

土壤學

土 壤 學

著 者

鄧 植 儀

美國威士康辛大學碩士土壤學系研究員

國立中山大學農學院土壤學教授

廣東土壤調查所所長

美國愛阿瓦大學農學碩士

前國立中山大學農學院農林化學系主任

土壤學教授

廣東土壤調查所技正

中華民國二十六年八月二版

631.4

L1022

土 壤 學

版權所有 翻印必究

中華民國二十六年八月再版

定價： 每冊國幣貳元正

著 作 者 鄧 植 儀
 彭 家 元

發 行 者 鄧 植 儀 彭 家 元
 廣 州 中 山 大 學 農 科 學 院

承 印 者 廣 州 蔚 興 印 刷 場

代 售 處 中 山 大 學 農 科 推 廣 部

二 版 序

本書原爲大學農科土壤教本缺乏而作，故取材範圍，以與現行之大學農學院課程相對，而適于應用爲原則。自出版以來，漸爲各大學農學院所採用，自維學識淺陋，然仍欲本初衷，將本書原有之基礎，逐漸修訂，冀成較完備有用之教本。考近數年來，國際間之土壤研究，日益進展，國內之土壤研究機關，亦陸續建設，爲有系統之專門研求，誠我國農業科學發展前途之幸事也。際斯再版之時，將年前國內外尙未肯定而現可審定之材料，與乎國內新發見與有系統之分類材料，廣事搜集，分別編入，使學子對於本國土壤性狀，有相當基本之知識，庶漸免採用外國文教本之缺憾，是則著者之冀望也。年來土壤科學發表之知識與材料，雖日新月異，然對於農業教本上選擇援引，需加審慎，而免見解有無謂之分歧，著者識淺，深盼國內土壤專家有以指正之。此次重編，對原書章目，畧有變更，而採材已較前豐富，插圖較前增加。本書編印時，其校對與編訂索引等工作，得中山大學農學院同寅黃君世仁勩助不鮮，而新圖表之製作，又得廣東土壤調查所同寅羅熊羅蘭兩君代勞，謹此並鳴謝忱。

民國二十六年八月

著者同識于廣州

初 版 序 (一)

管子水地篇曰，地者萬物之本原，諸生之根莖，是土壤與生物及農業之關係密切，吾先哲知之久矣。禹奠九州，辨土壤之性質，定賦貢之等差，雖其鑑定方法，以今之土壤科學眼光觀察，未免失諸簡陋，然在數千年前具有此種知識，殊屬難能可貴；倘後起有人，於理想事實兼同研究，則吾國之農學與農業不至亘古不振如斯矣。攷泰西農學史，其農學之進步，以科學為根據。就土壤學而言，十九世紀以前，尙未成為專門之學，蓋以其時科學未甚昌明，土壤與植物之關係未經切實考究也。迨至一八〇四年，法人地沙司氏 (Theodore de Saussure) 始證明植物生長須吸收土中之無機物而同化，并土壤如何資養植物。後此而群賢繼起，如布升高 (Boussingault) 李璧 (Liebig) 等，於土壤作用均有發明，至是而土壤學漸有基礎。復經近代土壤學者如傾氏 (King) 希路吉 (Hilgard) 耶路里高 (Hellriegel) 等畢生之研究，土壤科學日就昌明，遂成為農學上重要之科學。晚近數年，萬國土壤學會成立，聯合世界土壤學者，本分工合作之精神，共同研究世界各部土壤。深信此後土壤科學進步尤速，而真理益明，斯誠為土壤科學前途闢一新紀元也。

民國二年在美時，曾編有土壤學稿，回國後，以此種專書尙鮮需要，延未付梓。十餘年來，服務農業教育界，每欲專致力於國內土壤之研究，以整理舊稿，徐圖出版。第以他種任務羈絆，未能如願。近年來，差幸心稍清閒，教學研究之外無他繁擾，復得同道彭家元先生合

作，各出歷年編纂之資料，益以國內之土壤知識，冶於一爐，重新整理，編作中山大學農科講義者有年。茲以坊間土壤學書尙屬缺乏，又值金價暴漲，外國書本，動輒一二十金，學生購辦匪易，且又難得善本，爰將已整理之講義稿付梓，以供需要。明知出版倉卒，錯誤難免，還冀海內明哲，賜以指正，俾於再版時修改，是不獨著者之幸，吾國土壤科學前途實利賴之。胡闕將成，謹綴數言，以弁其首。

中華民國二十年九月鄧植儀序於國立中山大學農科學院

初 版 序 (二)

「土」，說文吐生萬物之意，「壤」，柔和之貌。故土壤為農業之根本，而欲其出產豐富，恆千秋萬世以供人類之衣食住行之原料，不能不使其保持柔和之貌。堅不固結，鬆不輕浮，含適當之水分，具相當空氣養分，得合度之供給，根部得自由發展，夫如是而後可達豐收目的。

我國幅員廣袤，山陵原隰，所在不同，有燥土，有濕土，有粘土，有砂土，有酸土，有鹼土。燥者潤之，濕者除之，是於灌溉排水，不能不加以注意。粘者弱之，砂者強之，是於有機質之供給，及耕種方法不能不加以研究。酸土如何矯正，鹼土如何改良，故於物理的，化學的，生物的關係，不能不有明白認識。他如土壤物質來源，鑑定及辨別土宜等，皆為土壤學者不可少之知識。

著者本執教多年之經驗，參攷東西文籍，編成講義，啓導學生，俾於學理事實兩得了解。近以金價日昂，東西文籍動輒十數元，購置既難，而所有材料多非適合國情。夫土壤有地方性質，就廣東而言河北土壤已覺減少興趣，遑論在中國而談外國土壤乎？本此原因，乃將舊稿整理付梓。全書分十七章，適合專門及大學初步土壤學一學期之授課，或甲種農業學校參攷之用。我國素乏土壤調查及研究工作，除盡量搜集本國材料外，倘未能稱為中國化之土壤學，教材分配亦不免掛一漏萬之嫌，諸待補充更訂。編書最難，編土壤學尤難。然此書一出，國內不乏高明，或可拋磚引玉而見宏

文巨著。則土壤學界之光明也，是爲序。

中華民國二十年九月彭家元序於國立中山大學農學院

參攷文獻之著者名錄

A

- Anderson J. B. 安特生氏, 92
Arrhesius Prof. 愛利休士氏, 253
Atterberg 隘德堡氏, 49, 71,
Aurel Stein Sir, 45

B

- Bartlett 巴列氏, 19
Baumaum 保文氏, 221
Boussingault 布升高氏, 25, 175
Bouyoucos 波于可氏, 243
Boyle 波依氏, 177
Briggs 布力氏, 128, 130, 134,
242
Buckingham 畢瓊汗氏, 152
Buckman 畢文氏, 153
Buhert 布浩氏, 209

C

- Chester 車士打氏, 204
Clark E. W. 克力氏, 3
Cobert Steven A. 柯柏特氏, 197
Comber 金布氏, 218, 250
Cramer 克藍麻氏, 198

D

- Damon S. C. 典門氏, 254, 256
De Vries 地夫里氏, 267

- Deherain 地希蘭氏, 265
Detmer 達摩氏, 222
Dokuchaiev 都高沙夫氏, 2
Dupre 刁布利氏, 139
Dyer 戴雅氏, 237

E

- Effnont 意夫侖氏, 203
Eichorn 哀士汗氏, 238
Emerson 奄麥臣氏, 260

F

- Frapis 夫立氏, 237
Fred 夫列氏, 254

G

- Gardner 葛那氏, 72
Gasparin 嘉士巴連氏, 265
Geikie 佳奇氏, 1
Gilbert 基路拔氏, 15, 25, 39, 123
Glinka 固陵加氏, 2
Grandeau 固蘭杜氏, 224

H

- Hall A. D. 何氏, 48, 76
Hartwell B. L. 赫爾威氏, 254,
256
Hellriegel 耶路里高氏, 15, 124,
208

Hilgard E. W. 希路吉氏, 2, 18,
31, 70

Hoagland 何連氏, 244

Hopking 何金氏, 192, 232

J

Jenney 詹尼氏, 181

Joly 左利氏, 26

K

King F. H. 傾氏, 15, 124, 282

Kosticheff 高士的夫氏, 180

Krausas 72

L

Lawes 羅氏, 15, 25, 123

Leibig 李璧氏, 208, 224

Lewy 李維氏, 175

Livingstone 李榮士通氏, 18

Loew 盧氏, 236

Loughridge 柳力氏, 137, 267

Lynde 連打氏, 139

M

Marbut 馬畢氏, 60

Mayer 米爾氏, 219

Mc Lane 黑倫氏, 134, 242

Morgan 摩巾氏, 243, 257

Morse E. W. 毛氏, 252

Mosier 毛士亞氏, 112, 181, 216

Munder 孟打氏, 238

Muntz 門治氏, 27, 204, 220

N

Neubauber 羅保白氏, 203

Nobbe 羅比氏, 209

P

Parker 柏克氏, 228

Pendleton 潘德頓氏, 78

Pfeffer 費佛氏, 215

Plagniol 普勒尼奧氏, 265

R

Ramann 黎民氏, 2, 220

Reifenberg 黎芬伯氏, 33

Richthofen 李希霍芬氏, 44

Robinson 笠便臣氏, 72

Rogers 羅造時氏, 25

Ruprecht R. W. 笠布列氏, 252

Russell 羅素氏, 48, 198

S

Schloesing 士羅成氏, 27, 49, 217

Schubler 舒比雷氏, 120

Schultz 許次氏, 238

Shaw C. F. 蕭查理氏, 76

Shuntz 申氏, 130

Slichter 司列打氏, 117

Snyder 士乃打氏, 183

Stoke 司徒氏, 68

Storer 士滔羅氏, 265

Streeruwitz H. Von. 司土里魯
屈氏, 18

T

Thompson H. S. 唐蒲生氏, 224
Thorp J. 梭布氏, 78
Thoulet 都力氏, 26
Truog 徐魯乙氏, 248, 250, 257

U

Ulbricht 烏布力希氏, 239

V

Vageler P. 域羅氏, 28
Van Bemmelen 温秉美連氏,
216, 224

W

Waksman 華士滿氏, 207
Warrington 華陵吞氏, 217
Way 維氏, 224
Widogradsky 威杜固洛士奇氏,
27

Widtose 威曹氏, 283

Wiley 威利氏,

Wilfaryth 威路化氏, 208

Wolkoff 武可夫氏, 218

Wolff E. 烏爾夫氏, 256

Wollny 烏路尼氏, 15, 124

Y

Yoder 郁德氏, 70

中西名詞對照表

A

- Absolute Specific Gravity 真比重, 110
- Absorption 吸收, 216
- Acetone 丙酮, 250
- Acid Soil 酸土, 46
- Acre-inch 英畝寸, 283
- Actinomyces. 199
- Adobe 42
- Adsorption 附着, 128, 216
- Aeolian Soil 風積土, 35
- Aerobic 好氣菌, 197
- Algae 藻類, 197
- Alkali Soils 鹼土, 33, 46
- Alkali Spot 鹼團, 262
- Alluvial Fan 低澤沖積, 40
- Alps 阿立, 33
- Alluvial Soil 沖積土, 35
- Alumino-silicic acid 鋁矽酸, 248
- Amino-Acid, 203
- Ammonification 氮化作用, 202
- Anaerobia 嫌氣菌, 197
- Acomycetes and Basidomyces 高等絲狀菌, 197
- Apparent Specific Gravity 假比重, 110
- Aprocenic acid, 223
- Arid 乾燥界, 61
- Arid Region 乾燥境, 55
- Arizona 亞里爽那, 44
- Atterberg's Modified Silt Cylinder 隘德堡氏改良細土筒法, 68
- Autotrophic 自食, 196
- Autotrophic bacteria 自食菌, 198
- Availability 有效程度, 57
- Available plant food 有效養料, 231
- Azotobacter 固氮菌, 199, 207
- Azotobacter Agilis, 202
- Azotobacter Chroococcum, 207 208

B

- B. Acteroid, 210
- B. Coli commune, 206
- B. Fluorescens, 199
- B. Janthinus, 202
- B. Mesenterins, 202

- B. Mycoids, 202
- B. Nitrificans I, 206
- B. Nitrificans II, 206
- B. Radicicola, 209, 210
- B. Subtilis, 199, 202
- Bac. Megatherium, 203
- Bac. Mycoides, 203
- Bac. Vulgare, 203
- Bacteria 細菌, 197
- Bacterioids 假菌體, 210
- Base exchange 鹽基交換, 224, 227
- Bases 鹽基, 248
- Bearless Barley 無鬚大麥, 289
- Black Alkali 黑鹼, 262
- Blue Litmus-paper 藍試紙, 249
- Blue Lupine 青花羽扇豆, 252
- Bonn 邦, 238
- Brown and Grey Soils 褐色及灰色土, 64
- Brown Earths 褐色土, 33
- Brown Forest Soils 褐色森林土, 64
- Brownian Movement 布里安運動, 74, 214
- Buckshot 圓粒, 108, 109
- Burut lime 燒石灰, 189
- Bushel 英斗, 124, 283
- C
- Calcareous Soil 石灰土, 46
- Calcium Clay 鈣粘土, 227, 271
- Calories 熱單位, 122
- Canadian Peat 加拿大泥炭土, 38
- Cape Cod 葛角, 21
- Capillary Water 毛細管水, 132
- Carbon-Nitrogen Ratio 碳氮比率, 182, 200
- Cemented 凝固, 109
- Chemnitz 甘尼士, 238
- Chestnut Coloured Soils 栗色土, 64
- Chlarella Vulgaris 200
- Chlorosis 252
- Chromic Acid 鉻酸, 190
- Circulatory 巡迴液, 254
- Class 類,
- Classification based on Geological Relation 成因分類或地質分類
- Classification based on Soil Survey 土壤調查分類法, 35
- Classification based on soil Texture or by Mechanical Analy-

