要義分別而言之。

一 石灰之種類

廣義言之，凡含有鈣分之化合物。如石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，磷酸鈣 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ ，矽酸鈣(Ca_2SiO_4)等，皆可謂為石灰。甚至養化鎂(MgO)，輕養化鎂 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ ，及碳酸鎂(MgCO_3)等，亦有謂為石灰者。以其對於土性(酸土)之改良，具有石灰相當之功效故也。狹言之，則指四十分之鈣與十六分之養之化合物也。但普通農業上所謂石灰者，概別為三種。(一)火化石灰，(二)水化石灰，(三)碳酸石灰。

(1) 火化石灰(CaO) 火化石灰，即普通所謂生石灰。又曰速性石灰(quick lime)。或苛性石灰(caustic lime)。此種石灰，由石灰石經火化煉，去其所含之碳酸氣而成。當石灰石在窯內燒煉時，則石灰石分解。其分解時，碳酸氣及其他氣體即行放出。 $(\text{CaCO}_3 - \text{CO}_2 = \text{CaO})$ 此石灰呈顯著之鹼性反應，可中和一切酸類。易使土中其他不溶性之植物養料變為有效養分。一般土壤均可施用。

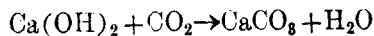
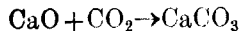
(2) 水化石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 水化石灰，即普通所謂熟石

灰。由火化石灰加水變成，當火化石灰遇水分解時，即變水化石灰 $(\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2)$ 。此石灰亦呈顯著之鹼性反應。可中和土中一切酸類。農業上之施用亦甚普通。

(3) 碳酸石灰 (CaCO_3) 碳酸石灰為火化石灰加碳酸氣而成 $(\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3)$ 。此石灰之鹼性反應，不若前二種之顯著，其效亦遜。農業上之施用尚多。但此種石灰種類甚繁，茲略分述如下。

(甲) 碎石灰石 所謂石灰石者，嚴格論之，則專指碳酸石灰而言。其石灰石倘含有碳酸鎂 (MgCO_3) ，則謂之鎂石灰石。但普通所謂石灰石，多指含鈣及鎂兩種岩石而言。石灰石粉碎後，即為碎石灰石，可直接施入土壤。若土壤為砂質者，則用之更佳。

(乙) 氣化石灰 氣化石灰係火化石灰或水化石灰吸收空中之碳酸氣所成。蓋火化石灰與水化石灰易吸收碳酸氣體，故曰氣化石灰。此石灰多半細微，可直接施入土中。



(丙) 泥灰石 泥灰石稍帶脆性，所含碳酸石灰之量甚有差異。沼澤之中，常有泥灰石牀。惟施入土中時，宜使稍乾為妙。

(丁)廢石灰 廢石灰者，工業上之副產物也。如石灰窯，造紙廠，甜菜製糖廠，及製革廠等等，皆有此副物。但多含夾雜物質，有害植物之生長，不甚適用。

(戊)碎介殼 碎介殼含碳酸石灰甚多，如蠔殼蚶殼等。其污物及有機物質除去時，所含石灰之量，約百分之九十至九十五。當此殼破碎時，即良好之石灰質也。

(己)碎珊瑚 珊瑚含碳酸石灰之量，約與介殼相同。

(庚)大理泥 大理泥亦為大理工場之副產物，所含碳酸石灰之量亦多。

(辛)鉛粉 鉛粉含碳酸石灰亦多，在歐洲各國，積量甚富。常施入土中。

以上八種，皆碳酸石灰之重要者。亦即土壤石灰之來源。其質愈細，施用愈便，溶解愈易，效果愈為良好。

二 石灰對於土壤物理性之關係

土壤組織，為土壤物理上最要之性質。其良好與否，關於土壤生產力之大小，極為重要。苟土壤之組織過於緊密，則其排水通氣，難望良好。且耕作不易，土溫甚低，自非植物生長所宜。黏重土壤每多此弊。故農家栽培作物，不可不先事改良也。其改良之道，雖有多端，而施用石灰最為有效。蓋石灰有成團之功能，可將細小土粒互相團結，造成團粒組

織。吾人若以細微黏土混於水中，則土與水混合而成濁形。若加以石灰，則細微土粒，互相團結，而沉於水底，其濁液立變澄清。考石灰之所以有此作用，能造成團粒組織者，乃由於石灰溶解後，變成一種細薄之鈣膜，圍繞各土粒之周圍，俾土粒有所間隔，故不致十分緊密也。

石灰既具成團作用，但其種類不同，其功用亦異。火化石灰及水化石灰最強。碳酸石灰甚弱。總之，含石灰多之土壤，其組織大半疏鬆。據瓦林賴氏曾在英國農場試驗報告，施用多量石灰之黏重土壤，用二馬耕地，可當三馬。凡結構相同之土壤，其石灰多者較石灰少者之團粒組織為佳。

三 石灰對於土壤化學性之關係

(1) 改良土壤之酸性 酸性土壤最不適於一般作物之生長者。可別為含酸類與不含酸類兩種。而皆具有酸毒性，均不利於一般農作物之生長。含酸類之酸性土壤，乃土壤中含有游離酸類。不含酸之酸性土壤，乃土壤中本無酸類存在，但因數種有毒性之游離鹽基較多，而鈣鹽缺少故也。（參看酸性土壤章）總之，土壤所以發生酸毒性者，均與石灰有莫大之關係。苟增加土中之石灰，則不含酸類者其數種有毒性之游離鹽基，與鈣化合，不致發生毒性為害作物。即令含酸類者，其酸根或游離輕伊洪必被石灰中和，亦無毒性發生。

(2) 減少土中之毒性 土壤中之毒質甚多，大別為無機毒與有機毒兩種。石灰有抗毒作用，可以抗抵之。例如有機物分解時，即發生有機毒。若有適量之石灰中和之，則不致發生毒性，為害作物。無機毒亦曰礦毒，此種毒質甚多，凡重金屬鹽類，皆為有害作物生育者。如黃銅礦，輝鉛礦等，均有害植物生育之物質。產硫化物之地，每多此種礦屑混入土中。是等金屬能為可溶解之化合物，即能直接為害作物。凡具有毒性之土壤，苟施用石灰以中和其酸性鹽類，使溶解之銅或亞鉛等化合物變為不溶解性化合物，則毒性乃減。他如砒酸亦土中最有毒之物，施用石灰，亦可稍減。

(3) 增進土壤中可給態之鉀及磷酸肥料 石灰之鹽基置換作用，可將土中不可給態之養分變為可給態。如矽酸鉀所含鉀分為不可給態者，植物不能利用。若加入石灰，則鈣即與鉀置換。其鉀分則變可給態之輕養化鉀。 $(2K \text{ silicate} + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca \text{ silicate} + 2KOH)$ 植物可以利用。又土中之磷酸肥料，多為磷酸三石灰，磷酸鐵及磷酸鋁三者而存。此三種磷酸肥料，均不易溶解。惟磷酸三石灰溶解較易，而磷酸鐵及磷酸鋁溶解尤難，植物皆不能利用。若加入石灰，則鐵及鋁與石灰起鹽基置換作用，變為磷酸三石灰，較易溶解。若土中之水多含碳酸氣時，則溶解更易。

(4) 增加肥料之效力 石灰有增加肥料對於植物生長之效力，例如同一土壤，同施一種肥料，其石灰之施用與否影響於植物生長收量之多寡，頗有異同。施石灰者較未施石灰者為多，據俄亥俄(Ohio)試驗場之試驗，以五種作物，(玉蜀黍，燕麥，小麥，苜蓿及牛草)行五年輪作法，用磷酸，氯化鉀，硝酸鈉及廐肥四種肥料。一施石灰，一不施石灰。其結果施石灰者較未施石灰收穫增多。用磷酸肥料者增加百分之二〇。用磷酸及氯化鉀者增加百分之二二。用完全肥料者增加百分之十，用廐肥增加百分之四。茲將試驗結果錄之於下。

表 八 八

肥料之種類	由石灰得者	由肥料得者	
		未加石灰者	加石灰者
磷酸	100	100	120
磷酸十氯化鉀	114	142	173
磷酸十氯化鉀十硝酸鈉	119	232	255
廐肥	113	287	300

(5) 調節苦土之害 苦土為土壤主要成分之一。然其量過多，甚足為害。調和之法，惟施石灰。通常苦土之量多於

石灰之量，則有害植物之生長。羅 (Loew) 氏謂土壤中可給態之石灰與苦土有一定之比率。在一定比率時，則於諸種植物最易令其繁茂。但此比率，因植物之種類而異。計算時，以苦土爲一而定石灰之率，謂之曰石灰率。石灰率在禾本科植物爲一與一之比(石灰 1 : 苦土 1)。甘藍洋葱爲二與一之比(石灰 2 : 苦土 1)。麥豆桑等爲三與一之比(石灰 3 : 苦土 1)。甚至有四與一之比或七與一之比，全視植物之種類或其他情形而異。總之土壤中苦土之量過於石灰之量，則宜施用石灰以改良之。

四 石灰對於土壤微生物之關係

石灰對於土壤微生物之關係，亦頗重要。而以水化石灰及碳酸石灰最爲有利於微生物之生育。蓋土壤中之微生物分有害與有益兩種。有益微生物甚忌酸性，而喜鹽基物，石灰尤佳。苟土壤中之石灰豐富，則土中各種分解細菌之發育，自成良好。

(1) 石灰利於有機物分解的微生物之發育，可以促進土中有機物之分解作用。

(2) 石灰利於鈣化微生物之發生，可以促進土中之鈣化作用。

(3) 石灰利於硝化微生之發育，可使土中硝化作用良好。

若土中施用硫酸銨爲肥料時，則炭酸石灰尤爲需要。

(4) 石灰可使根瘤菌發育繁盛。

(5) 石灰可促進土壤中能利用空中游離淡氣細菌之發育，(此等細菌非與植物營共生作用乃單獨生長於土壤中者)。

五 石灰對植物生理之關係

石灰對於作物生長之關係，亦極重要。其直接或間接影響於作物生理者頗大。茲有數端，略分述之。

(1) 植物直接之養分 石灰雖非一般作物之直接養分，但於數種作物，如苜蓿及其他豆科植物等。皆可爲直接養分，且甚重要。

(2) 增進植物吸收養分之力 石灰者，有促進植物吸收養分之功能。因植物吸收養分力之多少。與植物細胞之強健否大有關係。石灰能輔助植物細胞膜之生長發育，而使細胞膜強健。

(3) 增加植物製造養分之力 植物製造養分力之大小，視其運輸敏捷與否。苟其運輸遲鈍，則植物製造養分力必減。運輸敏捷，則植物製造養分力乃增。考石灰能增進植物澱粉之運輸，從植物之葉內運到果實或種子。其功用蓋等於鉀。

(4) 促進植物根之發育 大凡富於石灰之地，其植物根

之發育必較無石灰者爲佳。

(5) 減少作物之病害 石灰有毒殺病菌之力，有數種病害，石灰可以滅除之。例如十字花科之根瘤病，馬鈴薯之痂皮病等，石灰均能除去之，而以苛性石灰爲尤甚。以其養化力最強故也。

(6) 防止雜草之蔓生 雜草爲作物生長最大之敵。苟雜草蔓生，則作物發育必形惡劣，自可斷言。惟一般雜草，多喜酸性，石灰多之土壤不適於生長，苛性石灰多者尤不宜焉。

六 石灰濫用之弊端

石灰之功用既如上述，然施用亦有一定限度。苟施用過多，亦不能無害。惟初用時總爲有益，其害鮮少。但久而久之，其害乃見。故西諺有謂「石灰可使父富而子貧」者，良有以也。茲將其濫用之害，略分述之。

(1) 有使有機物缺乏之患 石灰利於各種微生物之發育，固可以促進土中有機物分解作用。惟石灰過多，則有機物之分解過盛，有使土中有機物缺乏之患。砂土或有機物少之土壤而多施苛性石灰時，則爲害更深。故施用石灰宜於有機質多之土壤，或同時增加土中之有機物肥料爲佳。否則徒多施石灰而不謀土中有機物肥料之補充，則土壤性質必漸變劣。故西諺有謂「苟僅用石灰而不用綠廐肥者，將必田園瘠薄。

農民苦矣。」

(2) 有使淡素流失之虞 淡素爲土中成分最重要之物。植物生長最不可少之養分，不宜虛耗，自不待言。石灰者，利於各種硝化微生物之生育，可以增進土中之硝化作用，而造成多量有效之淡素，以供植物之攝取。但石灰過多，硝化作用太盛，其造成有效硝酸態淡素之量過於作物攝取之量，作物不勝利用。土壤保存最難，於是必隨排水而流失。

(3) 可變劣土壤之性質 石灰固可使土粒互相團結，有疏鬆土壤之功能。但施用過多，土壤過鬆。亦屬不利。且過多時，易與土中矽酸化合，與黏土共同沈澱。常使下層土性硬化。苛性石灰其害更甚。又泥炭等土壤多施石灰於表層時，則表層之腐植質被分解盡淨，保水力減弱，易罹旱害。

(4) 可抑制有益微生物之發育 凡土中有益微生物之發育，較適於鹼性鹽類。但過含鹼性，亦非所宜。苟石灰施用過多，鹼性變烈，則有益微生物之發育，自必受其抑制。

(5) 可變劣農產物之品質 石灰之用量愈多，則數種農產物之品質愈不良。例如栽培水稻之田，濫用石灰，則稻稈硬化，脆弱而易折。其米粒品質亦遜，剛性及光澤均劣，且乏於蛋白質。

七 用石灰之要義

石灰對於土壤之利弊，均已詳述。然善用之，其利多而害少。故施用石灰不可不先知其施用之要義。否則不當用而用，當用而不用，當用而濫，或用非其時 非其法者，均屬不宜。茲分述如下。

(1) 石灰需要之測定 在濕潤地方施用石灰均為有益。因濕潤之地，往往石灰缺少。若乾燥地方，則有不然。農家施用石灰，當先知土壤需要與否及需要之度若何。茲有數點，宜注意焉。

(甲)土壤之酸性 酸性土壤，必施石灰。酸性強之土壤宜多施。

(乙)作物之性質 作物之種類不同，而需要石灰之性質各異。大凡栽培需要石灰之作物，(如豆科)則宜施石灰。非需要石灰之作物或對於石灰反有不良之影響者，則不施用。

(丙)輪栽之方法 輪栽之方法不同，而石灰之施用與否，亦隨而異。

(丁)施肥之種類 所施肥料含有適量石灰則可不用，否則反是。

(戊)廐肥及綠肥之用量 施用廐肥或綠肥時，宜用石灰。多用廐肥或氮肥時，亦宜多用石灰。

(2) 石灰種類之選擇 石灰之種類甚多，何種最為適用。

亦當熟計。考石灰價值之高低，全視其含養化鈣成分之多少而定。蓋養化鈣質細而效速，對於酸土更爲有益。故施用任何一種石灰。(甲)當知其所化養化鈣成分之多寡。(乙)功效之大小。(丙)作用之速緩。(1噸之火化石灰，其所有養化鈣之量，等於1.3噸之水化石灰，1.8噸之碳酸石灰。其中和酸性之功效，於同等乾燥及含量時，1噸火化石灰亦等於1.3噸之水化石灰，1.8噸之碳酸石灰。其作用之速率，粉碎之火化石灰，約三倍或三倍以上於粉碎碳酸石灰)。