- sis 土質粗細分類法或機械分析的分類法, 35
- Classification based on Special Prominent Soil Constituents 特種物質超著的分類法, 35
- Classification of Soil Separates 土粒分組法, 47
- Clay 粘土, 72
- Clay Complex 粘土複雜物, 28
- Clay loam 粘質壤土, 50
- Clodd 中塊, 108
- Clostridium Pasteurianum 207, 208
- Coarse Sand 粗砂, 47
- Coarse Sand and Fine Elements 粗砂及幼質, 49
- Coarse Sandy Soils 粗砂質土, 50
- Colliods 膠質, 74, 214
- Colloidal Absorption Theory 膠體物質吸收性學說, 248
- Colloidal Clay 膠體物質, 106
- Colloidal State 膠質態, 214
- Colloidal Suspension 膠質懸浮液, 214
- Colluvial Soil 崩積土, 35
- Color 色澤, 56
- Colorado 加拉拉度, 44
- Columnars 柱狀, 108, 109, 262
- Complete Analysis 全量分析, 232
- Consistense 粘結或凝合, 108
- Crenic acid 223
- Crumb 小塊, 108, 109
- Crusted 殼狀, 108
- Crystalloidal Solution 晶質溶液 215
- Cubic 方形, 108
- Cumulose Soil 堆植土, 35
- Cushman's air Elutriator 柯士文空氣淘土器, 67
- Cystocus, 199
- D
- Debris 角礫, 50
- Decomposition Zone 分解帶, 29
- Deflocculation 反凝作用, 218
- Dehydration 去水作用, 25
- Denitrification 硝化還原作用, 205
- Dialysis 隔膜分析, 215
- Diffusion 擴散, 176
- Dolomitic lime Stone 鎂石灰, 258
- Drainage 排水狀況,

- Dry-farming 旱農, 281
- Dry Organic Matter 乾植物質, 282, 283
- Ducal Agricultural Experiment Station in Bernburg 德國都高路試驗場, 8
- E
- Effect on Crumb Structure 土壤團粒結構之作用, 217
- Effective mean diameter of Soil Particles 土粒之有效平均直徑, 116
- Electrode Method 電極法, 249
- Electrolytes 電解物, 220
- Electrolytic Dissociation 電解, 243
- Elutriator 淘土器, 69
- Emersons' Method 奄臣氏麥法, 250
- Energy 能力, 178, 196
- Enzymes 酵素, 198
- Equilibrium 平衡狀態, 229
- Ether 醚, 250
- Exchangeable base 可交換鹽基, 248
- Exchangeable Hydrogen 可交換氫, 228
- F
- Facultative Saprophytes, 197
- Feinkies 細礫 (德), 48
- Feinsand 細砂 (德), 49
- Ferrous humate 腐植酸鐵, 219
- Ferruginous Laterites 鐵質磚紅土, 65
- Fine earth 細土, 49
- Fine gravel 細礫, 47
- Fine sand 細砂, 47
- Fine sandy loam 細砂質壤土, 50
- Fine sandy soils 細砂質土, 50
- Fine silt 微細土或細埴土, 47
- Fixation of atmospheric nitrogen 空中游離氮氫之固定, 206
- Flocculation 沉凝作用, 217
- Flood plain 平原沖積, 40
- Florida peat 夫州泥炭土, 38
- Fluffy 粉粒, 108
- Fomation 成因, 57
- Food for energy 能力源泉, 205
- Fragmentary 碎塊, 109
- Free water 遊離水, 142
- Fulvic acid, 222
- Fungi 絲狀菌, 197

- Fusion with alkali carbonate 碳酸鹼融熔, 232
- G
- Gel 凝膠質, 220
- Gelatin 精膠, 216
- German peat 德國泥炭土, 38
- Glacial lake 冰湖, 41
- Glacial soil 冰山土, 35
- Glass electrode Quinhydrone 玻璃電極, 249
- Granular 團粒, 109
- Granular structure 團粒結構, 106
- Gravel 礫, 47
- Gravitational water 重力水, 142
- Grey desert soils 灰色砂膜土, 33
- Grabkies 粗礫 (德), 48
- Grobsand 粗砂, (德), 49
- Ground water 地下水, 142
- Group 組, 58
- Guam, 287
- Gum 膠液, 215
- H
- Hematite 赤鐵礦, 25
- Heterophic 雜食, 196
- Hilgard's churn Elutriator 希路吉氏淘土器, 68
- Hinckly 興加利, 189
- Honey comb 蜂巢, 108
- Hopkings' method 何金氏法, 250
- Horizon C C層, 61
- Horizon of concentration or Horizon B 積聚層或B層, 60
- Horizon of extraction or Horizon 溶提層或 A 層, 60
- Humic acid 腐植酸, 222, 223
- Humic acid theory 腐植酸學說, 248
- Humic matter 腐植質, 200
- Humid region 濕潤境, 55
- Humid soils 濕潤界土, 61
- Humin, 222, 223
- Humus 腐有機質, 182, 221, 223
- Humus soil 腐有機質土, 46
- Humus substance 腐植質物, 223
- Hydrogen electrode 氫電極, 249
- Hydrogen clay 氫粘土, 227
- Hydrogen ion concentration 氫離子濃度, 249, 262
- Hydration 水合作用, 24

- Higher fungi 高等黴菌類, 198
 Hygroscopic coefficients 吸濕係數, 130
 Hygroscopic moisture 吸着水, 128
 Hymatolanic acid, 222, 223
 Hymats-melanin, 223
 Hyphae and mycelium 菌絲, 198
- I
- Intensive farming 嚴密耕作, 265
 Intra molecular respiration 分子內呼吸, 6
 Ion 離子,
- K
- Kalahari 加拉哈里, 263
 Kaolinization 礫土化, 24
 Kjeldahl method 卡耳多法, 232
- L
- Lacustrine soil 湖成土, 35
 Laminated 片狀, 108
 Laterite 紅土, 66
 Lateritic soils 磚紅土, 34
 Law of diffusion 擴散定律, 221
 Lignin 木素, 200, 221
 Lime factor or lime-magnesia ratio 石灰率, 236
 Limonite 褐鐵礦, 25
 Lithological 巖石, 54
 Loam 壤土, 51
 Loddington soil 律定頓土, 278
 Loess 黃土, 42, 83, 91, 95
 Lump 大塊, 108
 Lysimeter 排水檢查器, 144
- M
- Macaronic wheat 墨加郎尼小麥 289
 Marble 大理石, 19
 Marine soil 海洋土, 35
 Massive 大塊, 108, 109
 Maximum capillary capacity or water-holding capacity 土壤保蓄水,
 Mealy 小粒, 108
 Medium sand 中砂, 47
 Medium sandy soils 中砂質土, 50
 Minnesota 緬尼蘇打州, 189
 Minnesota muck 緬州腐泥碳土 38
 Minnesota peat 緬州泥碳土, 38
 Moisture equivalent 水分當量, 130, 134
 Moisture in soil columns 土柱

- 內之水分, 133
- Molds 黴菌, 197
- Montana 孟田那州, 153
- Mother materials 原始物質, 194
- Mottled zone 斑帶, 29
- Muck 腐泥礫土, 37
- Mulch 鬆覆的, 109, 150
- Mulder's aprocronic acid, 223
- N
- Natural mulch 天然覆土物, 136
- Negative ions 陰電離子, 215
- Nitragin, 211
- Nitrate bacteria, 202
- Nitrification 硝化作用, 203
- Nitrobacter, 204, 205
- Nitrosomonas, 205
- Nitrosomonas europea, 204
- Non symbiotic nitrogen fixation
獨生的氮氣固定作用, 206
- Non-Viscous 無粘性, 216
- Nucleus 細胞核, 198
- Nut 核粒, 108, 109
- O
- Optimum water content 水分適
用量, 141
- Ordinary suspension 普通懸浮
液, 214
- Organic debris 有機碎物, 49
- Ortstein 鐵石, 109
- Osborne's beaker method 奧士
本玻杯法, 68
- Osmosis in soils 土壤中之滲透
作用, 139
- Osmotic pressure 滲透壓力,
215, 265
- P
- Parasites 活物寄生, 196
- Partial analysis 部分分析, 232
- Pasteur-chamberland filter
壓濾過, 242
- Pathogenic 病原菌, 196
- Peat 泥礫土, 37
- Pedalfers 富鐵鋁土, 61
- Pedocals 富鈣土, 61
- Podsollic soils 灰化土, 63
- Pennsylvania 平司溫尼亞州,
189
- Percolation 地下滲漏, 148
- Phycomycetes 下等絲狀菌, 197
- Pipette method 吸管法, 68, 72
- Plate 碟, 108
- Plasticity 成形性, 119
- Platy 碟狀, 109
- Podsols 灰土, 28, 34

- Pore Space 孔度, 105
- Porosity of Soils 土壤之孔度, 113
- Prairie Soils 草原土, 65
- Prairie Soils and Tshernosems 草原土及黑土, 34
- Prismatic 三稜狀, 108, 109, 262
- Proltus, 199
- Protozoa 原生虫, 197
- Protein 蛋白質, 12
- Proteus Vulgaris, 202
- Province 域, 58
- Puddle 粘閉或板滯, 106
- Puddling 粘閉, 186
- Pyridine, 223
- R
- Radiation 反射, 167, 200
- Ray fungi or actinomyces 放射菌, 197
- Red desert Soils 紅色砂膜土, 33
- Red Earth 紅土, 29
- Red Soils or Lateritic Soils 紅土, 29
- Region 境, 58
- Regolith 石毯, 1
- Reserved plant food 貯備養料, 232
- Residual Soil 原生土或殘積土, 35
- Reticulated 龜裂, 108
- Reversible 可逆性, 216
- Rhode Island 路島, 256
- Rothamsted 路典斯德, 25, 144, 195
- Run-off 地面奔逸, 146
- Rye 黑麥, 289
- S
- Sahara 撒哈拉, 263
- Saline-Alkali Soil 鹼性土, 262
- Soline or Salted Soil 鹽土, 262
- Saltwort' Sampbire 鹽草, 265
- Sand dunes 砂丘, 42
- Sandy Clay 砂質粘土, 51
- Sandy loam 砂質壤土, 50
- Saprophytes 死物寄生, 196
- Sarsinalutea 202
- Saturated 飽和, 249
- Schezomycetes 分殖菌, 197
- Schone's Elutriator 孫氏淘土器 68
- Sedentary Soil 定積土, 35
- Semi-arid Region 旱農境, 35
- Semiarid Soil 半乾燥界土, 61
- Series 系, 60

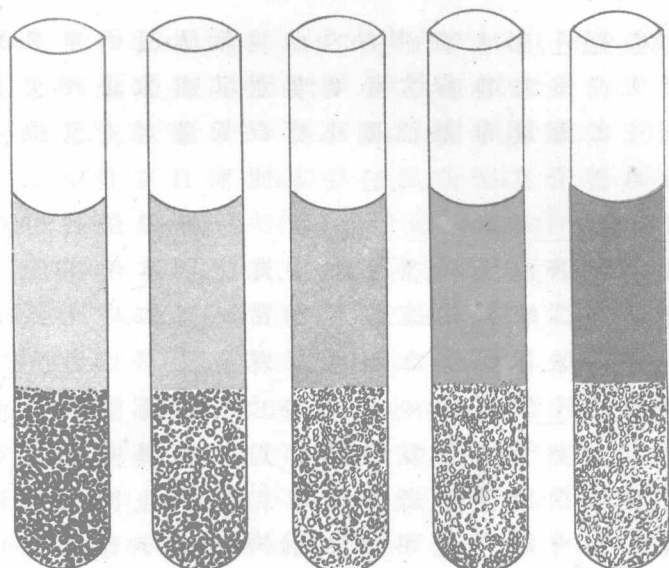
- Shrinkage 收縮, 216
- Silt 細土或埴土, 47, 74, 218
- Silt Clay 埴質粘土, 51
- Silt Loam 埴質壤土, 51
- Single Grain 散粒, 109
- Sodium Clay 鈉粘土, 227, 262, 270
- Sodium Humate 鈉腐埴質, 270
- Sohulty-Lupitzestate 蘇士立皮, 278
- Soil Class 土類, 47, 57
- Soil Colloids 土壤膠質, 214
- Soil Complex 土壤複合體, 262
- Soil Group 組, 57
- Soil profile 土壤垂直切面 28, 60
- Soil Province 域, 57
- Soil Separate 土粒組, 47
- Soil Series 系, 57
- Soil Structure 土壤結構, 104
- Soil Suspension 土壤懸濁液, 249
- Soil Texture 土壤質地, 104
- Soil Type 區, 58
- Sol 液膠質, 218, 220, 223
- Sol of ferric hydroxide & ferric humate 腐植酸第二鐵, 220
- Solonchak 262
- Solonet 柱狀鹼土, 262
- Soloti 鹼土, 263
- Solotization 復原作用, 263
- Solum 真正土壤, 60
- Specific Heat 比熱, 122
- Staub 塵土, (德) 49
- Staubsand 塵砂土, (德) 49
- Stein 石, (德) 48
- Steinkies 石礫, (德) 48
- Stone 石, 47
- Struture 結構, 57
- Sub-humid Region 亞潤境, 55
- Summer Crops 夏作物, 264
- Super-humid Region 過潤境, 55
- Surface area of Soil Particles 土壤粒子之表面積, 116
- Surface Tension 表面張力, 132
- Sweet Clover 甜三葉草, 258
- T
- Texas 德沙司州, (美) 18
- Terra rossa 紅色石灰土, 34
- Terraces 梯層形, 40
- Texture 質地, 57
- Timothy 兼添勿肥草, 275
- Topography 地位高低, 57
- Transpecos 土蘭司辟泉, 18

- Transported 運積土, 35
- Tropical red earths 熱帶紅土, 33
- True bacteria 真正細菌, 198
- True Solution 真正溶液, 215
- Tshernosems or Black Soils 黑土, 63, 180
- Tulare 條拉, 266
- Tundras 寒濕土, 64
- Turkey red 土耳其紅, 289
- Type 區, 60
- U
- U. S. D. A. Bureau of Soils Method 美國土壤局法, 68
- Ulmin 223
- Ulmin Acid 223
- Ultra-Microscope 限外顯微鏡, 214
- Unsaturated Soil 不飽和土壤, 249
- Unsaturatation theory 不飽和學說, 248
- Urobacillus leuble 202
- Urobacillus Miguelii 202
- Utah 于它, 44, 283
- V
- Vegetation 植物, 56
- Veitch Method 域治氏法, 249
- Very fine Sandy Soils 極細砂質土, 50
- Viscosity 稠粘性, 123
- Volcanic Dust 火山灰土, 46
- Volum Weight 容量重, 110
- W
- Waksman 魏克士滿, 195
- Water glass 水玻璃, 214
- Weathering 風化, 17
- White Alkali 白鹼土, 262
- White Alkali Salts 白鹼鹽, 264
- Wilting Coefficient 萎謝係數, 130, 135, 139
- Winograsky 威落格拉斯, 195
- Wisconsin 威士綱臣, 282
- Y
- Yap, 287
- Yellow and red soils 黃土及紅土, 65
- Yoder's centrifucal elutriator 郁德氏離心淘土器, 68
- Z
- Zeolites 沸石, 217
- Zone 帶, 58

〔附記〕表內名詞, 未列中文對照者, 因名詞未定, 暫付缺如, 此識。

土壤酸性比較標準表

麥費臣氏法 (Emerson Method)



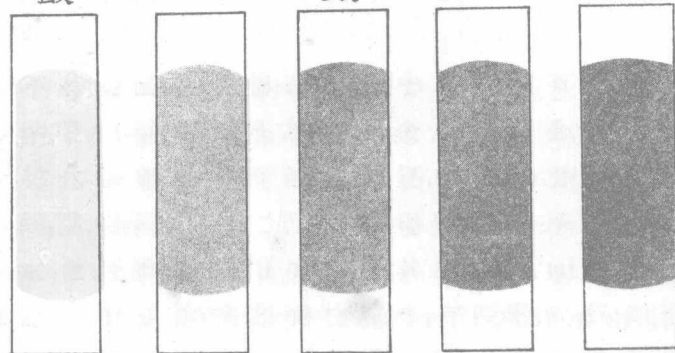
最弱酸

弱酸

中等酸

強酸

最強酸



徐魯氏法 (Truog Method)

每英畝斤灰需要量 (噸計)

最弱酸 弱酸 中等酸 強酸 最強酸

沃土	$\frac{1}{2}$	$1-1\frac{1}{2}$	$2-2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}-3$	4
瘠土	1	2	3	4	5

目 錄

	頁數
第一章 緒 論	1
第一節 土壤之概念	1
土壤釋義	
第二節 土壤之物質成分	2
地壳之平均成分	
第三節 土壤與植物生長之關係	5
萌芽時期	5
發育時期	7
成熟時期	16
第二章 土壤物質之構成	17
第一節 物理的風化作用	17
熱之變遷	17
水之作用	19
凝冰水之作用	20
風之作用	21
冰山之作用	21
第二節 化學風化作用	22
氧化	22
還原	24
碳酸化	24
水合作用	24
溶液之作用	25
第三節 生物的作用	26

植物	26
動物與細菌	27
第四節 土壤體之演進	27
土壤垂直切面	28
第三章 土壤之分類	35
第一節 成因的分類又名地質的分類	35
原生土	36
堆植土	37
崩積土	38
冲積土	39
海洋土	40
冰山土	41
湖成土	41
風積土	42
第二節 特殊物質超著分類法	46
石灰土	46
腐有機質土	46
鹼土	46
酸土	47
第三節 土質粗細分類又稱機械分析分類法	47
第四節 土壤調查分類法	53
地質	54
岩石	54
雨水	55
溫度	55
植物	56
色澤	56

質地	56
第五節 世界各重要土屬	62
黑土	63
栗色土	64
褐色土及灰色土	64
寒濕土又稱無樹區之土	64
灰土	64
褐色森林土	64
草原土	65
黃土及紅土	65
磚紅土及鐵質磚紅土	65
第四章 土壤機械分析及土粒之重要理化性	67
第一節 機械分析之原理	67
第二節 機械分析法畧說	68
孫氏淘土器法	69
希路去氏淘土法	69
郁德離心淘土器法	70
奧士本玻杯法	71
隘德堡改良細土筒法	71
美國土壤局法	72
吸管法	72
第三節 土粒之重要理化性	73
土粒物理性概說	73
土粒類與礦物質之關係	74
各土粒類之化學成分研究	75
物理分析之效用	77
第五章 中國土壤畧說	78

第一節	蕭氏之中國土壤研究	78
	紅土區域	78
	磐層土區域	79
	淮河流域土壤	79
	褐土區域	79
	中部長江受溢平原	80
	長江下游沖積區域	80
	北方平原之沖積土	80
	黃河舊道淤積土壤	80
	中部平原之沙蓋土	81
第二節	梭布氏中國土壤之研究	82
第三節	東三省之土壤	82
第四節	蒙古新疆之土壤	87
第五節	長城與黃河流域之土壤	91
第六節	淮河平原土壤	94
第七節	沖積平原土	95
	珠江壤土	100
	石牌細砂質土	100
	廣州砂質壤土	100
	羅岡砂質壤土	101
	鍾村礫質壤土	101
	四川盆地土壤	103
第六章	土壤之物理性	104
第一節	土之質地及結構	104
第二節	土粒之排列	104
	耕作	106
	有機質	107

動物與植物	107
石灰	107
濕潤與乾燥凍結與溶融	107
驟雨	108
鹽質	108
第三節 土壤之比重	110
土壤之真比重	110
土壤之假比重	111
第四節 土壤之孔度	113
第五節 土粒之數目	114
第六節 土壤粒子之表面積	116
第七節 土粒之有效平均直徑	116
第八節 土壤之色澤及氣味	118
第九節 土壤粒子之形狀	119
第十節 土壤之成形性	119
第七章 土壤之水	122
第一節 水之性質及其功用	122
水之物理的性質	122
比熱	122
稠粘性	123
水之用途	123
第二節 植物需要水量	123
葉面蒸發與外界之關係	125
第三節 土壤中水分之供給	125
雨水	125
土壤	126
蒸發之損失	126

土壤中之計算	127
第四節 吸着水	128
吸着水之效用	130
第八章 土壤之水(續前)	132
第一節 毛細管水	132
表面張力	132
土柱內之水分	133
土粒大小與水分上升之關係	134
土壤之水分當量	134
土壤保蓄水量	135
毛細管水之移動	136
土壤中之滲透作用	139
萎謝係數	139
毛細管水之效用	141
第二節 重力水	142
重力水之下流	142
地下水之流動與土壤深度之研究	144
第九章 土中水分之保持與調節	146
第一節 土中水分之散失與保持	146
地面奔逸	146
地下滲漏	148
減少地面奔逸與地下滲漏法	148
土面蒸發	149
減少蒸發方法	150
覆土物所保存之水量	153
第二節 耕作與土壤水分之關係	155
秋耕與冬耕	156

春耕	157
夏耘	158
壓土	158
被地與裸地水分之比較	159
糞料保持土水之效能	159
第三節 土中水分之調節	161
灌溉	161
排水	162
第十章 土壤之熱與空氣	166
第一節 土壤之熱	166
太陽熱	166
溫雨	166
地心熱	167
化學熱	167
第二節 溫度變易視土層深淺與時令而異	167
第三節 農業植物生長之溫度	169
第四節 影響土溫之各種情形	171
比熱	171
土色	171
土之傳熱性	172
土面蒸發	172
地勢之影響	173
中耕	174
有機質	174
第五節 土壤之空氣	174
土中空氣之用途	175
土壤中空氣量	175

土中空氣之組織	175
土中空氣之流動	176
第十一章 土壤之有機物質	178
第一節 土壤中有機質之分量	178
水分	179
原生植物之種類	179
石灰質	181
緯度	181
第二節 有機質之變化	182
第三節 腐有機物之氮質含量	183
第四節 土層中有機質之來源與分布	184
第五節 有機質之效用	185
團粒結構	185
保持水分	186
粘閉	186
增加地溫	187
防止由於浸蝕崩塌之損失	187
對於生物之影響	187
供給氮氣於植物	187
團結砂土粒	188
第六節 有機質之消失	188
耕種	188
崩塌或侵蝕	188
地下流失	189
燒土	189
由於氧化及硝化作用	189
由於施用燒石灰	189

由於休閒	190
第七節 有機質之定量	190
燃燒損失法	190
氧化法	190
第八節 土壤中有機質之保持及增加	191
施用石灰	191
施用磷肥	191
牧草場有機物之聚集	191
施用綠肥	192
栽培覆蓋作物	192
施用廐肥	192
作物輪栽	193
第十二章 土壤微生物及其作用	194
第一節 大生物	194
蚯蚓	194
蟻及其他昆蟲	194
較大之動植物	195
第二節 微生物	195
第三節 微生物之種類	197
絲狀菌	197
細菌	197
放射狀菌	198
原生蟲	198
藻類	199
第四節 有機質之分解	200
第五節 氮氣循環	201
氨化作用	202

硝化作用	203
硝化還原作用	205
第六節 空中游離氮氣之固定	206
獨生的氮氣固定作用	206
共生的氮氣固定作用	207
第七節 土壤中有機質之分解	212
第八節 土壤中礦物質之變化	212
第十三章 土壤中之膠質腐有機質及 吸收作用	214
第一節 土壤膠質	214
膠質特性	214
土壤膠質及其特性	216
對於土壤團粒結構之作用	217
沉凝作用	217
土中硬層之生成	219
對於其他土壤性質之關係	220
第二節 腐有機質	221
腐有機質之特性	221
腐有機質之組成	222
腐有機質之定量	224
第三節 土壤吸收作用	224
氮氣之吸收	224
鉀之吸收	225
磷酸之吸收	226
鹽基交換	227
吸收力與土壤物理性質之關係	228
養分吸收作用之效果	229

第十四章 土壤化學成分及土壤溶液	230
第一節 土壤之化學成分	230
有效養料	231
未有效養料	231
第二節 土壤溶液	240
土壤溶液之究研法	241
土壤溶液之成分	243
土液與田產之關係	246
第十五章 土壤酸性及石灰需要量	247
第一節 土壤酸性之原因及其普通檢定法	247
土酸之學說	247
土酸檢定法	249
第二節 土酸影响植物生長	250
第三節 石灰需要量	254
第十六章 鹼性土	262
第一節 鹼性土之分類及其生成	262
第二節 鹼鹽蓄積與妨害植物	264
第三節 鹼土之改良	269
制裁法	269
減免法	269
第十七章 地力之維持	272
第一節 輪栽	272
變易植物吸收養料之地位	272
植物要求有異	273
利用前植物之遺餘	273
補助氮質	273
維持有機物質	273

改善土壤物理情形	274
無曠土	274
消除災害毒物	274
制裁有害之生物	274
節省人力	274
第二節 土壤管理與改良	276
砂土	276
壤土	278
粘土	278
坭礫土及腐坭礫土	279
石灰土	279
新土	280
第十八章 旱農制	281
第一節 旱農制概念	281
旱農與潤農	281
旱農制中之重要問題	281
第二節 旱農制在學理上之根據	282
水之需要量	282
雨水與生產力	283
第三節 氣候與旱農制	284
旱農區域及其一般之氣候	284
我國氣候概要	284
第四節 旱農制之其他事項	288
旱農與土壤	288
維持有機質	289
揀選作物	289
慎訂輪栽	289
參考文獻之著者名錄	
中西名詞對照表	

土 壤 學

第一章 緒論

第一節 土壤之概念

土壤釋義 考近代應用科學之發達史，大都借助於純粹或自然科學之發明與研究所得不鮮。農業科學一應用科學也，自其研究自然界方面而言之，則有動植物與土壤之部分，而土壤之有科學的研究，初由地質學家與化學家而發其端。依地質學家之定名，地球之外層曰地殼，其深度可以推考者，隨地不同，極不一致，但最多不過九萬五千英尺。¹佳奇氏 (Geikie) 研究歐洲化石之構成，推定其平均深度，達七萬五千英尺。²此地殼本完全為巖石，第經種種分解化變，其表面不復常見巖石，而為一層輕鬆物質所蓋附。此輕鬆物質，乃由巖石分解變遷而成，地質學家名之曰石毯 (Regolith)，蓋取其輕鬆如毯，被蓋巖石之意。此石毯最表之層，植物能仰給以資生蕃殖者曰土壤。故土壤者為地殼之表層，抑亦為石毯之最表層，大概由巖石風化變遷構成之微小粒子，與有機物質及生物參合而成，並含有空氣與水，足以支持植物，資其生長蕃殖，間接維繫人類及動物之生存者。但因土壤之研究日漸普遍，範圍日廣，方面日增，所得智識日新月異，土壤科

1 參看 E. W. Hilgard—Soils, P. xxiii

2 參看 A. Geikie—Text Book of Geology P. 675 or G. P. Merrill Rocks
Rock—Weathering and Soils, P. 2 foot note.