石灰之成分、功效，及作用既知，他如價值之貴賤，運費之多寡，施用方便與否，均宜計及。譬如水化石灰含百分七十之養化鈣者，每噸售洋四元。碎石灰石含百分五十之養化鈣，每噸售洋二元二角，每噸運費一元。施用費五角，於是用水化石灰一噸。應費洋五元五角。 $(\$4.0 + \$1.0 + \$0.5 = \$5.5)$ 但一噸水化石灰，相當於1.4噸之石灰石。是用水化石灰一噸時，即應用石灰石1.4噸。則應費洋五元一角八分。 $(\$2.8 + 1.4 + \$0.7 = 5.18)$ 由此觀之。兩種石灰之價值相差雖微，然苟運費低廉，或距離較近，施用方便，則施用石灰石較爲經濟。否則運費賤或距用地甚遠，則施用水化石灰，較爲有益。

(3) 石灰施用量 石灰之需要及種類既知，而石灰施

用之量，亦極注意。或多或寡，隨各種情形而定。如土壤之性質，作物之種類，輪栽之方法，肥料之種類及用量。此種種情形，對於石灰之用量。除酸性土壤特別情形外，每畝（中畝）約二百斤左右。（石灰石）茲將各種土壤應施各種石灰之量，略述如左。

輕鬆土壤 (每中畝)	弱酸性	炭酸石灰 200—250 斤
		火化石灰 60—120 斤
	強酸性	炭酸石灰 500—1000 斤
		火化石灰 200—400 斤
黏重土壤 (每中畝)	弱酸性	炭酸石灰 250—400 斤
		火化石灰 100—200 斤
	強酸性	炭酸石灰 500—1200 斤
		火化石灰 250—500 斤

(4) 石灰施用法與施用期 石灰施用之法，因其種類不同，略有差別。總之任用何種石灰，勿施在土面，宜入土中稍深。約達三吋至五吋為宜。石灰施後，用耙攪拌之，使石灰與土壤完全混和。耕好之地，即施石灰亦佳。除永久草地或牧場可施在土面外，其餘若施在土面，則為效較少。黏重土壤尤忌。

施用石灰之期，亦隨田間種種情形而異。大凡多種豆科

作物或玉蜀黍燕麥時，其地可常用石灰。土壤過於濕潤，不宜驟施石灰。因土壤過濕，石灰每團結成球，分佈頗不均勻，而水化石灰及火化石灰尤屬不宜。

第二十章 土壤生物之概論

土壤中存在之生物甚夥，有祇能由顯微鏡下窺見者。有爲肉眼所能見者。故土壤中所有生物，可或爲兩大類。即大生物與微生物是也。

一 大生物

土壤中大生物屬於動物者，爲啮齒類，爬蟲類，昆蟲類。屬於植物者，爲大菌藻類及植物根等。

(1) 啮齒類 啮齒類動物，如田鼠、鼯鼠等。此類動物，生於土中，有穿土爲穴，掘土而居之特性。故常能使土壤粉碎及搬運土塊。對於農業經營上，雖有不利之處，然實能疏鬆土壤，可代耕鋤之功效，而使土中水分空氣得以流通。

(2) 爬蟲類、蚯蚓爲土中最有益之動物，影響於農作甚大。蓋此蟲棲息土中，以泥土爲食餌。泥土通過其中時，所有有機物則取之以爲食料而消化，其餘無機物仍隨糞排洩而出。由是土壤遂變爲鬆散，并結成小粒結構。據達爾文氏之測驗，謂苟在濕度適宜之土地，每年每英畝之土壤爲蚯蚓吞

食而排洩者，約有十噸之多。且此蟲能掘窟土壤，使土壤中成無數小穴，空氣水分易於流通。又有搬運土壤之能力，可將下層土壤翻至上層。而利於通氣透水。有時在肥沃之土地，為水淹沒，致將蚯蚓浸死，則其地遂變成瘠薄。於此可證明蚯蚓對於土壤之有益。又據武尼氏曾試驗以兩地栽植同一作物，一地土中有蚯蚓存在，他一地不令蚯蚓生存，其結果有蚯蚓地較無蚯蚓地之收穫為多。觀此試驗，蚯蚓影響於土壤及作物，則更顯明。該蟲大部嗜棲息於堅硬與黏重之土壤及潮濕地，而砂土與乾燥地則甚少，或至全無。大抵堅硬的黏重土，與蚯蚓相需物般。而砂土乾地無須此種動物之工作也。

(3) 昆蟲類 昆蟲類如蟻，甲蟲及各種穿穴之幼蟲等。此類動物，身體細微，對於土壤之效用，遂不若蚯蚓。但能移動土粒以通空氣。且能聚集土中有機物。

(4) 大菌 菌之較大者每令植物本質部腐朽，由是細菌得隨而殘害之。森林之地，常受此害。普通田園中甚少。

(5) 藻類 藻類影響於土壤甚微，非有別特情形，藻類鮮有生存於土中。

(6) 植物根 植物根部生長於土壤中，當植物收穫或凋萎時，其根部必殘留土中而腐爛，(除木本及宿根性植物)以增加有機物。且根部腐爛後，土中遺有無數小孔，以利通氣

透水。此種影響，以根之深者及大者之植物爲尤著。

二 微生物

土壤中所有之微生物，可分爲四類。(1)原生動物。(2)菌類及藻類。(3)絲狀菌及酵母菌。(4)細菌。

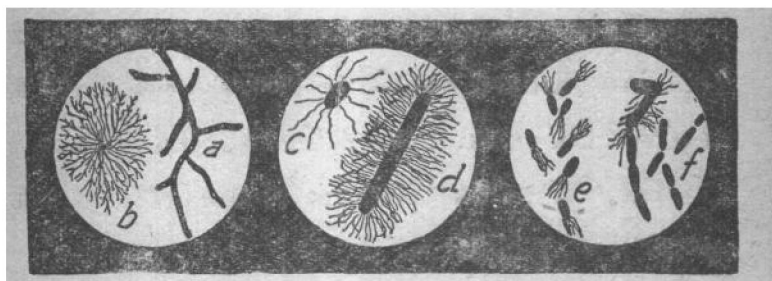
(1) 原生動物 原生動物如輪蟲，線蟲等，及生長土中各種細微之動物。據斐勒爾(Fellers)及阿力遜(Allison)兩氏之試驗，謂每種土壤至少有原生動物兩種，至多二十八種。苟土中富於有機物及充分水分，則原生動物之生存亦夥。

(2) 菌類及藻類 土壤中菌類普通稱爲黴菌。土中大部分有機物之變化，即賴此等菌類之作用。因此等菌類，能助有機物分解。於有機物分解初期尤爲需要。據威克斯曼(Waksman)氏研究，謂土中淡素有機化合物所以產生阿摩尼亞乃黴菌分解纖維質之作用所致也。黴菌存在土中之繁盛與否，以土壤之性質及其種類不同而別。在森林地一公分土壤，其中有黴菌八千，草地有一千四百萬，表土中較心土中爲多。

(3) 絲狀菌及酵母菌 絲狀菌其體形似絲狀，有頗類似細菌者。但其性質與細菌不同，其生長極密，研究殊艱。且分布甚廣，草地中常較栽植作物之土中爲多。據馬克白斯(McBeth)氏之研究，謂絲狀菌生長於土中，有分解有機纖

維質之作用。酵母菌則體細微，成卵狀或球狀。其繁殖由於芽生法。土中存在頗多，表土中尤多。

第 三 十 二 圖



(a) 絲菌 (b) 紅狀菌成羣狀 (c 及 (d) *Protococcus Vulgaris*
(e) *B. subtilis* (f) *B. mycoides*

(4) 細菌 土壤中各種微生物以細菌為最重要，作物所以能生長繁茂者，可謂全賴土壤中細菌之作用。蓋細菌能將土中一切有機物及無機物溶解為溶液，以為作物之養料。故若土中無細菌生存或繁殖不旺，則土質變瘠。雖有多量之有機物及無機物，而作物不能利用為養料。於此可知細菌對於土壤之關係，殊為密切矣。

細菌為最下等之生物，乃單細胞之分裂菌也。其體極細微，直徑僅 .001 至 .002 m.m.。其狀有三。(甲)桿狀。(乙)球狀。(丙)螺旋狀。土壤中以桿狀細菌為最多。常叢集一羣，圍繞土粒。其生殖為分裂作用，繁衍極速。每一細

菌，自第一次分裂後至第二次分裂時，僅需二三十分鐘。倘土中各種情形良好，每一晝夜(二十四小時)每一細菌能產生300,000,000,000,000之多。其中固多死滅者，然由此可知土中細菌數目之多少，當無從計矣。大概言之。每一公分乾燥之土壤，其中約有500,000至1000,000,000。肥土及氣溫適宜之土壤，較此數更多，表土中亦較心土中為多。

細菌發育與各要素之關係 土壤中細菌常受種種要素而影響其生育，茲略述於下。

(a) 養氣 凡土中之細菌，均需有相當養氣之供給，方能生長良好。然亦有在養氣不足之地而能生存者。其需要養氣之細菌，名曰好氣菌。不需養氣(或在稀薄養氣中)之細菌，名曰嫌氣菌。好氣菌能使土中有機物中所有之原素與養氣化合，而變為可給態之化合物，以為植物養料。且能令土中分解作用迅速。如硝化作用，固定遊離淡素作用等，皆此種細菌之功也。至嫌氣菌能使土中之纖維質變為可給態化合物，又能將有機物中養氣除去，而變為氣體化合物。故此兩種細菌，在土壤通氣良好之處，則有好氣菌，在土壤閉塞之處，(即通氣不好之地)則有嫌氣菌。

(b) 溫度 土壤中各種生物，均需有充分溼度始能生存，細菌亦然。倘土壤過乾，則細菌不能生活，或立即死斃。但

土中溼度過大，養氣必致減少。養氣過多，溼度亦必低減。故養氣充足之土壤，則好氣菌生育旺盛。反之，溼度大之土壤，則嫌氣菌易於生存。

(c) 溫度 細菌能經過寒暖氣候，而得繼續生長不停。在嚴冬之際，蟄伏土中，雖受冰霜之侵害，而不能致死。待氣候和暖，又起而活動。在溫度華氏七十度至一百一十度，爲其生育最盛之時。至華氏一百一十度以上，其生活力逐漸消失。若及至華氏一百三十度至一百四十度時，僅需十分鐘之時間，則細菌必全斃命。倘溫度較此更高，則細菌更易死亡。但在孢子期中，雖溫度至沸點亦能抵抗，而不得致其死命。荒蕪之地，近表土之細菌最易受高溫之影響，以致發育不良。

(d) 有機物 土壤中有機物影響於細菌甚大。蓋有機物所含各種有機成分，可供給土中各種生物之食料。細菌得以生活者，亦以此耳。但細菌亦能使土中有機物增加，及促進其分解作用。富於有機物之土壤，細菌生育必盛。

(e) 日光 細菌生育最忌日光。苟將細菌曝露日光之下，數小時內必斃。惟孢子則不易受此害，故土壤中若有日光射及，即能減少細菌之繁殖。

(f) 化學性 土壤之化學性質，對於細菌頗有關係。含

酸性之土壤，對阻止細菌生育，或致其死命。蓋細菌喜生存於中性或微鹼性土內。有時細菌自身能造成一種酸質而自爲害。倘土中有鹽基物質與之化合而中和之，其害可免。

(g) 物理性 土壤物理性質之良否，關於細菌發育之盛衰。苟土壤之物理性質惡劣，則細菌之發育必告衰落或停止。故純黏重土或純砂土及排水通氣不良之土壤，細菌發育，均受阻礙。

三 土壤生物對於高等植物之利害

土壤中生物之夥，已如上述。其對於高等植物之影響，有有益者與有害者。有益者，謂土中生物能改良土性，製造養料，以資植物利用者也。有害者，謂土中之生物能變劣土性，爲害植物之生長或致其死命者也。故土中生物之有益或爲害，影響於高等植物極大，茲分別略述於下。

(1) 有益之生物 土中生物，對於高等植物有益者。大概言之，以微生物爲最多，大生物次之。如微生物中，有能搬運土面上之動植物遺體而至各處爲高等植物所需之養料。已死動植物之有機化合物，甚爲複雜，非有微生物之作用，將其分解爲簡單化合物，則植物不能吸收，以資營養。已死動植物被微生物分解後，所發生之淡氣，可直接爲植物之養分。所發生炭氣及養氣可間接使土中礦物質易於溶解。當有

機物分解之際，一部分之遊離淡氣，逃散於空氣中。另有他一種微生物，能將空氣中遊離淡氣復行取回，經過數種變化，成爲硝酸鹽，而供植物營養之用。

大菌及絲狀菌有分解淡氣及非淡氣有機化合物之作用。黴菌能使阿摩尼亞發酵，而變爲蛋白質。亦能從阿摩尼亞之淡素鹽類而變成複雜蛋白質。又黴菌與藻類均有固定空氣中遊離淡素之作用。并能分佈碳酸化合物，爲固定淡素細菌之利用。大生物中，對於植物之有益者，爲蚯蚓蟻等。

(2) 有害之生物 土中生物之爲害，亦以微生物爲最。如菌類及細菌類，每每寄生於高等植物體上，而侵害其生育器官。(如根等)當其在生孢子期中，亦有傷害高等植物者。然此種情形，非土中微生物所爲也。土中微生物爲害於高等植物者，僅能使其發生病害。如棉豆，西瓜，蔴，煙草，茄等之黃萎病，根爛皮傷等症，皆土中微生物所致也。

菌類及細菌類生存於土中，爲時頗久。若植物已受過此等微生物之害，不宜再栽種植物於此種土壤，庶幾此等微生物於數年內死盡。然亦有非俟土中之有機物消滅淨盡，不能死滅者。一般土壤中一旦傳染爲害之微生物，則此種生物久居於此，驅除殊不易易。其防除之法，惟有施用石灰於土中，或行輪植法，亦屬有效。

普通田園常有永久繼續栽植少數作物者，每見其收穫逐年減少。據玻勒(Bolley)氏之研究，謂此乃由於土中菌類所殘害以致發生病害之故。

大生物之有害者，爲原生動物。此種生物之習性，大都爲寄生作用，能傷害植物根部或其他部分。

第二十一章 土壤微生物與淡素

淡素爲植物所需要之營養料。苟土中缺少淡素，則植物不能生長。第此種養料，植物需用特多，而土壤排水及飛散所損失之量亦復不少，故研究土中淡素，亦農業上最重要之問題也。

淡素之來源以空氣中爲最多。空氣中淡素經過細菌作用，能入於土中，由植物吸收而入於其體內。迨植物腐朽後，乃復歸於土中。又植物爲動物所食，經過動物體內，再由動物排洩轉入土中。如斯循環無息，而呈不生不滅之狀態，即稱爲淡素循環作用。此作用極爲複雜，變化情形殊爲紛繁。其中必須經過種種微生物的作用及化學的反應，然後循環作用始得完成。

一 分解作用及腐朽作用

土壤中有機物於有空氣處而分解者，即稱爲分解作用。於無空氣處而分解者，即稱爲腐朽作用。土中淡素化合物，分解迅速，變化情形正爲複雜。有多數有機物分解後，即能

爲植物利用。據哈欽孫(Hutchinson)氏及密勒(Miller)氏等學者研究，高等植物對於淡素有機化合物之同化作用所得利益，殊爲顯著。例如栽植作物，苟施用廐肥，則作物受廐肥之刺激，生長十分繁茂。蓋廐肥中含有多量淡素有機化合物，如尿酸等，皆促進作物生長也。