學漸有形成獨立之勢，故根本對於土壤觀念，漸有其新見解。此乃俄國都高沙夫 (Dokuchaiev) 固陵加 (Glinka)，德之黎民 (Ramann) 美之希路吉 (Hilgard) 諸氏數十年瘁其精力于各方土壤之研究結果之曙光也。依此新見解，則土壤為一自然物體，位于地殼之表層，其本體常鬆軟，其發育情形與生成特徵，因環境之變遷而有差異，有成帶狀之分佈，有成局部之分布者，故研究全世界之整個土壤體，與局部之特殊體，亦各具其原則與方法，此誠土壤科學史之一大轉變也。自科學之立場而言，此種觀念，有將土壤學演成一獨立自然科學之趨勢。但吾人須知研究任何科學，根本在求真知真理，苟得其真諦灼見而運用，則農業科學本身自易尋求其革新方法，而裨益于應用，故此種新轉變，惹起一般自然科學家與農業科學家尤其是土壤學家之一大注意也。

且也，土壤研究，在最近三四十年來，關於微生物之研究發明諸多，于自然及應用科學方面均增加知識不鮮，故土壤觀念，決非如前之地質學者與農業學者之單簡見解可概括之也。

第二節 土壤之物質成分

自整個土壤體之觀念與解釋言之，既如上述，然土壤體之演成，在其主要物質上受氣候有機質及水之運動三種力量之影響，在未分別研討此三大力量作用之前，應先說明其物質上大致成分。

土壤之物質大別之可分為兩類，一為無機的，一為有機的。無機的包括礦物質與水及空氣而言，有機的

則爲動植物遺棄肌體。自其數量比較言之，除堆植土外，大概有機物比無機物少。就乾土之重量計算，無機物恒佔百分之九〇至九九。雖然，有機物質質量比較微少，而其效用於作物甚大，蓋以其含有之氮磷鉀等質易受土壤中微生物之作用，而資養植物也。

土壤中之生物，其種類甚繁；而以黴類及細菌類爲主，尤以細菌爲重要。其數量之多寡，因土力及各種關係而有差異；大概一公分之礫瘠砂質土，約有二百萬至三百萬，中等沃壤約三百至五百萬，上等沃壤自五百萬至一千萬。其生活狀況，或定居一地，或居處靡定。其蕃殖易否，恒視環境衛生情形能否適合，與食料是否豐富以爲斷。其需要之生活條件與一般生物相似也。

無機質既恒佔一大成分，而礦物質又爲主幹，此礦物之來，由于岩石風化而構成，是則地殼成分，與各種主要礦物之相差，不可不畧爲論及，以便將來之討論焉。

地殼之平均成分 土壤既屬地殼之一部分，故其互相關係之處頗多，在未研究土壤各種性質之前，對於地殼之成分，宜知其大畧。據美國地質調查所克力氏 (E. W. Clark) 之估算，地殼內容各原質成分如下表：

表(1)地殼固體部(九三%)深度一萬公尺
各原質比較量百分率³

原質	%	原質	%	原質	%	原質	%
氧	47.29	鎂	2.68	礫	0.22	鋇	0.03
矽	27.21	鈉	2.36	氯	0.01	氟	0.01
鋁	7.81	鉀	2.40	磷	0.10	鉻	0.01
鐵	5.46	氫	0.21	錳	0.08		
鈣	3.77	鈦	0.33	硫	0.03		

又依據克力氏估算地殼十英里深各種普通礦物比較量之百分率如次⁴

表(2)地殼內各重要礦物量比較

礦 物	%	礦 物	%
長石類	57.8	粘土	1.0
角閃石及輝石類	16.0	碳酸化物	0.5
石 英	12.7	褐鐵礦	0.2
雲 母	3.6	其 他	8.2

3 參看 E. W. Hilgard-Soils P. xxiv

4 參看 Lyon and Buckman-The Nature and Properties of Soils P. 4 foot Note

第三節 土壤與植物生長之關係

植物之生長，大概受兩種情形之支配與撫育而發展：(一)屬於肌體內者，(二)屬於外界者。屬於肌體內者，茲不具論。而屬於外界者，可列舉之有六：(甲)立足地，(乙)熱，(丙)光，(丁)氧氣，(戊)水，(己)營養料。此六條件中，除光之外，其餘悉可由土壤供給，其全部或一部分。蓋(甲)立足地土壤質體輕鬆，植物駐立其間，根部可發展自如。(乙)熱則須受大氣之溫度影響。(丁)氧氣與(戊)水，土壤蘊蓄之以供植物之需。至(己)營養料則大部分可由土壤供給之。考植物得健全之生育，必須有碳，氫，氧，氮，磷，鉀，鈣，鎂，硫，鐵，十質。此十質中，除碳氧氫可由空氣及水供給外，除須取之於土。近自固定氮氣之細菌發見後，知空中之氮，可由土菌吸收，經一度之變化，而效用於植物。是則空中氮氣可間接資養植物矣。此外種種物理情形，亦有其支配植物生長之力量，於茲暫不具論。

植物生長，可分三時期而討論之：(一)曰萌芽時期，(二)曰發育時期，(三)曰成熟時期。其於各時期中所需各項情形與乎其他一切影響其生機者，次第論列之如下。

(一) 萌芽時期

(1) 吸水 種子當萌芽時期，其第一步之作用發始其生機者，厥為吸水，種子內所藏貯之營養料，得相當之水分，合宜之溫度，即起化學變化，由固體變為液體，以供胚胎之用，而萌芽焉。吸水率之緩速，恒視溫度之高下水中有否溶解鹽而有差。

(2) 溫度 試分置豆種於冷水及同量暖水中，經二十四小時後，比較其吸水量；在暖水中之豆，其吸水量較在冷水者大，故種子萌芽在暖土者較速於在冷土。溫度高下，匪特影響種子吸水之速率，且影響種子內各種化學變化焉。溫度影響種子萌芽，既若是其重要，則各類種子萌芽時最適宜之溫度，應當考究。茲畧舉數種普通農業作物萌芽時所需溫度(華氏表)表示於下：

表(3) 普通作物萌芽溫度

作物 溫度	小 麥	小 麥	稻	玉蜀黍	紫赤雲英
最 宜	75	75	86	90	70
最 低	40	40		48	40

(3) 氧氣 當萌芽之時，組織新肌，發生根芽，均須能力以效用。此能力何由來，即由貯蓄之營養料受氧化而生，故得氧氣以化育之，生氣勃焉。是故土中空氣流通不受水淹沒者，種子萌芽甚易。至於水稻，則在水中亦可萌芽；其能力之來，大概多由於所蓄養料之一部分自經分解化變而生氧氣，以氧化其餘養料。所謂分子內之呼吸(Intra. molecular Respiration)是也。

(4) 種子與土壤之接觸 種子與土粒接觸之點愈多，則其吸收水分易而且多，生機易於發達。然土粒愈幼小，則接觸之點較多，故播種之前，宜鬆碎土塊；下種之後，稍壓實之，則土中水氣自易上升。

(5) 溶解鹽質之影響 倘土壤中富有可溶於水之鹽質，則土中水(又稱土液)之鹽量大，播種其間，常因

吸收水分緩，而萌芽不易。試分置豆或麥於同量之汽水及鹽水中，經一日之後，鹽水中之種子幾絕無吸水。若鹽分過高，種子不萌芽焉。又如鹼性之土，可溶鹽分甚高，種子常不萌芽；或雖萌芽而不齊整。其故大都因吸水不易，然間有因鹽類中有毒害種子生機之物質，妨止其萌芽焉。

(6) 無機物非要品 常見種子萌芽於礫瘠砂土或木屑上者，較於肥美土壤者尤善，以知種子萌芽無需仰給於土中無機物也。萌芽要需為水與氧氣及適合溫度，蓋以種子內貯有養料，足備萌芽之用。故碩大之種子，有自萌芽而至開花，雖不給以養料，亦可維持者；但幼小種子則不然。

(二) 發育時期

(1) 無機物 種子萌芽於木屑上雖速，然不久而葉變黃，或至凋謝。惟種子之播於土壤者，雖萌芽或較遲；但由苗而秀，秀而實。故植物之生長發育，必有所賴於土中之物質也。試將植物化分而檢查之，所含之質，必有碳，氧，氫，氮，硫，磷，鈣，鎂，鉀，鐵。此十者名曰植物生長要素。其他如鈉，氯，矽，等植物每吸收之，然非必需之物質。此十要素中，由空中供給者為碳氫氧，其餘七者則仰給於土。

(2) 吸收鹽質量 植物吸收土液中鹽質之多寡大概受下列三項情形之限制：

(a) 土中可受吸收之鹽量 土中可受吸收之鹽質分量高，則植物吸收之自多，否則反是。

(b) 吸收後能否同化 譬如含某質之鹽，經吸收後，其鹽之全部或其中某質可以同化，在植物肌體與他

物質組成新物質，而有特殊效用者，則此種含某質之鹽被吸收之量自較他不能同化者或不大需要者為多。如硝酸鈉與氯化鈉相較是也。

(c) 植物之種類 不同類之植物，生長於同一土壤中，其吸收性及吸收能力不同，而吸收之量亦異。

(3) 吸收要素量隨生長時期而變遷 不同類之植物，吸收要素之量固有不同；即同是一植物，其吸收之能力，亦隨時變遷。德國都高路試驗場(Ducal Agricultural Experiment Station in Bernburg)曾研究此問題，茲擇錄其成績於後。⁵

(a) 小麥每英畝吸收一氧化二鉀之數量：幼時八十八磅，既秀時一百二十三磅，結實時一百二十二磅，成熟時七十二磅。

按此則成熟時小麥所含之一氧化二鉀，較初生時為少。是於成熟時鉀鹽或由根葉等部通過流出體外也。攷植物所含各要質量，至成熟時而減少者，鉀質之外，氮亦常然；惟磷質則反是，至成熟期而增加。蓋磷質多聚於種實，故欲種實多者，如稻麥之屬，於秀實之時，非有充分之磷鹽以資給之不為功。磷質至成熟時吸收尤多，此穀類之通性也。惟馬鈴薯之吸收量有特殊之處，其吸收鉀、磷、氮三者之量，由初生以至成熟，按時遞增焉。茲再舉其研究成績如次：

(b) 馬鈴薯每英畝吸收一氧化二鉀之數量：塊根初出時四十七磅，塊根出後一月七十八磅。塊根出後二月一百十二磅，成熟時一百四十三磅。

5 參看 Whitson and Walster—Soils and Soils Fertility—PP. 21—21

馬鈴薯每英畝吸收五氧化二磷之數量：初生時八磅，成熟時二十八磅。

馬鈴薯每英畝吸收氮質之數量：初生時四十五磅，成熟時一百一十一磅。

馬鈴薯收放各要素之能力與穀類有異者，蓋或因其塊根作用所至。當成熟之時，其莖根所含水分甚大，故能保留各要素不至流失體外，復歸於土。惟穀類當成熟時，根漸乾枯，各要素之化合物易隨水氣而外流散失也。

按此試驗成績，其於生長時期每英畝所需各要素之量，不能據為絕對標準。因各處氣候不同，土性有異，則植物吸收養料之量自有變更也。然各種植物性相類者如此，相異者又如彼，斯亦足供一比較焉。由上試驗成績而推之，植物於成熟期所含各要素之量，未必其生長全期所吸收之總數量也明矣。

(4) 普通農植物吸收三要素之量 前段所論植物十要素中取諸土者凡七，此七要素中以氮磷鉀三者為最要，因土中所有者為數無多，恒須賴乎補助以維持其供養能力，此肥料之施用之旨也。茲將普通每公畝農植物於成熟時平均含有三要素之數量(公斤)列表於下，以資比較。

表(4) 普通作物成熟時合三要素量(公斤)

農植物名	每公畝產 量(公斤)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
稻	穀	41.0	.50	.34	.16
	稿稈	51.8	.25	.11	1.12
	合計	92.8	.75	.45	1.28
小麥	子實	20.0	.37	.16	.10
	稿稈	35.6	.17	.08	.22
	合計	55.6	.54	.24	.32
大麥	子實	22.0	.40	.18	.11
	稿稈	28.0	.15	.05	.29
	合計	50.0	.55	.23	.40
燕麥	子實	18.0	.40	.14	.11
	稿稈	34.0	.17	.07	.40
	合計	52.0	.57	.20	.51
玉蜀黍	子實	40.0	.45	.20	.17
	幹	68.0	.51	.17	.90
	合計	108.0	.96	.37	1.07
棉	棉絲	3.4	.01	.00	.02
	棉子	7.4	.23	.09	.09
	果皮	4.6	.12	.04	.08
	葉	6.5	.20	.08	.11
	幹	7.4	.11	.04	.10
	根	2.8	.03	.02	.04
	合計	32.1	.70	.28	.44
亞麻	子實	10.0	.44	.17	.09
	莖幹	20.0	.17	.03	.21
	合計	30.0	.61	.20	.30

農植物名	每公畝產 量(公斤)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
馬鈴薯	薯	150.0	.53	.24	.86
	莖葉	48.0	.23	.03	.01
	合計	198.0	.76	.27	.87
甘薯	136.0	.31	.12	.62	
甘蔗全株	竹蔗	1024.0	.93	.88	.32
	玉蔗	1755.2	1.58	1.51	.54
甜菜	根部	340.0	.54	.27	1.12
豌豆	豆	20.0	.73	.20	.25
	蔓	39.5	.41	.08	.43
	合計	59.5	1.14	.28	.68
落花生	豆	17.0	.49	.09	.08
	蔓	68.0	.28	.05	.45
	合計	85.0	.77	.14	.53
大豆	全株	113.0	.57	.17	.68
烟葉	18.0	.79	.09	1.02	
蘿蔔	366.0	.71	.37	1.41	
生菜	葉部	90.0	.23	.07	.41
矮瓜	茄子	45.0	.09	.02	.14
西瓜	226.0	.38	.14	.68	
椰菜	630.0	.02	.65	.62	
荆桑	60.0	.02	—	—	

由上表觀之，每畝需用氮之數量以蔗爲最高，其次爲豌豆，玉蜀黍，落花生，烟等，再次爲稻，麥，麻，棉之屬，而以甘薯，西瓜，矮瓜，荆桑，椰菜等爲最少。磷之需要量，以甘蔗爲最高，椰菜次之，其他各植物則無大出入，而以矮瓜所吸收者爲最少。每畝鉀之用量以蘿蔔爲最高，稻甜菜烟玉蜀黍馬鈴薯等次之，而以矮瓜所用之數爲最少。

(5) 三要素在植物肌體內之分配 氮，磷，鉀三者，各有其特殊效用，故在植物肌體內之散布各有不同。大抵氮磷二質多分配於種實，而鉀則多聚於葉莖等部。故農產品何部分銷售於外，何部分留用而歸還於土，與農田土力之消耗有密切關係也。

(6) 植物造成之食料 人之食料大都直接或間接取諸植物，而植物本身造成之食料，爲研究便利起見，依其含有之物質，大別之有下列之三種：

(a) 碳水化合物 此種食料，含有碳氫氧三質，由吸收空中碳酸氣與水經光合作用及他種化學變化而成；如糖，小粉，纖維質等是。

(b) 脂肪與油 此種食物所含有之質，亦是碳氫氧，惟氫氧之成分比例與碳水化合物不同，是由碳水化合物經複雜之變化而成；如各種油脂是。

(c) 蛋白質類(Protein) 此種食料含碳氫氧氮硫或兼磷質。是由碳水化合物與氮磷等質之化合物，經種種變化而成；如蛋白質麵筋質酪素等是。

以上三種食料，植物製造之，原以自給；或貯藏於種子塊莖或塊根等處，留作蕃殖之用，抑亦動物食料之源也。

(7) 植物體內各種食料分量比例隨時變易 植物於幼小時期，細胞薄膜所含蛋白質類之分量，比較碳水化合物或脂肪油等為多；迨植物漸長，細胞膜漸脫變為纖維質，(屬碳水化合物) 加以其他碳水化合物如小粉糖等亦增多，則蛋白質類之比量漸低，至成熟時而尤甚。飼料之草，每於秀時收穫，其蛋白質類之比量較成熟時為高。故豆科植物或燕麥之屬，欲用作飼料者，宜於成熟前刈穫之。

(8) 各要素之效能 各要素經植物吸收後，其在植物體內必各有其特別任務；否則於植物生機不發生密切關係，植物何徒費其能力以同化之。第各要質在植物肌體中如何効力之處，吾人尙未盡透識茲就所知而確切證明者舉數要素而畧言其主要效能如次。

(a) 鉀 此質有助第一種食料(碳水化合物)組成之效能，如含小粉質成分高之穀類薯類，與糖質成分高之甘蔗甜菜等，均經試驗，以受鉀質肥料之資助而豐收。

(b) 磷氮硫 此三者為製造蛋白質類之要質，不可有缺者也。氮質有助葉莖發育之能。磷為細胞分裂必須之質。然細胞分裂，植物始發育也。

(c) 鈣 此質有令細胞膜堅強之能，助葉成長之功。

(d) 鎂 此質有輸運磷酸之效能。

(e) 鐵 鐵能助植物葉綠之構成，缺之則葉淡黃不綠。

(9) 土中適用養料量之關係 各要素之在土中，本非原質狀態而獨立，乃與他種原質化合而成種種物質。須知植物祇能吸收液體之養料。譬如以磷質而

言，若所成之化合物易溶於土液，始能受植物根之吸收而有裨益。否則土中所藏雖富，亦無所用。每見土壤經化學分析，磷之成分不弱，而植物生長其間，仍發見缺乏磷質之現象者；此無他，大抵質量雖多，而能溶解適用之數有限或不足也。

(10) 植物有揀選吸收之能 氮質所成之化合物足供植物之吸收而又最普通者，厥為硝酸鹽及銨鹽。但植物吸收氮質化合物，各因其本性而異。如水稻喜吸銨鹽，而玉蜀黍則喜吸硝酸鹽。吸收他質之化合物亦然。此迨因各植物之特性或習慣使然，施用肥料應當注意者。

(11) 水之作用及需要量 水之效用於植物之處甚多，茲揭其要者有四：

(a) 潤澤葉之細胞促進 酸氣之吸收量，使碳水化合物之製造速率增加。

(b) 調劑植物體溫。譬若炎熱之時，植物吸用水量較多，其故因葉面之蒸發較大也。蓋蒸發需熱，而植物本體之溫度以降。故氣溫愈高，蒸發加速，以調節之；否則植物體溫升至某點（各植物不同）而生機停息也。

(c) 組織各種肌體之用。

(d) 運輸土中溶解鹽上升於植物體內。

水既若是其大用，故各種農植物所需要水量不可不考究。茲舉各普通作物曾經研究之成績列表如下；⁶表內所列之數為每單位乾物質需要水量，例如小麥之乾物質一斤需二二五斤水也。

⁶ 參看 A. D. Hall—Soils—P. 90

表(5) 作物需要水量比較

研 究 者 作 物	羅氏及基 路拔氏 Lawes and Gilbert	耶路里高氏 Hellriegel	烏路尼氏 Wollny	傾氏 King
	小麥	225	359	
大麥	262	310	393	774
燕麥		402	557	665
紫赤雲英	249	330	453	
青豆	235	292	477	447

(註明)表中所列之成績,同是一種作物,何以需水量參差如此,大概因研究之地點不同,土壤各殊,氣候不一所致。

據中山大學農學院丁穎教授之研究。在該學院第一農場水稻田調查水稻灌溉水之報告,綜核三年之平均數,早稻東莞白每單位乾物質需要 647.41,晚造竹粘需 619.3。⁷

(12) 光與植物生機之關係 植物生機之道有二,一曰製造食料,二曰生長,即組織新肌體之謂。植物猶動物然,各部肌體隨時更替組織。然此生長之道,非有食料以資給其能力不可。此食料從何而來,即其自製者也。植物受太陽之光力,由葉綠素吸收之,運用本能,使葉所吸收之二氧化碳與水而生變化,製成糖類與小粉等食料。

7 參看丁穎——中山大學農科水稻灌溉水調查報告書

(13) 溫度與植物生長之關係 溫度之最宜於植物製造食料者，亦即最宜其生長。溫度太低，生機不靈，過高亦生窒礙。最合宜之溫度，大概各地不同；而不同種之植物亦互異。麥、粟、黍類以華氏表七十五度為最宜。植物於日間製食料，而於夜間生長；故溫暖之夕，宜其生長。

(三) 成熟時期

成實者所以保其種之蕃殖也。植物通性，每於情形不宜其繼續生長時，即秀而實，以保其種。倘情形仍宜其生長，則繼續生長。故欲植物之結實者，則其結實時需要條件，不可不知之。譬如氮質為催促生長之物，若土中適用氮質物豐富，而溫度又宜於生長，則其植物之枝葉茂生而不秀，或秀而不實，此常有之事也。作物之中，有利用其種子者，如穀實類；有利用其莖葉者，如蔬菜飼草類。用有不同，宜各因其性而栽培利用之。

既明植物生長要義，則土壤之于植物非獨一居停而已，猶資以養料及水也。就居停而言，則溫度之適宜與空氣之流通，以保植物之健全，不可不講；以養料而言，則各要素之來源變化，受何影響，便生何種作用，以供植物之吸收，不可不知。此均土壤學初級當研究之問題，至如何管理與改良及保存地力，則又進一步焉。

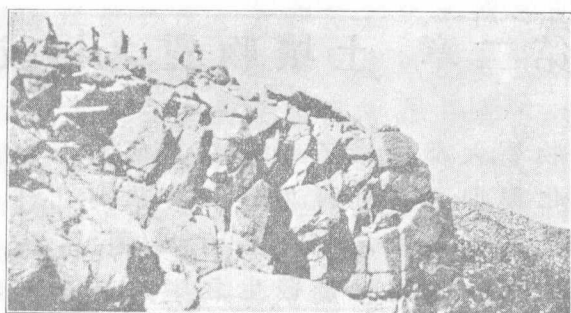
第二章 土壤物質之構成

土壤物質，大都由巖石得來，然其何由而來？巖石何能分解化變，則必有種種力量操持其間；此種力量之要者，大抵爲大氣中之日光，熱力，風，雨，霜，雪，與自然界之各種生物。此種力量發生之變化，有屬於物理的，（又稱機械的）有屬於化學的，有屬於生物的，而統稱其現象曰風化（Weathering）。但此風化力量所構成之土壤物質，未必能永久積聚於原地點而成土壤。蓋風化而來之岩石物質，常受風，水，之力而轉移其位置也。土壤物質構成後，仍繼續其風化而無時或息；此亦環境力量所影響者，所謂天行健，強而不息也。岩石風化之現象，既可分爲物理的，化學的，或生物的；爲利便討論起見，土壤物質之構成法，亦依此而分別論列。

第一節 物理的風化作用

岩石受環境力量而起變化，大都由物理方面始；而其所受之力量，大概不外乎大氣中之熱與水及風之影響。所謂熱之影響者，空氣溫度之升降也。水之影響者，包括冰霜而言。茲分別論之：

(一) 熱之變遷 岩石由一種或多種礦物結合而成，其礦質吸收日光熱力而漲，俟冷則縮。惟漲縮之度，每種礦質有其特殊之係數。且吸收熱量，又每因其顏色不同而有差別。例如花崗岩中各礦質受熱而漲，其漲度不同，互相擠迫，甚至爆烈而分解，如第一圖；又如岩石爲簡單一二礦質所組成者，如石灰巖砂巖之類，



第一圖 山巔岩石受熱力影响而崩解

雖鮮因不同礦質之漲縮而分裂,但此種巖石之礦質,仍有漲縮,其結果因漲縮頻仍,而位置搖動,團結之力量變弱,解體之現象漸起焉。此種事實,在溫度變遷劇烈之地,如大陸高原高山之處,尤為顯著;蓋其日夕溫度相差,常有達至華氏表六七十度。如司土里魯屈氏 (H. von Streeruwitz)¹ 報告,美國南部德沙司州 (Texas) 土蘭司辟泉 (Transpecos) 之地,每日夕溫度相差由六十至七十五度,故其地之岩石分解甚速。又據李榮士通 (Livingstone)² 調查,在非洲某部,岩石面之溫度在日間有昇至華氏表一百三十七度,但至夜深溫度大降,漲縮變更異常之大,曾見零碎石片,重至二百磅者,亦分解而脫離母巖。又據希路吉氏 (Hilgard)³ 云,冰山所在地,日夕溫度相差至一百三十度以上;接觸冰山之花岡巖,常因日夕溫度變遷,致新成之石粉石碎滿目皆是。其他如亞洲中部之高原,都有相似之現象。我國