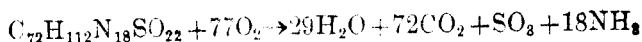
土中分解及腐朽作用之所以發生，乃由於微生物而起。微生物能助有機物分解及腐朽作用者亦多。其普通者，如枯草桿菌(*B. subtilis*)，銹化桿菌(*B. mycoides*)及各種菌類。

二 銹化作用

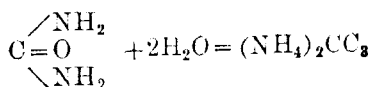
凡含淡有機化合物分解時，發生阿摩尼亞，是爲銹化作用。亦曰阿摩尼亞發酵作用。即土中淡素有機化合物分解之第二步簡化作用也。此爲微生物作用所致。夫淡素固爲植物重要之營養料，當其爲未分解有機化合物時，植物不能利用，必須經過分解作用而成爲阿摩尼亞與阿摩尼亞鹽類，始能爲數種植物所利用。又阿摩尼亞化合物，概受硝化作用成爲硝酸鹽類。一般植物，均能利用矣。

土中銹化作用，多由土中之微生物如菌類藻類及細菌類之作用而起。土中菌類，大都均能助阿摩尼亞酵。據威克斯曼氏之研究。用數種霉菌如 *Mucor racemosus*, *Penicillium*

lilacinum, *Rhizopus* sp. II 等行人工培養，而知此數種霉菌均有發生阿摩尼亞作用。細菌類之能起阿摩尼亞發酵者。如 *B. subtilis*, *B. mycoides*, *B. mesentericus vulgatus*, *B. janthinus*。據馬割耳(Machal)氏曾以桿狀細菌培養於蛋白質中性溶液中，則有阿摩尼亞及二養化炭發生。并含有微量 Peptone, leucine, tyrosine 與 formic, butyric, propionic 酸。蓋蛋白質分解，苟遇空中養氣，則化合變成二養化炭。所有硫變為硫酸鹽。水素一部分變為水，一部分與淡素化合變為阿摩尼亞。其化學變化程式如下。



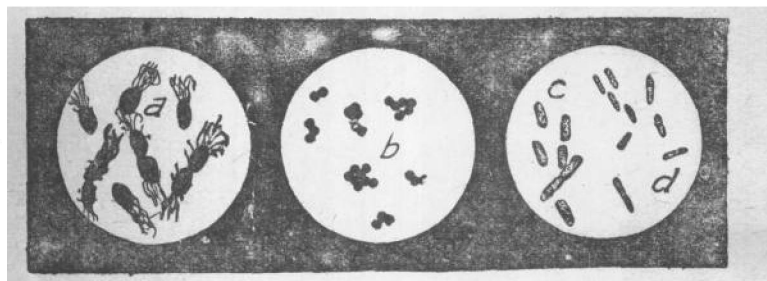
尿素分解所發生阿摩尼亞，亦細菌作用也。因尿素中有尿素細菌 *ureobacteria*。如 *Urobacillus migueli* 及 *Urobacillus lenbi* 其化學變化程式如下。



凡人糞尿貯藏時，恆起此種變化。細菌中最先發見者，以此為嚆矢。名曰 *Micrococcus ureal*。今尚陸續發見，不可勝數。腐敗有機物肥料中，亦有一種腐敗細菌，能發生鏽化作用。

有機物未經分解以前，固不能為植物養料。若具有分解

第 三 十 三 圖



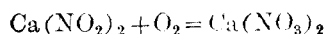
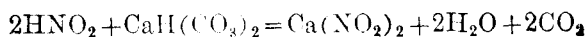
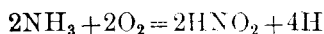
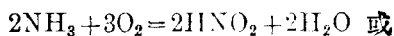
(a) *Azotobacter agilis* (b) Nitrate bacteria
 (c) *Uro-bacillus miguelii* (d) *Uro-bacillus lenbii*

作用之細菌，加入土中，不久即發生有效淡素化合物，可為植物吸收。據斯托克拉薩氏曾以 *B. megatherium*, *B. fluo rescens* (均腐敗細菌) 兩種細菌混和於骨粉中，加入土壤，即能多得淡素磷酸之效。在排水適宜空氣流通及含多量鹽基物之土壤中，其銨化作用之發生，每易旺盛。原生動物，能阻止銨化作用，但僅在乾燥土地中有之。

三 硝化作用

土中淡素有機化合物分解發生阿摩尼亞後，即有一部分可為植物所利用。如稻，大麥，玉蜀黍，豌豆及馬鈴薯等作物，皆能吸收阿摩尼亞鹽類。然一般作物所需淡素為養料者，乃以硝酸鹽類為多。至若作物，其利用阿摩尼亞鹽與利用硝酸鹽是否得同等功效，實無一定憑證。普通土中淡素有機化

合物分解成爲阿摩尼亞後，並不停止變化。經養化作用，繼續變爲亞硝酸。又與鹽基化合物化合成亞硝酸鹽類。再經養化作用變成硝酸，與硝酸鹽類。如此變化，即稱爲硝化作用。其化學程式如下。

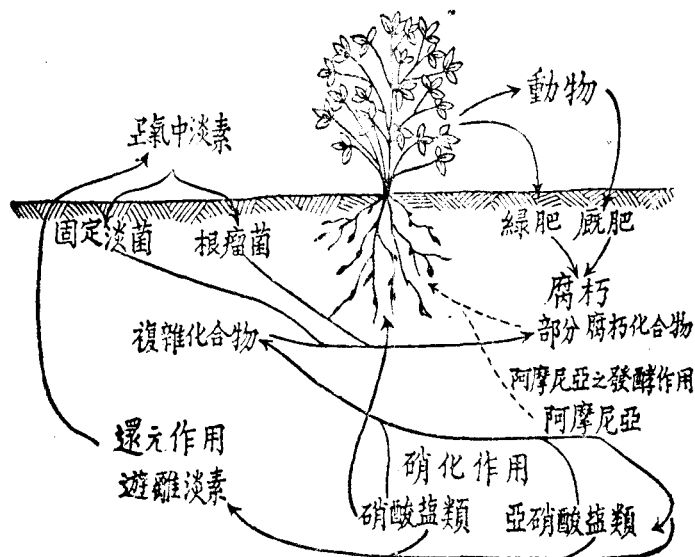


質言之，硝化作用，即阿摩尼亞養化而生成也。

硝化作用之發生，亦由細菌之生活機能而致。凡細菌能起硝化作用者，即名曰硝化菌。在一八九〇年，溫拿格蘭得斯基(Winogradski)氏發明硝化菌之培養，謂一般細菌培養液，凡含有有機物者，俱不適於硝化菌之生育。據該氏試驗，用一公升水，其中溶以硫酸銦及磷酸鉀。再加少量碳酸錳以行殺菌，施於土壤之試驗瓶中，則硝化菌得以分離。始知硝化作用，分二層變化。第一由阿摩尼亞養化變爲亞硝酸，稱爲亞硝酸化作用。第二由亞硝酸養化變爲硝酸，稱爲硝酸化作用此兩種作用之細菌，不相類似。由阿摩尼亞變爲亞硝酸鹽之細菌，絕無變爲硝酸鹽之作用。由亞硝酸鹽變爲硝酸鹽之細菌，絕不能發生養化阿摩尼亞作用。其由阿摩尼亞變爲

亞硝酸鹽之細菌，名曰亞硝酸菌。此種細菌。又分為二種。一桿狀亞硝酸菌。二球狀亞硝酸菌。其由亞硝酸鹽變為硝酸鹽之細菌，稱為硝酸菌，此兩種硝化菌之發生作用，截然不同，惟能在同時生存於同一土壤中，以起硝化作用。其形態上雖略有差異，而其性質大都類似。土壤中分佈頗廣。故土壤中發生硝化作用，以阿摩尼亞始，以硝酸終。得以循行不絕者，皆兩種硝化菌之功也。

第 三 十 四 圖



有時土壤中淡素有機化合物分解為阿摩尼亞，而阿摩尼亞

能直接變為硝酸鹽類，不必須經過亞硝酸鹽類之階級。此種細菌，名為 *B. nitrator*。

一 硝化作用對於各種要素之影響

土中硝化作用發生之良好與否，視乎各種要素而定。故土中硝化菌之繁殖，硝化作用之旺盛，常受土壤種種情形而改變。茲將各種要素之影響，分述於下。

(甲)養料 硝化菌不需要有機物，已如前說。故該類細菌之養料，大都為礦物質鹽類。如鉀鹽，石灰鹽，硫酸鹽，磷酸鹽，碳酸鹽等是也。有機物雖非硝化菌所需。但土中有機化合物分解，能促進硝化作用發達。如常施廐肥之土壤，所產生之硝酸鹽類化合物，較不施廐肥之土壤為多。又亞硝酸菌能攝取 *Asparagine* 之有機物，但所需量頗微，過多則有害。碳酸鹽能促進硝化作用暢盛，但硝化菌需要此鹽之量亦不甚多。苟用量過多時，反使其硝化作用遲緩或至完全停止。碳酸阿摩尼亞為硝化菌最適當之養料，然所需量亦微。過多亦足妨礙其作用及有害於硝化菌之發育。

硫酸鹽中如石膏，硫酸鉀及硫酸鈉，俱能促進硝化作用。據皮伽耳(Pichard)氏研究，謂石膏鉀及鈉之各種硫酸鹽，甚足促進硝化作用。若土中加此等鹽類至百分之〇·五時，則硝化作用最易旺盛，但石灰之力尤強。

硫酸鹽類之性質較碳酸鹽類強。苟施石膏於空氣流通之土壤，其促進硝化作用，殊為顯著。然在空氣不流通之地或含有酸性腐植質之土壤，硫酸石灰易還元為硫化石灰，反生不良效果。施碳酸鎂於土中，其效驗有時較碳酸石灰為著。

得赫林 (Deherain) 氏研究綠化鈉對於硝化作用之影響，謂一百公分土壤中，含有綠化鈉自 0.1 至 0.2 公分尚不至為害。倘有 0.5 公分以上，即能阻止其作用。又據達夢 (Damont) 及克洛刻體勒 (Crocketelle) 兩氏研究鉀對於硝化作用之影響，謂用微量綠化鉀於硝化作用，略為有效。然比之硫酸鉀及碳酸鉀，其效較少。

(二) 養氣 硝化作用，即一種養化作用，其必需養氣也無疑。凡土壤中之養氣充分，其硝化作用必盛。近表面之土易於發生硝化作用者，以通氣良好，養氣充足故也。水田所以不能起硝化作用者，以通氣不良，養氣供給不足也。故土壤需常耕鋤，使其疏鬆。俾流通空氣而促進硝化作用。據士羅辛 (Schloesing) 氏嘗研究養氣供給之多寡，以觀所生之硝酸量。其法用玻璃瓶五個，內裝腐植土各二公斤。將五瓶分置於空氣不同之地。經數月後，則五瓶所生成硝酸量，各不相同。茲將其結果列表於後。

表 八 九

空氣中養氣	硝酸量
1.5%	45.7公絲
6.0	65.7
11.0	132.5
16.0	102.6
21.0	246.6

又據赫起遜氏試驗，謂已經硝化之硫化銻，忽移置於不甚流通空氣地，則硝化作用即行停止。

(丙)溫度 溫度亦為硝化作用最要之要素。土中硝化菌之繁殖，常以溫度而異。在冰點下之溫度，硝化菌不能生存。至攝氏五度時，始漸發育。倘溫度逐漸增高，硝化作用漸行暢盛。在攝氏十五度至四十度之間為硝化作用適當之溫度。在攝氏三十五度時，硝化作用發生最盛。至三十五度以上，則其作用漸衰。至五十五度時，則完全停止。

(丁)溼度 土中硝化作用之發生，常受溼度之節制。土中水分過多或過少，均能阻止其作用進行。普通植物所需之溼度，亦即硝化作用發生最適之溼度也。據格累勿(Greaves)及卡忒(Carter)兩氏研究。謂土中保水力約在百分之五十五

時，為硝化作用最適宜之溼度。

(戊)日光 硝化菌之繁殖，須有相當溫度。但不能直接受日光射及。凡日光直射之地，必無細菌生存，硝化菌亦然。蓋硝化菌一經日光紫光線射及，則其膠質物即凝固，而生活力消失。據索耶卡(Soyka)氏試驗，於一百 c. c. 尿中檢定其硝酸及亞硝酸態淡素所得結果如下。

表 九 ○

	硝酸及亞硝酸態淡素	
	第一例	第二例
曝於日光下者	19公絲	110公絲
未受日光者	86	360

(巳)鹼性及酸性土壤 凡在含有少量鹼性之土壤，硝化作用必盛。因硝化菌能養化阿摩尼亞為酸性之亞硝酸或硝酸。故必須得有鹽基與此等酸類化合，而成亞硝酸鹽或硝酸鹽。然酸性過強之土壤，亦足有害。

二 硝化作用對於作物及土壤之關係

硝化作用在農業上至為重要。作物生長之良劣及土質之肥瘠，視夫硝化作用發生之情況若何。倘硝化作用旺盛，則土壤必肥沃，作物生長必繁茂。故硝化作用影響於作物及土

壤，殊有密切之關係。茲分述於下。

(甲)硝化作用對於作物之關係 土壤含蓄硝酸鹽量之多寡，以所栽植作物之種類而異。據多數學者之研究，謂栽培玉蜀黍之田地，其土中所積蓄硝酸鹽為最多，番薯地次之，牧草地為最少。又據里昂 (Lyon) 及比塞耳 (Bizzell) 兩氏研究作物生長時期之不同，與土中所含硝酸鹽量亦有關係。謂玉蜀黍生長最盛時，雖為吸收淡素最多之時期，但土中所存之硝酸鹽量，較不栽植作物之土地為多。燕麥地之含量頗少，草地有能阻止土中硝酸之積蓄。蓋植物有能促進硝化菌者，有能低減硝酸鹽之造成者，茲將兩氏試驗所得結果，列表於下：

表 九

1910 年			1911 年	
土壤中硝酸鹽作物所含淡素 P. P. m. 每英畝			未栽植地土中所含硝酸鹽 P. P. m.	
四季平均		磅	五月一日	六月二十八日
玉蜀黍	167	3	52	37
未栽植地	136	—	50	35
番薯	104	43	28	26
未栽植地	108	—	43	32

燕麥	90	29	22	22
未栽植地	126	—	36	33

按上表觀之，在一九一一年夏季，玉蜀黍之硝化作用頗盛。燕麥及番薯則硝化作用之生成乃減。

(乙)硝化作用對於土壤之關係 硝化作用之發生，不僅可增加植物養料，且可儲存植物養料。蓋細菌生長，必需要種種元素。此種種元素，乃取之於土中。如此雖可減少土壤之肥力，有礙植物之生長，然土中易流失之原素，却可藉之暫保存於其體內。待其斃後，則植物得再取而用之。又硝化作用，能消去土中毒質，由阿摩尼亞養化後所變成之，亞硝酸鹽類實為有害之化合物，植物不能吸收。須再經養化變成硝酸鹽類，則為有益。倘不經此變化，其亞硝酸鹽類積量增多時，不但硝化作用不能發達，且對於植物有害。