1 參看 4 th Ann—Rep. Geo. Survey of Texas 1892. p. 144

2 參看 Merrill—Rocks. Reck—Weathering and Soils. p. 161

3 參看 Hilgard—Soils. p. 2

西部高原，如青海，西藏，雲貴，廣西，等處，亦不乏此種現象也。考巖石之漲縮度各有不同；據巴列氏(Bartlett)⁴研究各種巖石每增華氏表一度，平均漲度如下：

花岡巖	每呎漲 .000004825 吋
大理石 (Marble)	每呎漲 .000005668 吋
砂巖	每呎漲 .00000532 吋

(二)水之作用 水之流動，對於土壤物質構成有絕大關係。流水挾砂石坭以俱行，不但為冲刷與鑿運河身之利器，且砂石等互相磨擦成為粉末，構成土壤物質。流水之功能，隨速度而遞增，若流速增加，則冲刷力亦隨而增加。河面之增廣，與河床之淺深，多由於流水搬運物之磨擦而生之機械作用。故清流冲刷力小，濁流冲刷力大；小溪橫流之地，每經大雨之後，發見兩岸崩塌冲刷者，即此例也。

在高原地方；河流之作用是侵蝕；在平地時便是冲積。但河流中所含坭砂，在平原沉積，遠不及隨水流入海洋者之多。據地質學者之估計，北美洲米西西比河每年帶下之砂坭有 7468694400 立方呎。⁵若長此工作，北美洲全部可於四百五十萬年削為平地，與海平線同高。我國黃河，每年運入海之砂坭估計有 17520 兆立方呎，⁶較諸米西西比河多一倍有奇，假設堆積在一百萬平方呎面積上，可以堆成一萬七千五百呎之高山。又每年從長江流入海之砂坭，堆在同一面積上，可成一萬一千呎高山。一年如此，幾千年幾萬年又當如

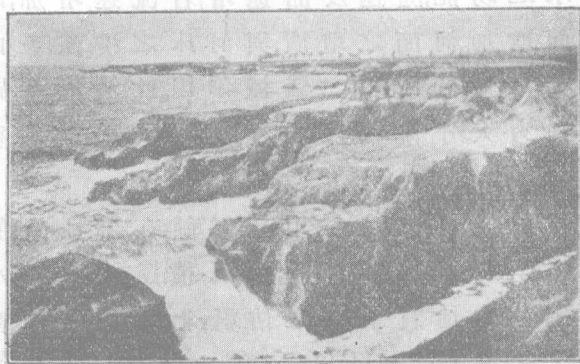
4 參看 Am. Jour. of Science. Vol XXII. 1832 p. 136

5 參看 Merrill—Rocks. Rock—Weathering and Soils. p. 276

6 參看 Merrill—Rocks. Rock. Weathering and Soils. p. 309

何?此足見海底沉積數量之宏大也。據事實之推考長江出口處,經一千三百年間,便長出一崇明島,何況在悠久之地質時代耶。擴大言之,凡平津,平浦,平漢,滬甯,等鐵路所經過之大平原,多係冲積所成,故稱為冲積平原。換言之,即此一片茫茫平原,係被自西徂東之河流如黃河,長江,漳河,滹沱河,白河,等衝刷而來之坭砂所堆積而填平者。於此可見水之作用之偉大矣。

海濱潮汐之漲落,常有巨大之侵蝕力,往往巨大巖石亦被衝擊震撼而呈凹凸之表面(如第二圖)。且當



第二圖 岩石受海浪之衝擊侵蝕

漲退時,必挾多少物質以去,隨即變為細碎物質。譬如石英經水力激盪反覆磨擦則變為砂粒,長石則變為瓷坭或粘土,并流失一部分之鉀,鈉,鈣,諸成分。

(三)凝冰水之作用 巖石受溫度變遷影響,致生爆裂之紋,而漸成罅隙。其隙間每藏有水,當氣溫降至冰點時,即凝結成冰,其體漲大。膨漲之度,每百個單位容積,漲成一百零九單位。換言之,其膨漲力每平方呎有一百五十噸。即等於一百四十一倍空氣壓力。膨漲

壓力如是宏偉，巖石雖堅，豈能禦之。故溫度變遷甚大之境，若遇霜雪，岩石之分裂尤迅速也。

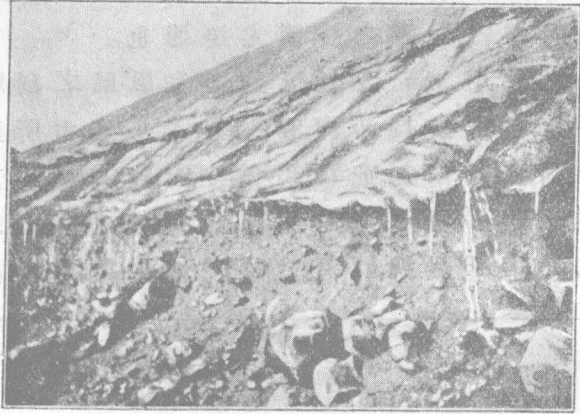
(四)風之作用 大氣流動則生風。風之刮刷作用，有類乎水，常能挾持沙泥，利用其本身速力，所過巖石受其挫刮，而漸消耗。此種現象，在大陸高原高亢之地，尤為顯著。我國西北部及美國西北部高亢之地，每發生砂風如第三圖，玻璃窗常受砂風之敲擊，而漸呈矇



第三圖 砂 風

昧，或竟至不透明。在華盛頓之國立博物院陳列一玻璃窗片來自葛角 (Cape Cod) 之燈塔，乃受砂風之打擊致不透明。此種原理近則應用於工業上製各種玻璃畫片焉。

(五)冰山之作用 冰山發見於寒帶地。當春夏之際，天氣溫暖，溶解流離，由高趨下，所過山谷高原，磨擦巖石，挾帶礦物及有機物至低下原隰溫暖之地，而盡行溶解（如第四圖）。所負之物就地積聚而成土壤，於



第四圖 冰山及其挾帶物,表示水溶與物質存在狀態。

北美北歐多有之。據地質學者推論,前當大冰時期,冰山所掩蓋之地,廣數百英里,其高數千呎,侵入北美北歐各地而成此土。就美國一部分調查,其土之構成時期甚近,大概屬於第四紀之洪積期,面積約有五十萬方哩。

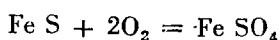
第二節 化學風化作用

土壤物質之物理的構成法,大抵在乾燥之地雨水缺乏之境,進行至為顯著。而化學的構成法則不然,須在雨水充足之區域,進行較易。蓋化學之變化,以氧化,還原,水化,碳酸化,及溶解諸作用為主;但均以水之存在,始易進行。茲分論之。

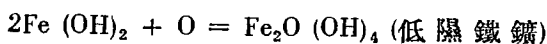
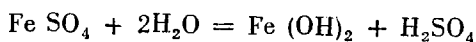
(一)氧化 巖石之中,常含有鐵質之礦物。而第一鐵,感受空氣,漸化為第二鐵。如硫化鐵,碳酸鐵,及矽酸鐵,鈣鎂等礦質物(如橄欖石,雲母,角閃石,輝石類等),均含有第一鐵化合物,或第一,第二鐵雜合之化合物,

倘加水而分解或氧化，其進行較易。茲分別列舉其化變如次。

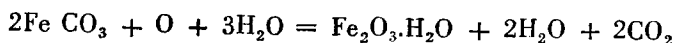
(1) 硫化鐵 此礦物在氧氣不甚充足之情形時，初變為硫酸亞鐵，其反應可以下列方程式表示之：



但硫酸亞鐵溶於水，並易分解為氫氧化鐵 $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ 而呈赭色。其硫酸分離，或變為硫化氫而散失。至氫氧化鐵，一遇氧氣充足，其第一鐵，即氧化而為第二鐵。其反應如下方程式：

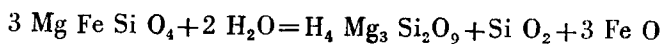


(2) 碳酸鐵 此礦物溶於碳酸水中，與空氣接觸，即受氧化，其反應如下：

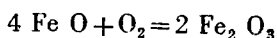


(含水氧化第二鐵)

(3) 橄欖石 此礦物為矽酸鐵鎂之化合物，遇水與氧而生化變；其中之鐵，由第一鐵而化為第二鐵。其反應程序有如下式：



↑
(蛇紋石)



以上各種氧化結果，其礦物之體積擴大，且變其結晶狀而為粉狀，易受風雨之力而遷移，則岩石原來之團結力變弱矣。凡此種鐵鏽質，在未氧化之前，其顏色原是青藍或黑，但經氧化而成第二價鐵之後，則變成黃色或赭色。廣州一帶之砂岩或花崗岩，紅岩原生土壤之呈赭色或黃紅色者，氧化鐵之顏色也。黃色者多合

水分之氧化鐵也。

(二) 還原 還原適與氧化相反，在無空氣或空氣缺乏之環境始易發見。故在下層岩石或岩石為水所淹蓋者始有之。此種事實，每見於排水不良之土，其土中富有有機物，其中有機酸之有還原性者，流入土之下層岩石，而岩石之色恒被奪去，此還原之作用也。此種作用，對於岩石風化進行甚緩，遠遜氧化之功。

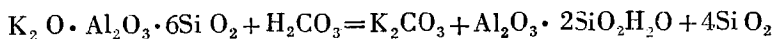
(三) 碳酸化 空中所含之二氧化碳，受雨水洗下於岩石或水中，所含有之二氧化碳即成弱性碳酸，與岩石接觸，即生碳酸化之作用，岩石所含礦質，多受其溶解，如石灰岩及長石其例也。其化變如下方程式。



(石灰岩) (酸性碳酸鈣)

碳酸鈣不溶解於水，而酸性碳酸鈣則易溶於水，故石灰岩易受碳酸之作用而分解也。

長石類礦物發見者凡九種，要為鋁矽酸與鉀鈉鈣等之化合物，乃火成岩之主要礦質；茲舉其普通重要之正長石為例，以方程式表示其與碳酸反應如下：



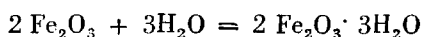
(正長石)

(磁土又稱粘土)

此碳酸作用，將長石中之鉀質提出，足以滋養植物，同時並生成一新物質，曰磁土，故此種作用，又名磁土化，(Kaolinization) 此磁土又稱粘土。

(四) 水合作用 (Hydration) 以上所論之氧化，雖在乾燥之空氣可以進行，惟不若有水分存在進行之迅速。而碳酸化之進行，則非有水不可；蓋水之功用，直接參加於反應之中，如長石之碳酸化。然水之氫氧二質，

先與鉀化成氫氧化鉀(KOH),再變而成碳酸鉀,非如氧化作用,祇列於促進地位而已。但水之作用,除上列兩種外,有逕接聯合礦質變成他礦者,此種化變,名曰水合,或加水作用。舉例如次:



(Hematite 赤鐵礦) (Limonite 褐鐵礦)

但此種水合結果之礦物,遇乾燥時,常能減去所含水分,或終盡失之,而還其本來體質者,此種現象,名曰去水作用 (Dehydration)。

水合作用,常與氧化碳酸化并行不悖,故能深入岩層而進行,厥功甚偉。考岩石中之要礦,如橄欖石長石雲母等,常受其作用,體積膨漲,或成粉狀,而岩石本體分解,漸成土壤矣。

(五)溶液之作用 一八四八年羅造時昆仲 (Rog-ers)⁷ 曾於美國科學雜誌中,發表一文,畧謂純淨之水,能局部分解幾乎所有組成岩石之各種矽酸礦物,雖其效率甚微,然假以時日,仍可得相當數量以供試驗。若水帶有別種雜物,如碳酸,硝酸,或硫酸等,則溶解之力加強云。攷天雨下降,經過空中,每帶下碳酸,若值雷電交作,則硝酸亦常有。據布升高氏 (Boussingault) 之研究,普通大氣之中,每萬份含有碳酸氣六份。又據英國路典斯德 (Rothamsted) 試驗場羅士及基路拔 (Lawes and Gilbert) 之研究,每英畝面積,所得天雨中之硝酸及氮數量列表如下。⁸

7 參看 Am. Jou. of Science. Vol. 5, 1845

8 參看 Merrill—Rocks, Rock, Weathering and Soils, p. 155

表(6) 每畝面積受天雨中硝酸及氮數量

年 份	每英畝雨量 (磅數)	硝 酸 (磅數)	銨 (磅數)	總計氮數 (磅數)
一八五五	6633.32	2.98	7.11	6.63
一八五六	6160.51	2.80	9.53	8.31

雨水含有碳酸、硝酸，降於岩石之上，便起其溶解作用；迨流入土中，遇硫化礦物，即起種種變化；故每溶有硫酸於其間，而硫酸之溶解力漸顯著。又製造工廠或煉礦廠林立之地，其空氣常有氧化硫混雜其中，此亦與雨水以吸收硫酸之機會。

復次水在土中，常溶有有機酸質，此亦予水以增加其溶解力之物質，但較無機酸為微薄耳。鹹水與淡水比較，其溶解岩石礦物之力量，曾經都力 (Thoulet)與左利 (Joly)諸氏之研究，但其結果相差極遠，聚論紛紜，尙難確定其力量之高下云。⁹

第三節 生物的作用

(一) 植物 植物之生於岩石之上者，其始多為苔蘚之屬，幼小之根，侵入石罅吸取食料，隨生隨滅，逐漸積成薄層塵土，吸收雨露，而較高等之植物可以生存其間。由此逐漸演進，草木滋生，根苗深入巖層，泌出有機酸物，足以分化礦質，展拓岩隙如第五圖，昔之童山濯濯者，今則滿目菁葱矣。花岡岩之山麓，常見藤蘿依附，根深數尺，牢不易脫者，於羅浮山有之。又肇慶之七星岩上有鷄蛋花樹等生長石灰岩上婆娑可愛，其岩

⁹ 參看 Merrill—Rocks. Rock. Weathering and Soils. pp. 173—174

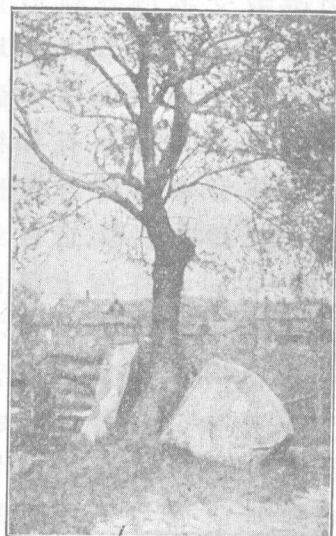
石漸化變而成土壤。查西江上游石灰岩露頭之處，面積不少，相似之現象，隨處均發見焉。

(二)動物與細菌 動物之分解岩石，不甚顯著，可得而言者，如各種螞蟻蚯蚓，能分泌有機物或侵蝕塵土，加以化變，再行瀉出，但此種工作，於分解岩石之功效比較甚微。

細菌之能促進岩石分解者，在一八九〇年門治氏

(Muntz) 威杜固洛士奇 (Wid-

ogradsky) 士羅成 (Schloesing) 等¹⁰ 曾發表之。此種細菌乃硝化菌，于高山低地各種岩層石隙之處發見之，能吸收空中二氧化碳與同化碳酸銨為有機物質，而分泌硝酸，其分解岩石之力量雖微，然以其普及，厥功亦不鮮云。



第五圖 表示樹根侵入岩石使之崩裂

第四節 土壤體之演進

岩石受風霜雨雪及生物之種種作用，起複雜之變化，由固結之體變成粉碎之物，與有機質混合，吸收相當水分，足以滋生植物，遂成有用之土。但風化所成之分解物或化合物，不論其就原地或遷移他處而積聚，

10 參看 Merrill—Rocks. Rock Weathering and Soils pp. 181—183

仍繼續受環境各種力量之風化推移，演成其特殊之體。故土壤本體云者，即地殼最表層，受相當風化之鬆軟部分是也。惟土壤本體所有之物質，其中有極難于風化或變化者，如石英粒子。有較易于風化者，如細土粘土成分。前者仿若土體之骨格，極少變化，但後者多帶有膠體物質性，而變象萬千，故又稱為粘土複雜物 (Clay Complex)。各個土壤體之識別，恒依據粘土複雜物演變之程度，與所表露之特徵而為之界說焉。故粘土複雜物，為土壤體之重要部分也。

吾人既認土壤可分成個體而研究，而其個體又受環境力量而演成，則其個體識別之法，與受環境力量之如何演進，是不可不畧為申說。

土壤垂直切面 (Soil Profile) 土壤個體，在縱面或平面上，則言其發育分布之廣狹，有成為廣濶之帶狀者，有祇成畸零片段者。若就其垂直方面而研究之，則依據其垂直切面之特徵。所謂土壤垂直切面者，自土之表面向下垂直切開所得之面是也。在昔研究土壤，對垂直切面，多祇劃分其為表土底土二層次，而分別研究，此種層次之劃分，大都以農業利用為對象，而甚簡單。第自俄國學者研究土壤垂直切面之方法提示以來，研究之方日益精微，雖其方法之繁簡各有不同，然均從切面之實際表徵而劃分其自然層次，並根究其演進之理由則一也。試舉世界現有一二重要土壤體為例而論述之如下。

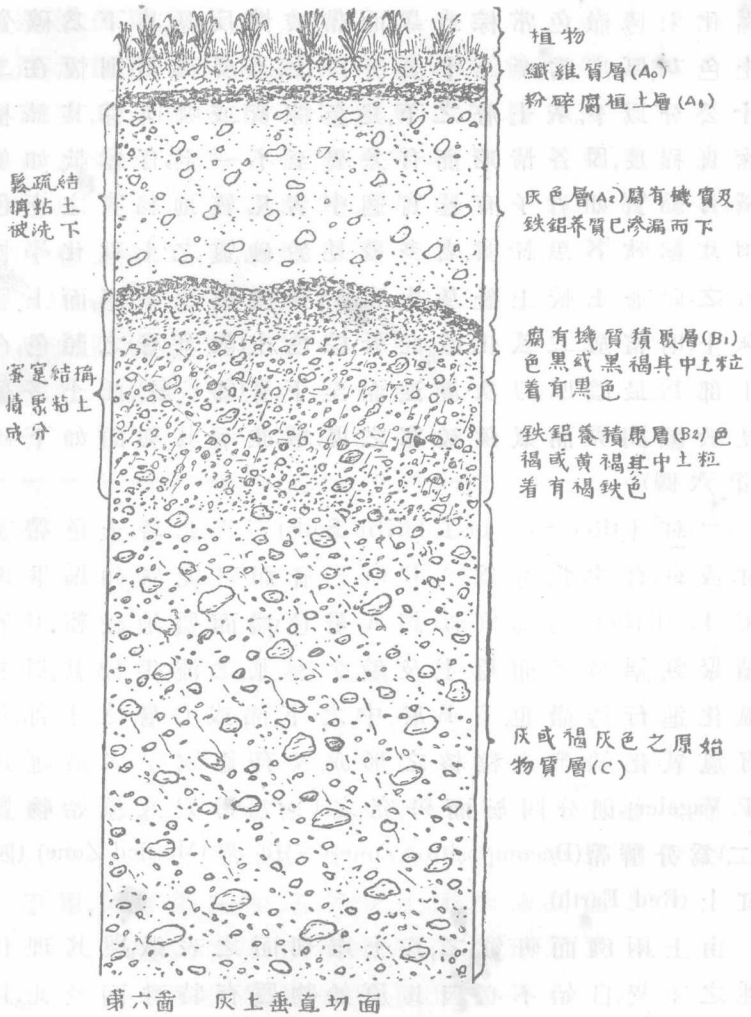
(一)灰土 (Podsols) 此屬土壤，在未墾植(處女土)之前，其表面恒積有森林殘落之葉，或其他濃厚之自然草木，或苔蘚之類，厚度自數公分以至三十公分不等，

腐化未透徹，色常棕或黑，而帶酸性反應，其下為礦質。土色灰，厚度常至三十公分以上，若屬砂質，則恆在二十公分以下。灰土層之下，其色棕黃或咖啡棕，其結構密實程度，因各情形而有差異至不一定，有鬆軟如剪絨，有結實如石子，有鬆實適中者。凡質地結實之土色，恆比鬆軟者黑，結實者多發見於砂質之土。就化學性言之，此層土較上層灰土，富於有機質及鐵鋁，而上層灰土，則富於二氧化矽。此層棕色土（即 B 層）之顏色，在上部為最濃厚，以次漸淺，而至下層（即 C 層）。此土多發見於濕潤界而氣候較寒之區域，並示其切面如下圖（第六圖）。

(二) 紅土 (Red Soils or Laterific Soils) 此層土色帶黃紅或紅，有主張分為 A. B. C. 三層而研究者，如馬畢氏 (C. F. Marbut)。其識別法謂 A 層色淡而質地較粗，B 層積聚鐵鋁較多。而鹼土及鹼金鹽基之流失較甚，以其風化進行透徹也。且 B 層中之下部或 C 層之上部，每有氫氧化鐵帶或粒核之形成。又有德國學者域羅氏 (F. Vageler)，則分四層而研究之。(一) 為母岩或原始物質 (二) 為分解帶 (Decomposition Zone) (三) 斑帶 (Mottled Zone) (四) 紅土 (Red Earth)。

由上兩例而研究之，其土壤切面之表徵，與其理化性之差異，自始不必因其原始物質有特殊，而致此，其所以致此之由，必有其重大原因在焉。蓋凡土壤體之演成，實緣三種重要力量之支配或影響，此三力量，即 (1) 氣候 (2) 土中水之運動與 (3) 土中有機物質之作用是也。茲分別而畧論之。

(1) 氣候 土壤物質，固由風化而構成，而土壤本



體亦受氣候風化之力量而演進。考氣候之影響，其最要之因子為溫度雨量及蒸發三者。以言乎溫度，則一年之中，最高最低及平均數如何，其恒差數如何，及在水冰點上下之溫度日期長短，均屬重要。蓋以溫度之

高下,影響一切理化上之變化甚大,而其時日之修短,亦與變化之大小透澈與否有密切之關係焉。故在熱帶之土,大抵風化深遠而透澈,溫帶次之,而寒帶又次之也。以言乎雨量,則每年雨雪總量幾何,分布勻否,每次最大數量幾何,均為重要。又言蒸發,則每年下雨次數,及每次之數量,與其蒸發量之比較,影響土中一切生物之生活情形均屬重要。

茲引希路吉氏 (E. W. Hilgard) 所研究乾濕境地各種土壤之結果,列表於下而比較之;¹¹

表(7) 乾濕區土受雨水洗失物質成分比較

物質名	分析三百十三種 乾燥境土平均數	分析四百六十六種濕 潤境土壤之平均數
不溶解物	77.82%	88.24%
Al ₂ O ₃	7.89	4.30
Fe ₂ O ₃	5.75	3.13
CaO	1.36	.11
K ₂ O	.73	.22
P ₂ O ₅	.12	.11
MgO	1.41	.23
揮發物	4.94	3.64

觀察上列分析表,不溶之物,乾境之土較少。換言之,

11 參看 Hilgard, E. W.—Die Boden Arider und. humider Landar; Internat. Mitt. Boden kunde. Bd I. pp. 415—529. 1912 or Lyon and Buckman—The Nature and Properties of Soils, P, 31

即可溶之物較多，此雨量少之關係，致其流失量少也。復按其他鋁、鉀、鈣、鎂、磷，等均較豐富，益足以証明之。至腐有機物或有機物質，若管理土壤得法，則濕潤之境，保存較易，以其受氧化之力較緩，不若乾燥之地，雨水少而土質鬆疏，細菌之作用，常能深入土層也。

(2) 土中水之運動 土中之水，來自雨雪，其數量之多寡，自與雨量及蒸發量有密切之關係，而在土中流行時，與土壤物質起種種變化，致有溶解于其中者。復因其流動方向有上行下行或橫面上之別，所溶之物質有被帶至土壤本體範圍之外而消失者，如紅土之缺乏鹼土鹼金物質是，有于體中某部或某層與積聚者，如紅土之有鐵鋁結核，及灰土之有鐵層是，由此遂形成切面各層次之特徵焉。

(3) 有機物質之作用 土中有機物質數量之多寡，恒視溫度之高下與水之多寡而為轉移，大抵溫度高雨量大之區，動植物之生產量較大，但因腐化容易，而可能留存于土中之淨量亦每不多，此熱帶一般之現象也。寒帶之區，溫度低雨量少，動植物之產量本較少，但以乾燥時期長，而腐化進行有限，結果可能保存之有機物質，每較大，至若溫帶之區，其情形界乎熱寒兩帶之間，土中腐有機物之量亦恒得其中焉。

土壤中之有機物質，足以影響土壤本體之形性甚多，舉其要者言之，則灰土體之形成，將A層中之鐵鋁脫出，改變其顏色與化學性，其明顯者也。其他如一般黑土栗色土之特性，亦因其含有大量之有機物質焉。

至若母岩或原始物質性及地勢如何，有時亦足影響土壤體之演成者，如灰土化之進行，在粘密之結構

中較難演進，致有變為棕土者，在英國境內常見者也。又崇山峻嶺之土，因位置高度不同，半山之上下有演成二個以上之土壤體者，如歐洲之阿立 (Alps) 我國之衡山 廬山是也。

上述之粘土複雜物，多由長石類或鐵鎂類礦物風化而成，其中成分異常複雜，且非一單純化合物體，大都為各種鋁矽酸之鹽混合而成。考長石橄欖石之風化程序，初則脫去鹼金一部分之鐵與二氧化矽，繼而鐵鎂，終而至三氧化二鋁，而達整個之解體，惟是脫出之物，其可溶于水之程度有不同，因而留存于水之數量各異。譬在雨量少氣候寒之地帶，化學之風化作用有限，匪獨鐵鋁之脫離幾全無，而鹼金鹼土金雖已脫離，仍有相當數量之積聚，故其粘土複雜物之演變程度不高。在溫暖地帶則不然，鹼金及鹼土金已有不少流失，而鐵鋁亦漸現分離。若夫熱帶之區，鹼土與鹼土金鮮能保存，且鐵鋁之脫離更形顯著，是故寒溫熱三地帶之土，可因其粘土複雜物中二氧化矽與三氧化二鐵，三氧化二鋁之分子比率 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3}$ 為分類之標準，抑亦為各個土壤體之識別標準也。茲據黎芬伯氏 (Reifenbery) 之研究，根據各方研究土壤矽鐵鋁氧之比率，將世界上各種重要土屬，分有下列之比率，特節錄之以資比較。