四 硝化還原作用及同化作用

(1) 還原作用 還原作用，乃硝化作用相反之化學變化也。硝酸鹽類還原後為亞硝酸鹽，再變為阿摩尼亞，或變為遊離淡素。又硝酸鹽態之淡素，在養氣缺乏地，能變化為不溶解之有機淡素化合物，或蛋白質。但硝酸鹽還原後變為亞硝酸鹽或阿摩尼亞或有機淡素化合物。在土中苟遇有相當情

形，再經硝化作用，仍可變為硝酸鹽。若一經變為遊離淡素，即飛散於空中。

還原作用之發，亦由於微生物之作用而起。如菌類及細菌類，均有此作用，細菌類以嫌氣性為多。然如 *B. mycoides* 者，乃分解作用及銻化作用之細菌也。倘土壤中空氣不能流通，則變為還原作用之細菌。此乃細菌固有之特性，因其在不適宜情況，不能生存。為環境所迫，不得不變更其機能而保存其生活。其他如 *B. denitrificans*; *B. Thiobillus denitrificans*; *B. pestifer*; *B. subtilis*; *B. mesentericus vulgaris*; *B. ramosus* 等，均能發生還原作用。菌類如 *Actinomyces* 亦有此還原作用。

硝化還原作用發生之原因有二，一由於土中空氣不流通。蓋硝化作用之起，必須有養氣供給，始能發生變化，而成為硝酸鹽類。若土中養氣缺乏，則還原作用隨之而生，故在緊結及下層土壤中 空氣流通不良，常致發生硝化還原作用。二由於土中有機物之過多，苟用多量廐肥與硝酸鹽混合施諸土中，則必發生硝化還原作用，或以充分綠肥作物耕入土中，亦有同樣效果發生。蓋有機淡素化合物施於土中，必需有養氣始能分解。但有機淡素化合物太多，其分解作用亦盛。必須有充分養氣供給。有機淡素化合物積蓄土中頗多，則空氣

難以流通。空氣既不流通，養氣必告缺乏，因此硝化還原作成矣。據瓦林頓氏謂廐肥與硝酸鹽混用時所起之還原作用，乃因土中增加多量易酸化之物質，而掠奪酸素之故也。

防止還原作用發生最良之法，在排水，耕鋤，以通空氣。及勿施過量之廐肥或硝酸鹽態淡素肥料。

(2) 同化作用 硝酸鹽同化作用者，乃有許多細菌及菌類能利用硝酸鹽，亞硝酸鹽及阿摩尼亞之機能，能將淡素變化為有機淡素化合物，似與高等植物無異。此等微生物，常生存於黑暗地，並須有有機酸或炭水化合物以供給之。土中微生物有同化作用者，種類頗多。其生活適宜之情況，毫無一定。據墨累 (Murray) 氏曾在華盛頓農事試驗場試驗，用蕁桿施諸土中，以助細菌利用硝酸鹽，所得結果，細菌之增多與蕁桿無關係焉。故研究殊為困難。

五 淡素固定作用

空氣中淡素可入於土中為植物所利用。其所以能入於土中者，由於(1)雨水。(2)微生物作用。(3)微生物之共生作用。茲分述於下：

(1) 雨水 雨水降下，經過空中時，能將空中淡素溶解於雨水中，隨之而透入地下。空中淡素大都為硝酸態，及阿摩尼亞態。透入土中，植物能直接吸收為養料。其透入之量，

以各地氣候及雨水量之多寡而定。茲據各地測驗所得結果，列表於后：

表 九 二

地 方	記載期	雨 量	阿摩尼亞態淡素	硝酸態淡素
		英寸	每年每英畝磅數	
Harpden (英 國)	28	28.8	2.64	1.33
Garford (英 國)	3	26.9	6.43	1.93
Flahult (瑞 典)	1	32.5	3.32	1.30
Groningen (荷 蘭)	—	27.6	4.54	1.46
Bloemfontein 及 Durbars (非 洲)	2	—	4.02	1.39
Ottawa (加拿大)	10	23.4	4.42	2.16
Ithaca (美 國)	6	29.3	11.50	1.01

按此表觀之，由雨水帶入土中之阿摩尼亞，較硝酸量為多。其原因乃硝酸態淡素無論在何地方，大概均相同也。

(2) 微生物作用 土壤中微生物有能固定空中淡素者，如細菌類，菌類，及藻類是也。細菌類普通有兩種：一為

Clostridium pastorianum 乃溫格蘭得斯基氏在一八九四年所發見。此種屬於嫌氣性桿狀菌。能生孢子，似舟形，如 *B. mesentericus*, *B. perenmoniae*, *B. radiobacter*, *B. arnglobacter*, *B. prodigiosus*, *B. asterospours*, *B. lactisviscusus* 等，均有固定淡素作用。稱非共生之淡素固定作用。二為 *Azotobacter* 乃貝給林克 (Beijerinck) 氏在一九〇二年所發見，屬於好氣性桿狀菌。生活於土中，須與其他細菌類(如 *Granulobacter*, *Radiobacter*, *Aerobacter*) 營共生作用，以固定淡素。後據革拉錫 (Gerlach) 及福吉耳 (Vogel) 兩氏研究，證明此種細菌，能單獨生活，固定淡素。此種細菌之發生，分布甚廣，但亦須土壤各種情況良好。其最要者，有機質含量宜多，養氣溫度及濕度宜適當。所固定淡素之量，據各學者測驗，謂每年每英畝最多者有四十磅，最少者亦有十六磅。如 *A. chroococoum*, *A. agilis*, *A. beijerinckii*, *A. woodstownii*, *A. vitreum* 等，均有此作用。菌類如 *Phoma betae*, *Aspergillus viscosus*, *Penicillium-digitatum* 等。藻類如綠藻，皆能固定淡素。

(3) 微生物之共生作用 凡豆科植物，根部常有根瘤附生，其瘤中有細菌寄生。此種細菌，名曰根瘤菌 (*B. radicola*)。能吸收空氣中遊離淡素。當豆科植物生長之際，此菌由其根

毛尖端侵入根之內皮，致細胞原形質增大，遂漸分裂。而生根瘤 (Root nodules or tubercles)。瘤之形狀及大小，各不相同。如大豆菜豆等爲球形，豌豆蠶豆等爲長圓錐狀。紅花菜根瘤甚小，大豆與豇豆則較大，而毛豆根瘤，在豆科植物中爲最大。考細菌之所以得侵入根內者，當生長根瘤之前，產生一種膠狀物質，而圍繞其體。待後變成細長絲狀，侵入根內，此絲狀物在根內，遂漸分枝發芽，成爲T或Y字形狀，即名曰 Bacteroids。至最後此種絲狀物消失，則細菌乃出而分布於根內。又有謂細菌之侵入根內，由於趨化性者。因植物根部能排洩炭水化合物，以引誘細菌，而細菌能分泌酵素，以溶解根的細胞膜之纖維質，故得侵入。

根瘤菌亦屬於桿狀菌，種類繁多。常隨所得寄主之豆科植物而異。有一種根瘤菌僅寄生於一種豆科植物，不得寄生於他種者。如苜蓿之根瘤菌與紅花菜異，故不能生活於紅花菜根中。惟有一種根瘤菌，能寄生於二三種豆科植物者。如紫雲英之根瘤菌，亦能寄生於 Bur clover 及 Sweet clover 之根中，可知三種根瘤菌同屬一種。此種細菌，分布甚廣，凡曾種過豆科植物之地，多含有之。在豆科植物成熟時，根部逐漸枯萎根瘤亦漸腐爛，細菌不能再寄居其中，必遷徙於土中，俟遇有相當寄主，再行侵入其根中。苟無相當之寄主，

在土中亦有固定淡素作用。惟土中有機物有限，根瘤菌難得充分之養料，以供其用。故其種族易漸減少。經數年後，倘仍不能得相當寄主，而土中又無充分有機質，則往往易於死亡。

根瘤菌寄居豆根之中，與豆根之運輸組織相近。故得自由吸取其中之糖分，礦物質及炭水化合物以爲養料。而蛋白質則不能從豆根中吸取，須自己製造。其製造蛋白質最要之淡素，即得諸空中。將空中遊離淡素變爲可溶性硝酸鹽類，然後與豆根中所得之養料化合，變爲蛋白質。其固定淡素及製造蛋白質之法，現尙無人知之。根瘤菌所固定遊離淡素變爲可溶性硝酸鹽類，豆科植物亦得吸收以爲養料。二者有互相利用互助生活之關係，故名曰共生作用。

根瘤菌不但有益於豆科植物，且於下次作物裨益不淺。蓋豆科植物根莖葉及根瘤所含淡素化合物甚豐，豆莢收穫後，苟將其根莖葉諸部翻至土中，則此種有機物經其他種種作用，而變爲可溶性硝酸態淡素，故下次所栽之作物，得以利用。又根瘤菌自身在土中亦多死亡，其遺體腐化爲阿摩尼亞或硝酸鹽，以爲作物養料。

根瘤菌所固定淡素之量，視根瘤菌之種類與多少及他種情形而定。如根瘤菌多，其固定之量當增。他如土壤通氣良

好，溫度與濕度適宜，有機質及鉀磷肥含量較多，淡肥含量較少時，則其固定淡素之量亦多。普通豆科植物全體淡素化合物，約三分之一為根瘤菌所固定云。

六 根瘤菌接種法

根瘤菌之有益於作物，前已言之。凡曾種豆科植物之地，其土中含有此種細菌頗多。但逾三四年後不再種豆科植物，則此種細菌必致死斃。在從未種過豆科植物之田，其土中絕無此種細菌生存。又在初種豆科植物之地，其土中恆缺乏此種細菌。即久種某一種豆科植物之田，其土中常缺少他種根瘤菌。故吾人須設法將種過豆科植物土中之根瘤菌輸入於缺少此種細菌之土中，以資繁殖。此法即稱為接種法 (Inoculation)。接種之法甚多，大約可別為三類：(1)用含有根瘤菌之土壤接種法。(2)用純粹培養液接種法。(3)直接以根瘤菌接種法。

(1) 用含有根瘤菌之土壤接種法 於豆科植物生長茂盛之地，擇其根部根瘤衆多之處，或待豆科植物成熟，根瘤已腐，根瘤菌已徙居於土中時，去其表土二三寸。(因表土為日光所直射，細菌不能生存於其中，故必須去之。)乃取其中層之土壤，作為輸入他田之用。但心土不可取用，以其中無細菌寄居也。取土之量，每畝約三四斤，稍多更佳。土壤

取出後，宜細粹之，即行輸入他田中，否則須藏之於蔭地，以免細菌爲日光所殺死。最好行此法時，宜在曇日或晚間接種之。其手續有三：

(甲)用人工或機器將所取之土撒布於缺乏根瘤菌田中。撒布畢，宜立刻用犁或耙將上層撒有根瘤菌之土壤翻下，以免受日光之射及。此種手續，頗爲簡單，普通多行之。惟易傳染病菌及雜草種子等害。

(乙)取得之土壤，不直接撒布於缺乏根瘤菌田中，而先和以水。次乃以欲栽種之作物種子，浸於此水中，使根瘤菌得附着於種子上。種子播於田內，同時根瘤菌亦得輸入土中。行此法而雜草種子及病蟲等害，不致受傳染。

(丙)以稀薄之膠水塗於種子上，再以含有根瘤菌之粹土與之拌和。凡種子之膠聚成團者，以棒攪擾而分離之，務使每粒四周滿黏粹土，但勿使團結，然後如常法將種子播下。

(2) 根瘤菌純粹培養液接種法 根瘤菌純粹培養液，乃於培養液中，培養一種純粹之根瘤菌。待細菌發育後，以此液噴射於種子上，至陰乾將此種子如常法種下。亦有將此液噴射於田中者。此種根瘤菌純粹培養液，有製成而販售者。標名曰 Nitragin。行此法常易失敗，因根瘤菌在培養液中，不能生存長久。故培養液貯藏愈久，功效愈失。亦有以根瘤

菌培養於土中及膠質物內者。

(3) 直接根瘤菌接種法 將豆科植物根部之根瘤一一取下，而輸入於缺乏根瘤菌田中。此法頗為有效，但費人工太多。又採取根瘤時，宜在豆科植物繁盛之期。萬不可在豆科植物成熟時。蓋豆科植物成熟根瘤多已腐爛。根瘤菌已遷入於土中矣。

第二十二章

土壤微生物與炭硫磷及礦物

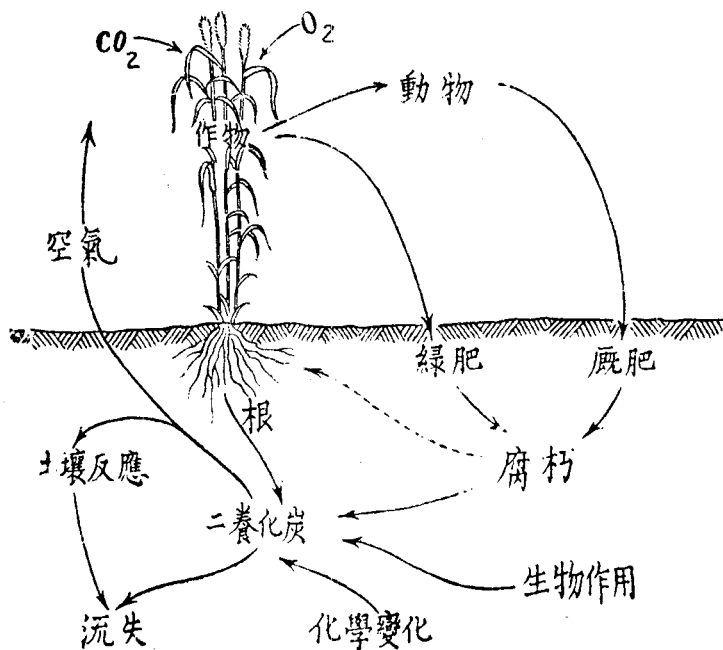
一 炭素循環作用

凡一切有機物，均含有炭素物質。土中有機物經化學作用及生物作用分解後，亦有多量炭素化合物產生，以爲作物養料。土中所有炭素化合物，由植物而來者爲最多，動物亦有之。當施諸土中後，即受微生物作用而發生酵素，則炭素化合物腐朽。其分解炭素化合物之微生物，細菌中最要者爲 *B. subtilis*, *B. mycoides*, 等。其他大菌類，菌類，及藻類，皆能使纖維質腐爛，絲狀菌亦有助分解之功能。經過如此作用，而變成二養化炭及水分。但土中二養化炭不僅由微生物作用而成。雨水下降，亦帶有二養化炭透入土中。他如根之呼吸，及有機物經過化學分解，亦有二養化炭發生。

二養化炭氣在土中頗爲重要。但炭素物質存在土中，易於變化消失。其消失之法有三：(1)流散於空氣中。(2)與

土中礦物質起反應。(3)土中水分常含有碳酸鹽及過碳酸鹽類。故炭素時隨土中水分而流失。

第 三 十 六 圖

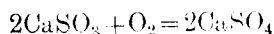
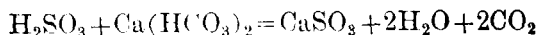
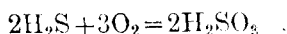
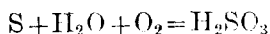


二 硫之循環作用

硫亦為植物必需養料之一。有多數植物，非有硫之供給，則不能生長。如苜蓿，蘿蔔，甜菜等作物，所需硫之量較磷為多。硫在土中不能直接為植物吸收，必先與其他物質接合，

變為硫酸鹽類。如硫酸鈣 (CaSO_4)，硫酸鈉 (Na_2SO_4)，硫酸鉀 (K_2SO_4)等，植物始能利用。故土中所有之硫，無論有機或無機，變為硫酸鹽類化合物時，必須經微生物之作用。如斯變化，即稱為硫化作用。其分解硫化物之細菌，名曰硫磺細菌。此類細菌，種族繁多。普通分兩屬：(1) *Beggiatoa* 含硫絲狀菌；(2) *Thiothrix* 含硫鞘狀菌。兩屬細菌，體內均含有硫磺粒。其他菌類，亦有具此功效者。

土中之硫磺經過養化作用，則變為二養化硫。再與水化合，則成亞硫酸。若土中含有硫化氫氣體時，經過養化作用，亦可變為亞硫酸。苟亞硫酸與石灰〔碳酸鈣 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 〕化合，再經養化作用，則變為硫酸鈣。此土中硫化作用，發生經過之情形也。其變化程式如次。



土中硫之養化作用，不僅為微生物作用，亦有化學變化。至若硫化物之腐朽，乃完全微生物之功也。至土中硫之來源，約有四，分述如下：

(1) 動植物組織 土中動植物分解後所成化合物，含有

硫磺物質頗多。

(2) 肥料 施厩肥或綠肥於土中時，能阻止硫磺成還元作用。此種現象，土中時常發生。若施肥時多施磷酸，硫酸銨，及硫酸鉀，可增加硫之成分。

(3) 雨水 雨水中亦含有硫質。此種硫質，大都成硫酸鹽態，頗易於溶解。在雨水多地方，土中所得之硫亦多。平均計算，每年每英畝從雨水中所得之亞硫酸，有數磅至數百磅之多。

(4) 無機硫化物 岩石分解，立有硫質產生，以增土中之硫質。

土中硫質常為排水或植物吸收所消失。據康乃爾大學用濘黏質壤土試驗土中亞硫酸之消失，其十年平均結果，列表於后：

表 九 三
每畝亞硫酸消失之磅數

	排水	作物	總計
未耕種之土壤	132.0	—	132.0
輪 栽 地	108.5	41.0	149.0
草 地	111.0	29.2	140.2

土中硫化作用發生繁盛與否，須視土壤各種情形而定。如空氣濕度及有機物等，皆能影響於硫化作用。其最要者，即為肥料。苟土中增加廐肥或綠肥，能促進硫化作用。施適量石灰，亦能激起硫化物變化，而得多量硫酸鹽類化合物。要之作物生長最適宜之土壤，硫化作用之發生亦必繁盛。

三 磷之循環作用

磷亦為植物必須之養料，植物無磷供給，則不能生長。土中之磷，有機與無機兩種，均含有之。但其量頗微。有機的磷多為 Phospho-proteins, Phosph-lipins, Nucleo-protein 等之磷酸化合物。無機的磷，通常為磷酸鹽類化合物。如磷酸鈣，磷酸鋁，磷酸鐵等。有機磷酸化合物，植物不能直接利用，必須變為無機化合物。其能分解有機磷酸化合物者，亦細菌也。最普通者，為 *B. subtilis*, *B. mycoides*, *B. protens vulgaris*, *B. colicommunis* 等。無機磷酸化合物中，有許多為不溶解性者，植物亦不能吸收。如磷酸二石灰，磷酸三石灰等，故亦須細菌作用。細菌有能分泌二養化炭氣者，有能分泌酸者，以溶解土中不易溶解之磷酸化合物，變為植物養料。但不溶解性之磷酸化合物，與他種物質化合，亦可變為植物養料，不僅為細菌作用。

土中磷酸化合物頗不易消失，如施可溶性之磷酸化合物

於土中，植物吸收甚少。所餘則為土壤所吸收而變為不溶性化合物。既不能為植物利用，亦不得為排水所流失，故消失甚易。但細菌有以磷酸化合物為養料者，如 *B. mycoides*, *B. megatherm*, *B. mesentericus*。亦有將磷變為有機磷酸化合物者如 *Azotobacter*，此種情形土中發生亦不少。

四 礦物質循環作用

土中一切有機物質，植物不能利用，必須經過礦化作用，變為無機物質，植物始能吸收。惟礦物質之變化，雖受化學或物理作用，但微生物作用較之尤為重要。土中能供給礦物質之養分，其主要來源，以無機物為最要。微生物對於其變化，有直接和間接二種作用。直接作用者，土中微生物有能分解礦物質，而變為植物養料。又有數種細菌，本身需礦物質為養料，及儲藏礦物質者。迨至死後，其遺體腐朽，亦為植物養料間接作用者，微生物能釋放二養化炭，且分泌酵素以溶解礦物質。

第二十三章 土壤調查

一 土壤調查之意義

土壤由礦物質，有機物質，水分及空氣所組成。但其組合之成分，極為複雜。且其感受外界一切天然力之影響，而起土壤中理化上性質之變化及生物上生活之變遷，尤足令人無從捉摸。故研究土壤者，殊感困難。於是乃有土壤調查之創行。土壤調查者，調查土壤之性質及變化。將土劃為界限，分為門類，以便於管理及改良者也。

調查土壤之目的，為改良土壤，謀土壤生產力增加。是以調查土壤對於農事極關重要。業農者，大都以栽植作物為職守，土壤之性質及其變化，應當一一知之，然後可依其性質而種植物。按其變化而施行管理及改良方法。蓋土壤之有調查，若商店中之有一貨物清單。倘商店無一貨物清單，則物價物數及出入款項，將無所本。土壤調查，亦猶一清單也。農人有此清單，如舟之有舵，車之有轂，不致迷途失向。是土壤調查，實為輔助農業發達之良劑也。

土壤調查。乃實事求是之一種技術事業。故調查者，須具有土壤學之智識，明悉土壤之生成與理化之性質。略曉關於土壤學之科學。如地質學，作物學，肥料學等。熟習田野之工作，實驗室之分析與試驗，能製精細之圖表。調查時，務須仔細從事，記載周詳，然後乃有精確之結果，對於事實上亦方有所補益也。

土壤調查之事業，以美國為最發達。自一八九五年美國土壤局成立以後，即着手進行，分省調查。計美國共有三千四十三郡，已經詳細調查者，約千餘郡，占地有五十四萬七千七百方英里有奇。他如英德法比日本等國，均有土壤之調查。然考之中國，昔亦不無斯舉，在二千三百六十餘年前，大禹平水土，別九州，按土壤之色澤及組織，分為九種。可謂已實行土壤調查矣。迨後無人接繼從事，膜視此舉，以致農業不能發達，食糧乏絕，飢饉頻仍，殊為恨事。

二 土壤調查之必要

土壤調查之必要，原因頗多。茲舉其之最顯著者數則，略述於次：

(1) 農業之特產 中國各地之有農業特產物頗多。夫某一地之特產，所以能生育佳良，收穫豐富者，雖因栽培肥料種子之關係及氣候之影響，但其主要之原因，實為土壤。例

如南通之棉，山東之梨，閩浙之茶，廣福之橘等，各地特產，無不因此而著名。此土壤調查之必要，一也。

(2) 耕鋤之功用 農業者，自古迄今，無不以勤耕視為至要。自春至秋，始而犂鋤，繼而耘耔。旱則灌溉，雨則排水。終日工作，手足胼胝。雖至人勞身疲，不敢稍懈，究竟此種工作，與土壤到底有何關係，農人不可不知此。土壤調查之必要，二也。

(3) 地勢 縱觀世界各國，凡濱江河流之區，耕種事業，多甚發達。如長江及珠江流域一帶，美國之密悉失比河流域及埃及之尼羅河沿岸等，皆其例也。但依山靠嶺之區，則反是。又如沙漠不毛，沼澤卑地，多生蘆葦，其故何哉。此土壤調查之必要，三也。

(4) 肥料 考美國農業之所以興盛者，以廣用肥料為主。因美之立國，僅百十餘年耳。地力之遞減，今已漸現。中國已歷四千餘年，自古以來，亦知施用肥料。但各地農產物之產量，比之美國，不及遠甚。是肥料與土壤之問題，不可不詳細研究，此土壤調查之必要，四也。

(5) 收穫之豐歉 收穫豐歉，農人多歸罪於天時，尤以旱雨時為甚。惟天時非人力所能駕馭，而祈神禱雨之事，又徒勞無益。倘欲補救天時不足之法，在研究旱耕之原理，水

田之排洩，但研究此兩種問題，須先調查土壤，此土壤調查之必要，五也。

(6) 土壤之性質及種類 土壤有砂土，壤土，瘠土，黏土等之種類。又有酸土，鹼土之別。究竟何種土壤，適於何種作物，宜行何種管理及改良方法，是不可不知。此土壤調查之必要，六也。

三 土壤調查與土壤之分類

土壤由各種岩石生成，又因感受外界天然力不一及受耕勸，施肥，栽種作物，與管理方法不同而有種種差異。土壤既有種種差異，則分類尚矣。故土壤經過調查，必須首先分類。分類之法頗多，已如第四章所詳述。在土壤調查上所行之分類，乃採用土壤上最顯著之要素（或稱性質）數種，聯絡分類，依次排比。在最末並設一分類之單位。此單位乃一地之土壤含有各種要素完全一致者，即稱土壤種(Soil type)。如此分類，有如生物學上之自然分類法。分支，派，部，科，屬，種。其與生物學上分類不同之點有二：(1)在植物或動物之分類法，乃根據於天演之研究。各種植物或動物最初皆出於一源，故皆有血統上之關係可尋。在土壤之分類法，雖可按土壤之要素分爲區，部，屬，種等，但無系統之關。各種要素，僅能互相聯絡。(2)在生物之分類，採集一個體生

物，即可分門別類，定其屬於何科，何種。在土壤上之分類，採集一個體土壤，則不能分類，因僅有一土壤個體，不能分別各種土壤性質。故須用大面積土地，以行分類法。

現今各國土壤之分類，以調查之方法與目的及所利用土壤之要素不同，所行分類法各有差異。普通調查者的土壤分類所用之要素，概分六種。其中屬於土壤本身之性質者，有四：(1)結構，(2)特性，(3)含有之物質，(4)生成之原因。與土壤有關係之要素者有二：為降雨量，(濕度)及溫度，將以上六種要素排列分類。分為土壤帶 (Soil region)。土壤區 (Soil Province)。土壤部 (Soil Section)。土壤族 (Soil group)。土壤屬 (Soil Series)。土壤類 (Soil class)。最末尚有土壤種 (Soil type)。茲列表於后以明之：

表 九 四

I. 土壤帶	溫帶	}	1. 寒帶
			2. 溫帶
			3. 亞熱帶
			4. 熱帶
II. 土壤區	降雨量濕度	}	1. 燥區
			2. 半燥區
			3. 亞濕區
			4. 濕區
			5. 最濕區

- III. 土壤部 生成之原因 {
1. 風力作用
 2. 生物作用
 3. 水力作用
 4. 大氣作用
 5. 冰力作用
 6. 地心引力作用

- IV. 土壤族 含有之物質 {
1. 酸性岩
 2. 鹼性岩
 3. 頁岩及砂岩
 4. 石灰岩及泥灰石
 5. 有機物

- V. 土壤屬 特性 {
1. 色澤
 2. 排水(天然)
 3. 有機物之含量
 4. 石灰之含量
 5. 植物養料之含量
 6. 組織

VI. 土壤類 結構土粒之大小

VII. 土壤種 各種要素一致者

(1) 土壤種 土壤種爲土壤分類之單位，或稱個體。凡

一地土壤所具有之各種要素完全一致者，則稱種焉。

(2) 土壤類 土壤結構為土壤分類上最要之要素，以土壤結構行分類者，即稱土壤類。

(3) 土壤屬 乃利用土壤之性質，而行分類。土壤特性頗多，在分類所用者約有六種：一色澤，二排水，三有機物之含量，四石灰之含量，五植物養料之含量，六組織。凡一種土壤至少具有數種特性。

(4) 土壤族 土壤由岩石生成後所含有各種物質頗多，其含量亦各不相同。以土壤含有之物質而行分類者，則為土壤族。

(5) 土壤部 土壤生成之原因頗多。凡以土壤各種生成之原因而分類者，則稱為土壤部。

(6) 土壤區 土壤依降雨量之多寡，得分為燥區，半燥區，亞濕區，濕區，最濕區。以降雨量而分別土壤者，則稱土壤區。

(7) 土壤帶 以氣候溫度而行土壤分類者，稱為土壤帶。

(據美國土壤局調查全美土壤，依地理學上將全國土壤分為十三部分。在東部有土壤區七，西部有土壤部六。區部以下分屬，屬以下分類，類以下又分為種。)

四 土壤調查之方法

土壤調查分兩種：一觀察調查；二詳細調查。前者為觀察土壤外貌之情形，後者為詳細調查土壤各種情形。在一般調查之方法，概分兩步進行：一在田野間之工作；二在實驗室內之工作。在田野間工作，又分考察，繪圖，及採取標本。在實驗室內工作，又分機械分析，化學分析，地力試驗，及報告。茲將考察繪圖採取標本及報告各種方法，略述於次，

在實行調查之先，須準備所需之器具：(1)為記載冊及鉛筆，以便考察時及採取標本時記載。(2)為繪圖所用器具。

如繪圖紙，圖板，各種顏色鉛筆，尺，

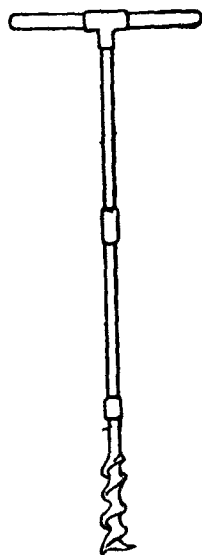
第三十七圖

捲尺等。(3)為採取標本所用器具。

如取土螺旋鑽（一英寸者及一英寸半者各一）直鑽，鏟，油布，布囊，玻璃瓶等。

(1) 考察 考察土壤位置，形勢，燥濕，該地方之氣候，農業之發達，現今農業狀況，及交通之便利與否。

(2) 繪圖 所繪之圖，上須表明田地之面積，形勢，界限，房屋，樹木，溝渠，道路，河道等。如田地為果園，森林，蔬菜園，及牧場等者，



亦須一一表出。所用比例尺，不得過五百分之一。

(3) 採取標本 採取標本，乃供給分析及試驗之用。採取時，須能知各種土壤種，並注意土壤之變化，排水，及施肥等，以便選擇地點，採取標本。所採取之土壤，須能代表一土壤種各種要素，方可作為標本。每一土壤種，採取標本兩個或兩個以上。採取時，先用鏟將土面草葉根等之雜物除去，然後用取土螺旋鑽穿入土中，以取土壤。取土螺旋鑽用後，須將鑽上之餘土去盡，以免第二次用時與他種土壤混雜。採取心土時，須先用直鑽將土面穿一穴，然後再用取土螺旋鑽。採取標本之量，視所需而定。祇供分析者，所需量甚微。若供試驗地力用者，則所需量多。採取土壤之深度，依土壤之種類及所栽培植物而有差異。普通所行者，採取表土，由土面至犁耕所及之處為度。約有六又 $\frac{2}{3}$ 吋，或七吋。亞表土，由犁耕所及之處起，至二十吋，約有十三吋。心土，由二十吋至三十六吋，或四十吋。約有十六吋或二十吋。每一標本取出，置諸油布上，將所含有石礫雜物除出，然後裝入布囊或玻璃瓶內，切不可用紙袋。布囊，上繫一紙牌，（用瓶即黏一紙片）牌上（紙片）標明土壤種名。採取地點，時日，記載冊上亦須如此記載。採取標本之地點，所繪之圖上，亦須表明。

(4) 報告調查完畢後，乃將調查時所記載之種種情形製成冊表。並將所繪之圖，加以修正，以作報告。調查者，在報告上可發表私意。對於土壤用何法改良及管理，栽種何種作物為最適宜，可使土壤生產力增高等等。

第二十四章 地力論

一 地力之意義

地力(Soil Fertility)者，乃土壤對於作物生產之力也。亦曰土壤之生產力。無論何種土壤，因其組合成多之種類與量數不同，及其感受外界一切影響之差異，其性質與變化各不相同。故一種土壤，有一種土壤之特性。一種土壤，有一種土壤之生產力。斷無二種土壤，其性質無異，或生產力相同者也。

土壤生產力者，就廣義言之，範圍甚大。凡有影響於土壤生產之各種要素，如作物之特性，雨水，土壤之物理性，化學性，土壤之微生物性，太陽熱力，與其他未知之天然要素，以及人爲之耕耘，輪栽，施肥種種，均有關焉。是土壤生產力者，乃集合各種要素而成。其生產力之大小，全因其各種要素而定。今使土壤之生產力爲 C ，作物爲 P ，雨水爲 r ，太陽熱力爲 s ，土壤物理性爲 p ，化學性爲 c ，微生物性爲 b ，耕耘爲 T ，輪作爲 R ，施肥爲 F ，以數學法式表之如下。

$$C = \sqrt{(P, r, s, p, c, b \dots T, R, F)}$$

於此可知土壤生產力為各種要素之集合體，其各要素對於土壤生產力自有不少之影響。苟有一缺乏或不良好時，均可限制其生產力。昔利比喜(Liebig)所謂最少養分律，今亦可擴而用之於土壤之生產力矣。茲更以水桶擬之，更可明瞭。設桶為土壤，桶之容水量為土壤之生產力，拼成桶之各板為有影響於土壤生產力之各要素。倘全桶各板，其高均等，則桶之容水量必大。否則有一板最低，則桶之容水量，必為此最低者所限制。不可得桶之容水最大量。猶之土壤之生產力，苟各要素良好，則土壤之生產力自大。否則若有一最少，或不良時，則其生產力必為此一最少或不良者所限制，而不能達其最大之生產力矣。

總之地力之關係，雖極複雜，而其主要條件，最關重要者，第一，土中之養分存量須豐富。第二，有適當水分之供給。第三，溫度合宜。第四，通氣良好。是四者，乃土壤生產力要素中之要素也。

二 永久地力與一時地力

永久地力與一時地力，乃專指土中所含養分而言。永久地力者何，乃指蓄積於土壤中不易分解的礦質及有機質之基本成分，尙未風化，植物不能即時吸收者也。此等成分，感

受一切天然力之作用，如風化之進行，微生物之繁殖，植物之生長，可漸漸分解，年年將不溶性之成分變為可溶性之養分，以供作物生長之需。但其變為可溶性養分之量，各種土壤自不一定。其感受一切天然之分解力愈大，而對於分解作用之抵抗力愈小時，其造成可溶性養分之量，自必愈多。否則，若土中感受天然分解力小。而土中又富於石英及磷酸鐵等分解困難之成分，則可溶性養分之造成必少。

永久地力之大小，與構成土壤之母岩頗有關係。構成土壤之母岩含養分較多者，永久地力大。構成土壤之母岩含養分少者，則永久地力小。直接以人力改進，比較困難。惟間接以圖增進時，如用適當之耕耘，排水，灌溉及施用有機質或石灰等，以促進土壤之理化學及微生物學之性質，則甚有效。

一時地力者何，乃指蓄積於土壤中已經風化之礦質及有機質等成分而言。此等成分，能即時為植物吸收。植物生長每年所需之養分，大半為此種養分。此種地力，可直接以人工增進之，與施肥及耕耘大有關係。苟施以適當之肥料及耕耘，則增進甚易。以量言之，永久地力居全地力之大部分，一時地力僅小部分。但就每年生產力而論，則一時地力居其大部，以每年作物生產所需之養分，多半取給於此也。若每年栽種作物，不施肥料，則一時地力固屬不能維持，而永久

地力，亦必漸衰弱，收量亦必因收漸次減少。其永久地力大者，則收量少，至一定最小限度而止。其土壤中每年被分解之營養分量與收量間，恆保持一種平衡現象。其永久地力小者，則必至收量全無，以土壤中養分量過少，不足以資作物之生育也。

三 地力之測驗

地力測驗，為施肥之先決問題。苟地力中可供植物吸收之養分量愈大，則施肥之效用愈小。地力中可供植物吸收之養分量愈小，則施肥之效用愈大。故欲行合理之施肥，不可不先行地力之測驗。其測驗法，亦有種種，化學分析，亦其一也，但不甚可靠。此所謂地力測驗者，非化學之分析法，乃作物之栽培，較化學分析為可靠。以同種之作物，栽培於不同種或同種之土壤，施以不同之三要素肥料，觀其生長之影響，及產量之多寡，而定其地力者也。然按土壤生產力之各種要素或最小養分律而論，此種試驗，亦不可靠。惟三要素為植物生長最需之養分，土中常形缺乏，最足左右地力者。故行栽培以測定地力時，常行此三要素試驗。例如用甲乙兩種（一種亦可）不同之土壤，分為 A, B, C, D, E 五區。栽培同一種作物，A 區為完全肥料區，B 區為無氮素區，C 區為無磷酸區，D 區為無鉀分區，E 區為無肥料區。依各區

收穫物之百率，以判定其地力之大小。茲據日本東京帝國大學水稻三要素試驗成績，列表於下。以爲例證。

表 九 五

水稻三要素試驗收量百分率

土 壤 \ 肥 料	A	B	C	D	E
	完全肥料	無淡氣區	無磷酸區	無鉀分區	無肥料
甲	100	37	64	67	30
乙	100	63	38	86	33

由此觀之，可知無肥料區與不施土中所最缺要素之區，其收量頗爲相近。其無肥料區與全肥料區之收量百分率，甲乙兩種土壤約略相同，其地力似覺相當。但甲種土壤無淡素區，其收量較乙種土壤無淡素區甚少。乙種土壤無磷酸區，其收量較甲種土壤無磷酸甚少。甲土中無淡素區與乙土中無磷酸區，其收量甚爲相近。於此即可知甲種土壤，最缺淡素。乙種土壤，最缺磷酸。故於甲土中加以淡素肥料，乙土中加以磷酸肥料，其效用均大。

此種試驗，雖可測定土中養分之豐否，但僅恃各區之收量百分率，以判定地力，亦不可靠，尤宜注意於其他要端。

(1) 須注意各區中作物生育上之實際狀況及其他各要素之影

響。(2)盆栽成績不適於田圃，施行此種試驗，宜於田圃行之。或參酌田圃試驗以判定之亦可。(3)於各無要素區之收穫物，施以分析。就無淡氣區之收穫物，而定量淡素。無磷酸區之收穫物，定量磷酸。無鉀分區之收穫物，定量鉀分。然後以之算出作物從土中吸收之天然三要量。更從生產普通作物之某一定量所當之要素量，以計算而比較供試驗土壤中之淡磷鉀之生產能力，則地力測驗，方為精密。

四 地力之簡單鑑別法

簡單鑑別地力之法，亦為實行經營農業之要道。如購買土地之評價，即其一端。彼時既不能行要素栽培，又不能行化學之分析，不可不憑個人之觀察，以辨別其大概。茲將其鑑別時應注意之重要數點，略為述之。

(1) 植物生長之種類及狀況 凡在未熟土壤所有原產木植物之種類，及其生長狀況，可為其土壤性質及價值之表示。大概生長蘋果樹，槐樹，菩提樹，黑胡桃樹，橡樹，及梅樹之地，其土壤較佳。生長掬樹，栗樹，及松檜等樹之地，其土壤較劣。又同種樹木，而於較佳及較劣之兩種土地，均能生長者，則觀其生長之狀況，亦可鑑別其優劣。如掬樹與白橡樹均能生長於上述兩種土壤。但白橡樹生長茂盛者，其土壤較肥，掬樹生長茂盛者，其土壤較瘠。

又草本植物生長之地，較木本植物生長之地爲佳，然亦因其種類而有別。凡苜蓿草，刺兒菜，蔓草，及小麥等生長良好者，爲肥土。蕎麥，雛菊，燕麥，黑麥，馬鈴薯，酸模，及紅蘿蔔等生長良好者，爲瘠土。凡一般長豆科植物之土壤，(除野豆科植物外)均爲肥沃土壤。長草者亦較長蘆葦者爲優良。

(2) 土壤之色澤 土壤之各種色澤，雖不能確切區別土壤之肥瘠，但亦可由比較而知其大概，且一目了然，最易辨別。大凡近於黑色者，土壤肥沃。紅色及褐色者次之。灰色或黃色者爲瘠薄。故農人對於地力之鑑別，辨其其色澤之若何，甚爲重要。第此多限於土壤之表層，至於心土每難察及，若能於觀察表土外，而加以心土之考察，則更佳。(參看第六章土壤之色澤)。

(3) 土質 土質亦爲鑑別地力之重要者。土質大約可分爲黏重與輕鬆兩種。凡黏重性之土壤，其永久地力與一時地力均較輕鬆之砂質土壤爲大。所以在黏質土壤，肥料之利用率常小。砂質土壤，施肥之效能甚爲顯著，卽此故也。他如土層之厚薄，及土位之如何。(參看第六章土位及土層)亦爲鑑定地力所當注意者。

第二十五章 地力之維持及增進

土壤爲孕育萬物之母，屬永久而非暫時之生產者。其生產力之若何，關於民生問題之重要，莫此爲甚。苟不加以講求，而善爲肥培，則地力漸次虧耗，生產減少自不待言。在游牧時代，地廣人稀，土地任人選擇或據有。迨一處之地力耗盡，則遷移他處，另擇肥地，此純爲一種掠奪式之農業。當無所謂地力之保存與償還。其後人口增多，土地有限，而於一定之土地內，須生活一定數人口，於是不得不設法於一定土地內，免卻生產減少之患，而從事土壤生產力之研究矣。

我國以農立國，號稱土地肥沃之邦，然迄今四千餘年，土壤究屬肥沃抑或瘠薄，無敢斷言。據一般農家之推測，有引徵德日兩國之農業狀況以證吾國土壤尙甚肥沃者。（參考中華農學會報第五十八期許叔璣中國農業生產之將來）亦有謂中國生齒之繁，歷史之長，與土壤之瘠爲正比例，以斷中國土壤瀕於瘠薄者。（參考自然界第二卷第二號一五〇至一五三頁）然此兩端均爲理想上之推測，當不可靠。非俟將來

全國土壤調查後，徵之土地收穫，與農業經營之統計，不能明其真相。惟以中國農業歷史之久。栽培作物之盛，其勞力與資本雖不如日德之集約。而每年所還入土中之植物養分，如植物遺體及人畜糞尿等，為量尚不少。他種肥料，實鮮施用，此或中國農業之所以維持數千年歟。然土地面積有限，地力有時而竭，故世界亦有民窮財盡人滿為患之時也。美國農學家裴蓄(Bailey)氏，著神聖土地一書。極力鼓吹地力之保存與增進，為農人與社會絕大之責任。白德斐(Butterfield)氏著世界農業一書，謂保存地力與改良土性為世界政治家最要之政策，是知地力維持與增進之重要矣。第其範圍甚廣，其事極繁，茲擇其要者，分別言之。

一 土壤中淡肥之節省

土壤中含有諸養分以供植物之生長，而含量最少者，為淡，磷，鉀三種。一般土壤中先告缺乏者為淡，其次為磷，再次為鉀，故農家栽培作物欲地力之保存與進增，首應解決此三要素問題也。

1. 土壤中淡肥之節省及補充

土壤中所含之淡素化合物，各不相同，其純淡素含量亦異。霍布金(Hopkin)氏試驗每一英畝之深耕土壤，最少有一，四四〇磅，最多有三四，八八〇磅。(如下表)但同一土

壤，達一定深層時。愈深者，土壤之含量愈少。普通在四〇英寸深以上之土層，含淡素總量較多。但在二〇英寸至四〇英寸深土層之淡素，非土壤管理良好，每不易為作物所利用。

表 九 六

每英畝淡素磅數表(Hopkins)

土壤種類	0-6 $\frac{2}{3}$ 吋	6 $\frac{2}{3}$ 吋-20 $\frac{2}{3}$ 吋	20-40吋	0-40吋
深泥炭土	14,880	64,980	97,730	197,590
黑黏質壤土	7,230	7,470	3,210	17,910
褐色淨質壤土	5,035	5,920	3,570	14,520
褐色壤土	4,720	6,660	4,150	15,530
深灰色淨質壤土	3,620	2,250	2,280	8,150
褐色砂質壤土	3,070	3,920	4,160	11,150
黃灰色淨質壤土	2,890	2,710	3,240	8,840
灰色淨質壤土	2,880	3,210	3,240	9,330
暗褐色淨質壤土	2,820	3,160	3,400	9,360
黃色細砂質壤土	2,170	2,610	2,730	7,510
黃色淨質壤土	2,020	2,050	2,410	6,490
淡灰色淨質壤土	1,840	1,920	2,100	5,910
砂土	1,440	2,070	3,100	6,616

土壤所含淡素之量，略如上述。而其損失之端，除作物所吸收外，其他如流失及飛散，皆為虛費，有虧地力，宜力謀節省者也。茲分別言之。

(甲)防制土中之流失 淡素可由土中流失，前已略述。惟田內淡素之流失，多硝酸態者。若在酸性土壤，其可溶性之腐植質淡素，亦能流失。惟阿摩尼亞態之淡素，則不易流失。因土壤對此化合物之吸收力頗強故也。土中每年淡素總流失量之多少，當隨作物之栽培與否，及栽培之種類，雨量之多寡，土壤理學性之良劣，土壤中可溶性淡素之豐乏，及肥料之增減等種種情形而異。(參看第十六章四)據里昂氏用排水計試驗，每英畝淡素流失量，及作物栽培與否之關係，列表於下。

表 九 七
每英畝作物及排水消失淡素表 (Lyon 氏)

作物	Dunkirk 黏質壤土		Volusia 瘠質壤土	
	作物消失	排水消失	作物消失	排水消失
玉 蜀 黍	144磅	12磅	32磅	15磅
燕 麥	73	9	29	10
草 類	46	1	—	—
牛 草	49	3	—	—
牛草及苜蓿	73	2	—	—
豌豆	—	—	81	12
不栽作物	—	93	—	54

總之淡素之流失，耗費地力，妨害農事，極宜設法防制者也。防制之法，一為增進土壤吸收力。二為栽種牧草。三為排水良好。（參考第九章三）此三者為防制土中淡肥流失之較為切要者。他如沖蝕，亦可使土中淡素損失，亦宜防制。

(乙)防制消化還元作用 土壤中有數種微生物能將可給態硝酸淡素還元為亞硝酸，阿摩尼亞，及游離淡素，使植物不能利用。此雖由於數種硝化還元微生物之存在，而其作用旺盛，則全由於通氣不良，及多量之淡素化合物使然。蓋此等微生物，非有此種適當之情形，不能發育旺盛。且此還元作用，於堆肥中亦多，均宜防制。其防制之法，宜通氣良好，及減低炭素化合物為要。他如有機物分解，亦有將淡素損失者，如稍加入石膏，亦略可防範。

(丙)利用空中之淡素 空氣中含淡素量甚多，約計一英畝面積之空氣中，含淡素七十萬磅。此淡素每年由雨水及土中固淡細菌攜入土中者，亦不少。據英國洛忒孟斯忒試驗場式驗，每年由雨水攜入土中化合淡素之量，每英畝有三磅至五磅，或十磅至十五磅，以雨量多寡等情而不同。在濕潤區，平均一英畝每年約有五磅。此化合淡素，多為阿摩尼亞及硝酸態云。惟此多依賴天然，非人力有所能為。至於由土中固淡細菌利用空中淡氣者，則在促進土中共生與非共生細菌之

發育爲要。

蓋土壤中能吸取空中淡素之細菌，大別之不外共生細菌與非共生細菌兩種。共生細菌，即一般之根瘤菌與其寄主營共生作用者。非共生細菌，乃單獨存在於土中，不寄生於植物者。此兩種細菌，均能固定空中之淡氣。惟土中已有此等細菌存在，應設法使之發育旺盛。否則應設法培植，斯爲重要。

(A)須土中之情形良好，適於固淡細菌之發育。(a)土壤無酸性。因酸性土壤對於此等細菌均能爲害。但鹼性過強，亦所不宜。(b)土壤中須有相當可給態之炭水化合物及磷，鉀，鈣等成分以供其需要。(c)通氣良好，溫度適宜。

(B)實行細菌接種法 接種細菌，歐美各國，已盛施行。我國農家無行之者。蓋接種細菌，可以增加固定淡素之量，自不待言，如下表所示，其接種法詳第二十一章，茲不贅述。

表 九 八

	甜 苜 蓿			苜 蓿 草		
	葉莖	根	總量	莖葉	根	總量
接 種	112	16	128	90	32	122
不 接 種	10	1	11	11	3	14
從接法而來	117			108		

(丁)施行輪栽及休閒。

2. 土壤中淡肥之補充

(甲)土中淡肥之來源及其種類 土壤中淡肥之來源，除空氣中自然供給外，而一般用以補償土中淡素之肥料，可大別為有機淡肥及無機淡肥。

(A)所謂有機淡肥者。如棉餅，豆餅，麻餅，雜肉屑，乾血，魚粕，毛骨釀造之糟粕等。以上數種，為製造廠之副產物，土中淡肥來源之重要者。他如綠肥，堆肥，糞尿，厩肥及泥炭等，亦土中淡肥之重要來源。

(B)所謂無機淡肥者，如智利硝石，硝酸鈣，硝酸銨，硫酸銨，綠化銨，磷酸銨，及青酸銨等是也。

(乙)各種淡肥之特性 吾人選擇淡肥之品質，必先明瞭各淡肥特性。其最宜注意者，約有五端。一、淡素之全量。二、有酸性。三、副成分之作用。四、適於他肥配合之品質。五、對於土壤之保持性。於此五端，各分為五級，屬第一級者，品質最佳，茲列表於次。

表 九 九

	阿摩尼亞 含量	百效性	趨鹼性	配合之品 質	土壤之保 持性
尿素	I	III	III	V	IV

硝磷銨	I	I	IV	IV	V
路那硝石	II	II	V	IV	IV
綠化銨	II	II	V	IV	IV
硫酸銨	II	II	V	III	IV
青淡化鈣	II	III	I	I	III
硝酸鈉	III	I	II	V	V
硝酸鈣	III	I	II	V	V
乾血	III	IV	IV	II	II
磷酸銨	III	II	III	III	IV
廢毛	III	V	IV	III	I
屠場肉屑	III	IV	IV	II	II
魚粕	IV	IV	IV	II	II
棉子餅	IV	IV	IV	II	II
蒸製骨粉	IV	IV	III	I	II
煙筋	IV	IV	IV	II	II
廢桶肉屑	V	V	IV	II	I
泥炭	V	V	IV	II	I

(A)阿摩尼亞之含量 淡肥中所含淡素之量，常以其阿摩尼亞等量百分數表之，如十四磅之淡素，等於十七磅阿摩

尼亞之量。淡肥中含阿摩尼亞最多者。爲尿素，約百分之五。五。硝酸銨含量亦多，居百分之四二，屬第一級。路那硝石，綠化銨，硫酸銨，及青淡化鈣，含百分之二十五至三十五，屬第二級。他如有機淡肥之乾血，雜肉屑，魚粕，及棉餅等所含阿摩尼亞，約百分之七至十七。屬第三四級。（如上表）。

(B) 有效性 一般作物利用淡肥，於硝磷態時始能吸收，故硝酸態淡肥，如硝酸銨，硝酸鈉等，植物吸收最易，屬第一級。阿摩尼亞鹽，屬第二級。尿素及青淡化鈣爲第三級。乾血棉餅及其他動植物質含淡百分數較高者，爲第四級。泥炭，廢桶肉屑及其他含淡百分數較低者，爲第五級。

(C) 副成分之作用 淡素肥料除淡素而外，必含有其他物質。此物質對於作物及土壤之影響，亦不可不知。例如硝酸鈉施入土中，植物攝取硝酸伊洪，而遺鈉伊洪於土中，可使土壤變爲鹼性反應。若繼續施用，則使土壤呈一種破團或散粒作用，變劣土壤之組織。至於硝酸鈣施入土中，其功用與硝酸鈉相等，但無此破團作用，不至使土壤組織變劣。他如硫酸銨遺其硫酸於土中，增進土壤酸性。故吾人選用淡肥，當先明所用淡肥對於土壤之反應，及作物之生育狀況也。

(D) 配合之品質 淡肥有單獨施用者，有常與他種肥料

配合而施用者。但此須明其配合之性質，否則或變劣其成分之狀態，或令其成分易於損失。（參看配合及施用節）隨各種性質而異。

(E)土壤之保持性 淡肥施入土中，因其種類不同，其流失之度亦異。惟土壤對於硝酸伊洪之吸收力甚弱，不易保持，故淡肥為硝酸態者，最易流失，施用時極宜注意。

(丙)淡肥之配合及施用 淡肥中有能與他種肥料配合者，有不能與他種肥料配合者，視其性質而異。例如尿素硫酸銨，及硝酸銨等，與石灰鹽配合，則生遊離之阿摩尼亞而揮散。智利硝石與過磷酸石灰配合，久置之，則智利硝石漸分解生無水硝酸而損失，且成固塊，施用不便。又智利硝石或硝酸石灰，與硫硝鉀配合，不惟有吸溼潮解之憂，且所含淡素成分，亦有損失之虞。他如硫酸銨與智利硝石或過磷酸石灰配合，則不發生何種惡劣之影響。

淡肥施用時，其種類與分量當隨土壤作物及氣候情形而不同。凡愈近於砂質之土壤，則硝酸態之淡肥愈不宜用，尤不宜多用。在播種或栽植以前，均不可用。否則徒費，以其最易流失故也。惟愈近於黏土者愈佳。並可於播種或栽植後分次施用。他如土壤本是酸性，不宜再多用含酸質重者。如酸性土壤，不宜多用硫酸銨，或綠化銨等淡肥，否則反是。

作物因其種類不同，其需要養分之種類與分量自有差異。凡屬於豆科作物，施用淡肥之效用甚少。惟何種作物，適用何種淡肥，甚難斷言。但適於酸性生長之作物，施用酸質較多者為佳。如藍莓(Blue berry)及馬鈴薯等，常適於硫酸銨之施用是也。適於鹼性生長之作物，施用含鹼質較重者為佳。如甘藍及甜菜等，常適於硝酸鈉之施用是也。

又氣候之寒，暖，燥，溼，與肥料分解之緩速，頗關重要。大凡暖溼之地，宜用分解緩之淡肥，且宜分次施用。多雨之區，硝酸態淡肥最宜少用，以免流失。寒燥之地，宜用分解較速之淡肥，與暖溼之地適反。

二 土壤中磷肥之節省及補充

磷為動植物生長最要之養分，土壤中次易缺乏者。考各種土壤中所含之磷化合物，各有不同。而其分量，亦多差異。平均在溼潤地一英畝，深耕之土壤，約含磷酸三千磅。惟此除作物消用外，他如土面沖蝕，及土中流失之量亦多。宜力謀節省或補充，以期地力之維持及增進。

(1) 土壤中磷肥之節省

(甲) 防制土面之沖蝕 沖蝕不特可使土中之磷質損失，凡土中之礦質成分，被沖蝕而去者，其量甚多。考風與水，均有沖蝕作用，可將表面土壤移去。故往往經時不久，而底

層土壤變為表土者有之。惟二者作用之強弱，為害之大小，當隨氣候及土壤各種情形而異。大凡在風沖蝕作用最強之地，土壤往往覆以砂，或澆溼糞，或栽種護土之作物，其沖蝕乃減，至水沖蝕作用最強之地，亦極宜防制之。其法參看第九章。

(乙)防制土中之流失 在半乾地方土壤中，可溶性之鹽類，隨微管水向上昇之力，較向下滲之力強。潮溼地方，則土壤中可溶性之鹽類，向上昇之力，較向下滲之力弱，遂因而流失矣。其流失之量，當以作物土壤及雨量各種情形而異。其防制之法，如增進土壤之吸收力，栽種牧草，改良排水，均為重要。(參看上節防制土中淡肥之流失)。

(丙)栽培深根作物以利用底層之磷肥 蓋底土亦多含磷質，此等磷質，如不謀利用，均被流失。若栽培深根作物，則作物之根，深入土中，可以吸收之。既可稍減表土消耗，並能運入其根之上部或作物之莖葉內。待根莖葉等遺入土中，亦可增加表土之磷分。是栽培深根作物，既能節省表土磷分之消耗，復可將下層磷分運至上層矣。

(丁)施行輪栽及休閒。

(2) 土壤中磷肥之補充

(甲)土中磷肥之來源與種類 磷為動植物生長極要之養

分，而以作物之穀粒，及動物之骨，需要最多。土壤中含磷既少，又非如淡素可由空中自然之資助而來。苟不施行補充，必形缺乏。吾國土壤中磷分之如何，殆無考據，以理推之，恐不免於缺乏。以中國土壤耕種之久，而一般農家對於磷肥之施用，除少數之骨肥外，其他施用者極少。近來雖有施用人造磷肥者，但其量亦微。是土壤中磷肥之來源既狹。而年年多栽穀類作物，其消失之度，亦可想見。但究其缺乏與否，及缺乏之狀態若何，當有待土壤調查，及農業經營之統計，始能明釋。

土壤中磷肥之來源，亦不外有機磷肥，與無機磷肥兩種。有機磷肥，以骨肥為最要，如骨粒，骨粉，骨灰，及骨炭等。均土中磷肥之重要給源。無機磷肥，則有磷石，及磷酸鹽等。考自磷石未發現以前，世界上所賴以補充土中磷肥之惟一來源，厥為骨肥，其次為鹽基性磷洋。現今世界磷石發現甚多，實為補充土中磷肥之重要來源。吾國海州存量亦富，以土法開採者亦多。奈產品完全作為原料，售於日人，自己不能利用，殊為可惜。

(乙)各種磷肥之特性 磷肥所含磷分之量，常以磷酸等量百分數表之。考磷肥亦有種種，而其品質之良劣，全以其溶度，及磷酸之含量而定。普通所用為肥料者，有磷石，鹽

基性礦渣，骨粉，及磷酸鹽類等。

表 一 ○ ○

磷肥	磷百分數	磷酸百分數	有效性
磷石	11.8—13.5	27—31	不溶性
鹽基性礦渣	4.5—8	10—18	較骨粉溶解甚難
骨粉(蒸製的)	1.0—11	23—25	溶解性中常
磷酸鹽	5.7—8	13—18	最易溶解

上四種磷肥，磷石係由磷礦石粉碎而來者。鹽基礦渣，係自鐵廠製鋼時之副產物，為英人 Thomas 氏所創用，故又名 Thomas slag。骨粉為骨肥之一，種類甚多，蒸製骨粉，乃將骨內之脂肪及膠質脫去，而粉碎者。磷酸鹽，乃係一不溶性磷鹽。加酸製造，變為可溶性之磷酸鹽，如過磷酸石灰 (Super phosphate)，磷酸鉀，磷酸銦等，是也。

(丙)磷肥之配合及施用 磷肥有配合施用者，亦有單獨施用者，乃視土壤及作物之情形而定。若欲行配合，則隨各種肥料之性質，而定配合狀態為要。至於施用，亦隨土壤氣候之情形及作物之性質，而定施用之種類，及分量。例如磷石與廐肥或綠肥配合，耕入土中，則最為有效。若土壤為黑土，或泥炭土時，則可直接施入土中，俾其與土壤完全混和

無須與他肥料配合，亦甚有效。骨肥施入輕鬆之土壤及近於砂質之土壤，其效較佳。鹽基礦渣，則施入黏質土壤為佳。又根菜類，禾穀類，及豆菽類作物，均甚須要磷肥。但其種類不同，而適應於磷肥之性質亦異。例如鹽基礦渣，骨粉，及磷石等。對於生長於酸土之玉蜀黍及馬鈴薯等，則為良好。磷酸鹽（過磷酸）則對於速效性之作物，如草地之苜蓿，及冬草等施用為宜。

三 土壤中鉀肥之節省及補充

土壤中鉀肥之含量，較淡磷二者為多。萍質及黏質土壤含鉀百分數更高。平均一英畝之耕土，有三〇・〇〇〇磅。心土含量常較表土為多，故有謂壤土施行深耕，使作物之根得以透入土層，其鉀分量，足敷作物之需用，不至如何缺乏。但凡經二十五年或二十五年以上耕種之土壤，施以可溶性之鉀肥，亦能增進作物之生產。是亦不可不謀節省及補充也。

(1) 土壤中鉀肥之節省

土壤鉀肥之節省，亦不外防制土面沖蝕，及土中之流失。栽植深根作物利用下層土中之鉀分，及輪栽休閑諸端，與節省土壤之磷肥相同。

(2) 土壤鉀肥之補充

(甲) 土壤中鉀肥之來源及種類 土壤中鉀分含量，雖較

淡磷二者爲多，然亦易告缺乏，須行補充。其用爲補充之鉀肥，昔時僅爲草木灰一種。歐洲諸邦，最初復亦如是，後漸感其缺乏。利用富於鉀分之天然礦物，如鉀長石，雲母石，及沸石等。現世界最著明之鉀肥來源，則爲德國之粗鉀鹽，其存量約計可供世界數千年之用。此種粗鉀鹽，其最爲重要者，有 (a) 光鹵石 (Carnallite)，(b) 鉀鹽 (Kainite)，(c) 鉀石鹽 (Sylvite) 三種。(a.) 約含有百分之九十三養化鉀，(b.) 約含有百分之十二至十六之養化鉀，(c.) 含有百分之十六至十七養化鉀，此外尚含有他種鹽質如鹽化鎂及硫化鎂者。

上述三種鉀鹽，皆用原礦破碎而販賣爲肥料者也。其精製鉀鹽，用作肥料者，亦有種種，普通販賣者，爲硫酸鉀，綠化鉀。

(乙) 各種鉀肥之特性及其施用之要點 鉀肥所含鉀分量，常以養化鉀量百分數表之。各肥料之種類不同，所含養化鉀之量及其性質均異。而其施用，亦不能有所辨別也。

(A) 草木灰 草木灰係草與木所成之灰，爲富鉀之有機肥料。其所含養化鉀量之多寡，全視其草木之種類而異。大概草灰較木灰含量爲大，平均有百分之二至百分之三十均能溶解於水，爲速性之鉀肥料。其特性一爲一切作物均能施用，豆科，根菜及煙草等爲尤宜。二爲富於腐植質之溼田，施用

甚爲有效。三爲宜與淡肥及磷肥並用。但不宜與阿摩尼亞淡肥，及磷酸鹽類（如過磷酸石灰）等相混合，且不宜與此等肥料同用。四爲鹽基性，適於酸性土壤。若用於中性土壤時，應與此等可配合之淡肥及磷肥，配成弱酸性反應爲宜。若用於砂土，宜先施用有機質，或與腐熟有機質合用亦佳。

(B)光鹵石 此種鉀肥之主成分，爲綠化鉀，及綠化鎂所成， $KCl + MgCl + 6H_2O$ 有吸溼性，故常含六分子水分。其鉀之含量，通常爲百分之九至百分之十一，可溶解於水。以其多綠化物故也。在栽植煙草，馬鈴薯及甜菜之地，不宜施用。

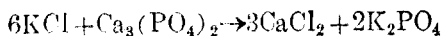
(C)鉀石鹽 此爲綠化鉀及綠化鈉所成， $KCl + NaCl$ 含鉀百分之十五左右，可溶於水。除大麻等作物外，不宜妄施。

(D)鉀鹽 此爲天然鉀肥最普通者， $K_2SO_4 + MgSO_4 + MgCl_4 + H_2O$ 含鉀百分之十二至十六，有吸溼性。久置於溼潤空氣中，則行固結。適用於豆科等植物，宜於播種或移植前數週施用，以免鉀素之流失。

(E)硫酸鉀 硫酸鉀含鉀量約百分之四十八至五十一，無吸溼性，適於與他種肥料混合。各種作物均可施用，常與土中石灰相結，變爲石膏，可防土中石灰之流失。

(F)綠化鉀 綠化鉀含鉀甚多，約百分之五十至五十二，

溶解度最高。但富於綠氣，施用時，宜特別注意。(1)凡缺乏石灰之土壤，不宜施用。(2)能減少土中之石灰，並變惡土壤之組織。(3)不適於煙草馬鈴薯等作物。若用於煙草，則害其燃性。用於甜菜，則減少糖分之生成。用於馬鈴薯，則令澱粉之粉質變為玻璃狀。(4)宜用於甘藍，洋葱，芹菜，番茄等蔬菜類。他若蕎麥，大麻，亞麻等作物，亦宜施用。(5)能吸引地下水至表土，堪耐旱害。土中不能溶之磷酸及其他不溶性養分，可變為有效。如磷酸三石灰，與綠化鉀互相作用，則變為可溶性磷酸鉀。



總之鉀鹽之施用，就土壤言之，凡砂土及瘠薄之腐植土。(如泥炭土，黑土)甚為有效，黏土則否。以其富於鉀分，不需鉀肥之補充故也。就作物言之，凡施用適宜，均為有效。豆科作物，如豌豆，大豆等，最為有效。馬鈴薯蕪菁之根菜類次之。他如牧草類及禾穀類等作物，亦為有效。

四 土壤衛生之注意

土壤衛生者，乃調治土中各要素，如水分，溫度，空氣，耕耘，輪栽及消除毒性等，以維持土壤之健康，使適於作物之生長者也。故欲維持或增進土壤生產力，必須使土中水分，與溫度適宜。空氣流通，毒質消除。耕耘良好，輪栽作物及

施行其他要端。惟水分，溫度，空氣，各要素。已於土壤水分，土壤溫度，及土壤之空氣各章中詳述之。消除毒性，石灰爲要。亦於土壤之石灰章言之，茲將耕耘及輪栽分別言之於下。

(1) 耕耘 耕耘對於農事之重要，盡人皆知。而其耕耘之方法，耕耘之時期，及所耕之深度，爲耕耘應注意之要點，而皆隨土壤之性質爲變移。昔有謂耕耘卽肥料者。茲將耕耘之功效，更簡述之。

(甲)可以粉碎及疏鬆土壤。使土壤之排水，通氣良好，溫度增進。

(乙)可以將土面各種有機物及植物遺體等翻入土中，俾與土壤全行混合，增進其效用。

(丙)可以除去雜草及蟲害。雜草爲作物生長之大敵，農家栽植物，最應除去者。耕耘時，可以剷去及埋入土中。又潛集草株上之害蟲，亦可隨之殄滅。又凡潛伏於土中者，於施行秋耕或冬耕時，可轉至土面，俾其死滅。

(丁)可以增進土壤之保水力，耕耘對於土壤水分，甚關重要。(1) 可以減少土水之奔流，因耕耘後，土壤組織變亂，土中微管水不相連結。

(2) 輪栽 輪栽者，乃輪流栽培各種作物於一地之謂也。

其輪栽方式，有二年，三年，四年，五年，六年種種，皆隨各地之情形而定。惟最要者，每行一次輪作，至少須栽培豆科作物一次。茲將輪栽之功效較要者，臚列於下。

(甲) 輪栽可以調節土中各種養分之消耗，得維持較遠之土壤生產力。蓋作物之種類不同，其對於各種養分消耗之量自異。有消耗土中之氮素多者，有消耗土中磷素或鉀素多者。易受最小養分律之限制。若施行輪栽，則土中養分得以調節，不致偏缺。又如專栽種一種淺根作物，如下滲之養分，不能為作物所利用，往往易於流失。若施行輪栽，淺根作物與深根作物輪行栽植，則無此弊，因此土壤之生產力可以延長。

(乙) 輪栽可以防制病蟲害 某種植物，常有某種特殊之蟲害或病害寄生。此等病蟲，可以潛伏土壤。若連年栽植一種作物，則其發育必盛，為害極大。若施行輪栽，則為某種作物之病蟲，不能適宜於他種作物而發育，其害必減。

(丙) 可增加土中之有機物 土中有機物之重要，已於土壤有機物章述之。惟行適當輪栽者，例能增加土中有機物。如連作玉蜀黍者，其土中有機物當較行玉蜀黍，小麥，及苜蓿輪栽者為少。蓋適當之輪栽，均能增加土中之綠肥也。

(丁) 可以減少土中毒質之堆積 蓋作物之種類不同，其

對於土中毒性之抵抗亦異。甚有一種作物，自身分泌之毒質，不利於自身之生長，積久有不能抵抗者。施行輪栽，則有相當之功效。由此可知輪栽之直接或間接影響於土壤生產力者頗多。故良好輪栽，乃維持及增進土壤生產力重要之要素也。茲將輪栽與連栽三十年平均每英畝之產量，列表於下，則知其關係深矣。

表 一 〇 一

輪栽與連栽產量之比較表(Miller)

栽種制度	玉蜀黍	燕麥	小麥	苜蓿	牛草
六年輪栽	41.5bu	27.2bu	20.7bu	21.7 cwt	24.4 cwt
四年輪栽	38.5	27.9	23.6	20.6	
三年輪栽	32.6		14.4	19.1	
二年輪栽			18.4	29.7	
玉蜀黍連栽	20.9				
燕麥連栽		15.9			
小麥連栽			9.5		
苜蓿連栽				21.3	
牛草連栽					25.7

又地方虧弱之土壤，用一定施肥法。其輪栽與否，影響於土壤生產力頗有差異。茲將俄亥俄試驗場報告，列表於下。

表 一 〇 二

栽種制度	施肥	1890—1898 首五年平均 產量	1909—1913 第四次五年 平均產量	二十年產量 之增加及減 少(百分數)
玉蜀黍連栽	不施肥	26.20 英斗	8.44 英斗	減少 67.8%
玉蜀黍五年輪栽	不施肥	31.89	20.31	減少 36.3%
玉蜀黍連栽	商業肥料每畝作物 200 磅	38.86	26.83	減少 30.9%
玉蜀黍連栽	天然肥料每年每畝 5 噸	43.13	30.22	減少 30.0%
玉蜀黍五年輪栽	商業肥料每五年 985 磅	53.78	44.10	增加 23.2%
玉蜀黍五年輪栽	玉蜀黍及小麥施天 然肥料每一輪栽內 16噸或每畝 8 噸	46.73	55.83	增加 37.0%

於此觀之，其輪栽與非輪栽之關係頗為有趣。在二十年內行玉蜀黍連栽者，不施肥料，其產量減少甚多。若施行二十五噸天然肥料，則產量僅少百分之三十。其行五年輪栽者，不施肥料，僅減少產量百分之三十六。若施天然肥料十六噸，則產量竟增至百分之三十七。其施人工肥料者結果亦同。其不施肥料而行輪栽者，較施肥而行連栽者，其產量減小亦少云。

表 一 〇 三
各種作物適宜之土壤

作物	最適宜之土壤	改良方法	施肥
稻	黏土或黏質壤土，心土極黏重		堆肥，豆餅
棉	壤土，砂質或溼質壤土	常耕鋤，行輪作除砂質土外宜秋耕	廐肥，豆餅
小麥	黏土或溼質壤土，表土宜深，心土宜黏重	施石灰與豆類行輪作施有機質肥料	堆肥，人糞尿，草木灰，過磷酸石灰
大麥	黏土，壤土，砂質壤土，乾地宜黏重，溼地宜砂質壤土，表土宜深	深耕，行輪作制，排水良好，施微菌植質少量石灰	豆餅，堆肥，石灰
粟	砂質壤土，熱帶宜黏，溫帶宜鬆土	深耕	綠肥，人糞尿
玉米蜀黍	壤土最宜，輕砂土，重黏土均宜	深耕，行輪作制，排水良好	多施有機質肥，石灰，磷肥
高粱	壤土，砂質壤土，黏土	深耕	堆肥，廐肥，綠肥
蕎麥	壤土，心土宜砂質壤土	土瘠時宜輕鬆，排水良好，施有機質肥	
大豆	砂質壤土，黏質壤土	深耕，排水，施微量石灰與棉花及玉蜀黍行輪栽	過磷酸石灰，草木灰
豌豆	黏土，壤土	排水，深耕，施微量石灰	過磷酸石灰，草木灰，缺菌植質者宜施有機質肥料
蠶豆	黏土，腐植土	輕鬆土，宜施有機質肥	骨粉，廐肥，草木灰
綠豆	黏土，壤土		堆肥草木灰
馬鈴薯	壤土，砂質或溼質壤土，最忌黏土	秋耕，排水，行輪作	廐肥，多量鉀肥，忌石灰
大麻	砂質壤土	排水	豆餅最佳，人糞尿，堆肥，草木灰

亞麻	壤土	輪栽	完全肥料，施有機質肥，須十分腐熟，或先期施下
苧麻	壤土，砂質壤土	排水，深耕	腐爛人糞尿
黃麻	肥美沖積土最宜		人糞尿，豆餅，草木灰，堆肥
苘麻	砂質土壤		堆肥，豆餅
黑麥	砂土，砂質壤土	微量有機質肥	廐肥，磷肥忌施石灰
燕麥	壤土，粘質或津質壤土，忌乾燥砂土	施有機質肥	廐肥，磷肥，堆肥
甜菜	潮潤土壤，土層宜深，忌砂土粘土	深耕，輪栽，灌溉，砂土或粘土，宜施有機質肥	廐肥，智利硝石，骨粉，缺石灰地，酌施石灰
甘蔗	粘土，壤土，粘質壤土最佳	排水，施有機質肥	人糞尿，花生餅，綠肥，磷肥，忌多施廐肥，砂土施鉀肥
落花生	砂質壤土	深耕，輪栽，施石灰同時宜施微量有機質肥，忌濫用淡肥	
茶	肥沃壤土最佳，土壤宜高燥鬆軟，表土深厚，地力肥美，心土含鐵錳等質	深耕，常中耕，排水	人糞尿，豆餅，米糠，堆肥
菸草	雪茄及他種薄草種，宜砂質土，濃色菸宜粘質土	施有機質肥，形水，輪栽	豆餅，棉餅，智利硝石
薑薑	土質不拘	施有機質肥，輪栽	堆肥，人糞尿，豆餅，廐肥，骨粉，過濃磷石灰
甘薯	砂質土及利於排洩之地	腐植質，綠肥，輪栽	草木灰，綠肥，廐肥，堆肥
胡麻	土質不論何種，以高燥為宜		腐熟堆肥，瘠地宜多施肥
蘿蔔	砂土，砂質壤土，土層宜深	深耕，充分耕鋤	堆肥，廐肥，人糞尿，豆餅，油粕，過濃磷石灰
蕪菁	忌重粘土及溼地		

芋	溼潤黏土，壤土	灌溉	堆肥，廐肥，豆餅，草木灰，過磷酸石灰
白菜	黏土，砂土，捲心種以黏質壤土為宜	施有機質肥，充分耕耨	人糞尿，豆餅，廐肥，堆肥，過磷酸石灰
菠菜	砂質或黏質壤土，壤土，土質宜肥沃	施腐植肥，灌溉	人糞尿，過磷酸石灰
蔥	黏土，黏質壤土	排水，勤於耕耨培土	堆肥，人糞尿，草木灰，豆餅，米糠，油粕
黃瓜	砂土，砂質壤土	排水	堆肥，廐肥，豆餅，草木灰，過磷酸石灰
果類	滓質壤土	常耕耨	視果品之種類而異
桃梅櫻桃	砂土或砂質壤土	冬季栽種豆科作物，常耕耨	視土質及氣候而異
葡萄	砂土或砂質壤土		油粕，豆餅，草木灰，過磷酸石灰

参 考 書

T. Lyttleton Lyon and Harry O. Backman—**The nature and Properties of soils.**

T. Lyttleton Lyon, Elmer O. Fippin and Harry O. Backman—**Soils Their Properties and Management.**

Cyril G. Hopkins—**Soil Fertility and Permanent Agriculture.**

Edward J. Russell—**Soil Condition and Plant Growth.**

George P. Merrill—**Rocks Rock-Weathering and Soils.**

E. W. Hilgard—**Soils.**

F. H. King—**The Soils.**

Firman E. Bear—**Soil Management.**

Harney W. Wiley—**Principles and Practice of Agricultural Analysis Volume I Soils.**

Paul Emerson—**Soil Characteristics.**

Wilbert Walter Weir—**Productive Soil.**

Sir A. D Hall—The Soil.

Sir A. D Hall—Fertilizers and Manures.

Frank D Gardner—Soils and Soil Management.

Franklin Stewart Harris—Soil Alkali.

Lucius L. Van Slyke—Fertilizers and Crops.

Joseph E. Greaves—Agricultural Bacteriology.

J. G. Mosier A F Gustafson—Soil Physics and
Management.

Harry Snyder—Soils and Fertilizers.

Sidney B. Haskell—Farm Fertility.

Frederick V Emerson—Agricultural Geology.

Milton Whitney—The soil and Civilization.

土壤學講義

大工原銀太郎著

地質學

謝家榮著

各種土壤學雜誌及報告