灰色砂漠土 (Grey desert Soils)	3.62
紅色砂漠土 (Red desert Soils)	2.08
鹼土 (Alkali Soils)	3.01
褐色土 (Brown Earths)	1.98
熱帶紅土 (Tropical red earths)	1.73

磚 紅 土 (Lateritic Soils)	1.28
草 原 土 及 黑 土 (Prairie soils and Tshernosems)	3.17
灰 土 (Pod Soils)	2.84
紅 色 石 灰 土 (Terra rossa)	2.43

參看 Reifenberg, A. "Die Klassifikation der Böden auf Grund der Zusammen
 Setzung ihrer Kolloidfraktion. V. Versuch einer allgemeiner Böden
 Klassifikation" Zeit. Pflanz. Düng. Bodenk. 1933, 31A, pp. 287-303

第三章 土壤之分類

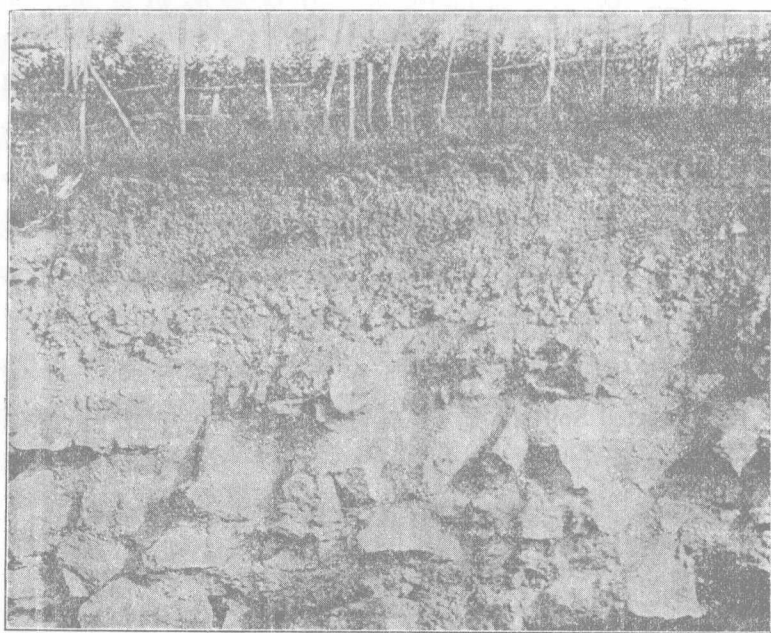
土壤分類者，係以科學的方法，將一切土壤，依據其各種性質而類別之，以便於研究，而明其體用也。致土壤之分類法，大概可有四種：(一)曰成因分類法，又稱地質的分類法，(Classification based on Geological Relations)(二)曰特種物質超著的分類法，(Classification based on special Prominent Soil constituents)(三)曰土質粗細分類法，又稱機械分析的分類法，(Classification based on soil texture or by Mechanical analysis)(四)曰土壤調查的分類法。(Classification based on soil survey) 四種方法之中，以土壤調查的分類法為最完備，除包括前三種法外，并及農作之關係情形焉，茲將各法分別而論之於次：

第一節 成因的分類又名地質的分類

土壤由岩石之風化物而構成，但岩石受風化而成之物，有就原地點積聚而成土者，曰定積土。(Sedentary Soils) 有受他種勢力遷運別方而積聚成土者，曰運積土。(Transported Soils) 但定積及運積土之中，其成因仍有差別，因而更分為下列八類。

- | | | |
|-----|---|-------------------------------|
| 定積土 | { | (一) 原生土 又稱殘積土 (Residual Soil) |
| | | (二) 堆積土 (Cumulose Soil) |
| | | (三) 崩積土 (Colluvial Soil) |
| 運積土 | { | (四) 沖積土 (Alluvial Soil) |
| | | (五) 海洋土 (Marine Soil) |
| | | (六) 冰山土 (Glacial Soil) |
| | | (七) 湖成土 (Lacustrine Soil) |
| | | (八) 風積土 (Aeolian Soil) |

(一)原生土 此土又稱殘積土，為農業使用最古之土。由原地岩石風化而成，未經移運他處，其土中鑛物質之成分，大抵與母岩所有者相似，惟年湮代遠，其中成分往往流失，而與母岩迥異者有之。此類土之風化，大概比較完全，其中鐵質受氧化作用變為赤色或黃色，故土色大都濃厚者多，而淡薄者。土壤少呈層狀組織，若植物未經生長其間，通常缺乏有機質，而物理性質不良好。同一種岩石，而構成之原生土，其性質懸



第七圖 花岡岩原生土，表示風化之次序

殊生產力迥異者亦有之，此殆因氣候之關係，或耕作人事之不齊也。原生土與運積土相異之主要點為下層組織，愈下愈粗，帶有砂礫之具有稜角者，最下則達

於大塊之母岩如第七圖，土層中之砂礫，即屬母岩之崩解碎塊而風化未完全者，其成分與母岩大致不差。

(二)堆植土 此土富有有機物，而礦質成分低，由湖沼或低澤之地，累年生長水生植物堆積而成。其土層之深度，由數尺以至數十尺不等，其有機物之腐化程度及多寡，亦不一致，因而有泥礫土 (Peat) 與腐泥礫土 (Muck) 之別。所謂泥礫土者，大概其中植物肌體如莖葉之屬之遺跡尙可分辨，而有機物之數量，在百分之五十¹以上。至腐泥礫土之有機物肌體腐化較爲進步，已不能辨其遺跡，其成分自百分之五十以下至十五不等。此等土壤之無機礦物，大都由毘連之高地洗下坭土得來，然仍作爲定積土類者，蓋以其重要之物質，係由原地長成也。堆植土多發見於北溫帶及寒帶地，北美英德各處都有，以其地勢多屬低窪，恒患水濕，一經人工排水，即足改良土性，而成沃壤。但鉀質成分不豐足，改良之後，常須施以鉀肥補助。近世紀以來，歐美改良此種土壤成績極其美滿。我國現雖未普及地質農業等調查，未經發見大段堆植土，但西北區域，或不乏此等土壤。茲選錄各處堆植土之主要成分，與普通土比較而列表於此。²

1 參看 Lyon and Buckman-The Nature and Properties of Soils P. 43

2 參看 Lyon and Buckman-The Nature and Properties of Soils P. 44

表(8) 堆植土與普通土主要成分比較(%)

土 名	有機物質	礦物	氮	五氧化二磷	氧化二鉀	氧
普通土壤代表	5.00	95.00	0.25	0.15	1.80	0.70
緬州泥炭土 Minnesota Peat	94.00	6.00	1.70	0.16	0.04	0.31
緬州泥炭土 Minnesota Peat	59.00	40.30	2.35	0.36	0.17	2.52
緬州腐泥炭土 Minnesota Muck	50.60	49.40	1.92	0.40		
緬州腐泥炭土 Minnesota Muck	41.40	58.60	1.78	0.21		
夫州泥炭土 Florida Peat	68.40	31.60	2.63	0.20	0.17	
加拿大泥炭土 Canadian Peat	74.30	25.70	2.19	0.20	0.16	
德國泥炭土 (富有石灰質) German Peat	97.00	3.00	1.20	0.10	0.05	0.35
德國灰炭土 泥炭土 (石灰質少) German Peat	90.00	10.00	2.50	0.25	0.10	4.00

(三)崩積土 山谷崎嶇之地,岩石崩碎,因重力關係,頽下山腰,如此而生成之土壤,曰崩積土。性質甚雜,石之大者有數噸,小者如砂礫,隨地勢而羅然雜陳。氧化作用,與水化作用,不甚顯著。其聚集於地勢高者,大抵多巨塊,稍低處,則漸為石礫,以達於普通土壤。其土力大抵瘠瘠,有機質少,且僅限於山腰之地,不甚宜於

農作。此類土之主要成因，雖在於地心吸力，然風與水二者之助力亦不少。

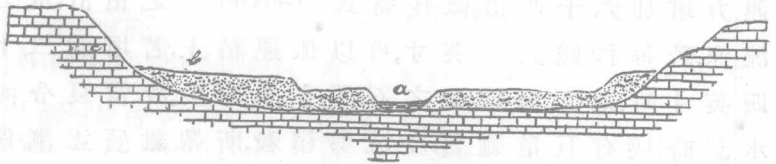
(四)冲積土 此類土在地質史上觀察，為第四紀新生層土壤，其成因端賴乎水力。攷流水之力，具侵蝕與搬運兩種作用，前章已述及之。流速每增加一倍，搬運力增加六十四倍。據佳寄氏 (Geikie)³ 之估計，水之流速，若每秒鐘為三英寸，可以搬運粘土，若增為二十四英寸時，則大如鷄卵之石礫，亦能冲去。故當夏令河水漲時，挾有巨量雜質，及流勢稍殺，所帶雜質逐漸停積，大抵粗粒者先沉澱，細微者次之；生成土壤，層理井然，此為冲積土之特徵也。

冲積土之土層呈層狀組織，混有各岩石之混合物。又依其中石礫之形狀，易與原生土辨別，即冲積土之石礫，因漂流之際，其稜角磨滅多具不規則圓形或橢圓形，其細微粒子，在顯微鏡下，亦易區別。

凡河水漲至最高之時，河岸田園每為水所汎濫，水退後，則坭砂堆積其間，由是河岸兩旁形成冲積地帶。冲積土常為新生土，至今猶生生不已。土壤大抵為粘土埴質壤土細砂土等，含豐富之有機質，土層深厚，故物理性質良好，惟在地勢低下而水濕者，加以宣洩，便適合各作物之栽培，土之上上者也。因其分佈甚廣，而土質大都良好，故在農業佔重要位置焉。冲積土依其生成之地位形勢有可區別為三種。一曰三角洲冲積土，如廣州附近一帶之三角洲是也。此種三角洲多成於江河出口之處，而無多大海浪將其出口時沉澱之

物冲出海中，積之累年，便成沙洲。二曰平原冲積土，(Flood Plain) 江河未入海之前，沿途所經之地，倘水勢高時，每汎濫兩岸田園，積之日久，河床變狹，兩岸土壤積成梯層 (Terraces) 形，如第八圖；此種平原冲積，多見

第八圖 冲積平原切面圖



a 現在河床 b 梯形河流冲積 c 原有岩層

於江河上流平原區域隨處有之，其著者如直隸海股以西一帶平原之地是也。⁴ 三曰低澤冲積土 (Alluvial Fan)，此土多屬於高原崇山附近低澤冲積之土。水由高原山嶺流下時，流速甚高，一至低地，其流速驟減，挾帶粗砂，因而沉積，故其土質每較三角洲土為粗，如廣東東江上游之銅湖沿湖之邊，多屬此土也。

(五) 海洋土 此種土壤，多成於附近海岸江河出口之處，其成因頗複雜；大抵由於江河帶下之物，出口時除一部積於河口，其細微者漸墜於口外，積之有年，漸出水面，或經地動變化，海岸昇高連帶而露出海面，如美國東部一帶沿大西洋海岸之地，多屬此土，此類土露出海面與大陸相連後，繼續風化，其土質大抵為砂礫混有多少粘土，層理可辨，疏鬆而缺乏植物養料，有機物不甚富足，蓋以海水侵蝕流失量大也。但砂質土壤之物理性質尙佳，若注意有機質之增加，亦頗適

⁴ 參看北平地質調查中國地質圖並附說明書北平濟南圖幅

宜於蔬菜園藝之耕作。

(六) 冰山土 此類土多發見於北溫帶及寒帶地，北美北歐最多，而我國發見者尙少，冰山載重徐行，遇石樹木沙坭則捲入冰中，增加其侵蝕摩擦之力。冰山土者，即冰山過境時，岩石或土之表面受磨擦而分解或變更其粗幼之度，參雜有冰山挾帶之砂坭者也。大抵底土較表土精細，土粒多未受完全風化作用，與母岩相似，故不如原生土之帶黃赤等色，其有赤色者，大都來自赤色砂岩。土質粘重者較多，有機質豐足與否，大抵視乎成土後之情形適宜天然植物生長與否而定，然比較論之，大都富足。此土一經風化耕作，多成沃壤，藍綠黃斑諸色，有時發見於此類土，此由於水之宣洩不良所致。冰山土之肥瘠與母岩成分有密切關係，若自石灰岩而成者，則富有石灰質，為土壤中最不可少之物，可成沃壤。

(七) 湖成土 湖成土頗類於海洋土，其不同之處，在聚積之情形與帶來之物質耳。此中可分為二種：(1) 生於冰河所成之湖者，(Glacial Lake) (2) 生於近代湖中者。

(1) 古時冰河流至低處，或塞住河流，及冰塊盡溶解，遂成湖澤，冰中所挾石塊砂礫泥土等亦積聚於此，深達數尺或數十尺不等。其中石礫砂粒，因多未受風化作用，仍存新鮮狀態，故化學成分，多未流失。然成分如何，因母岩種類而有差異，有機質之含量亦頗不一致，色澤為灰色至黑色不等。

(2) 近代湖澤，多為河流擴大之變相，除瀦水其中時，由河中加入泥砂，積聚而成土壤，與冰河所成之湖土

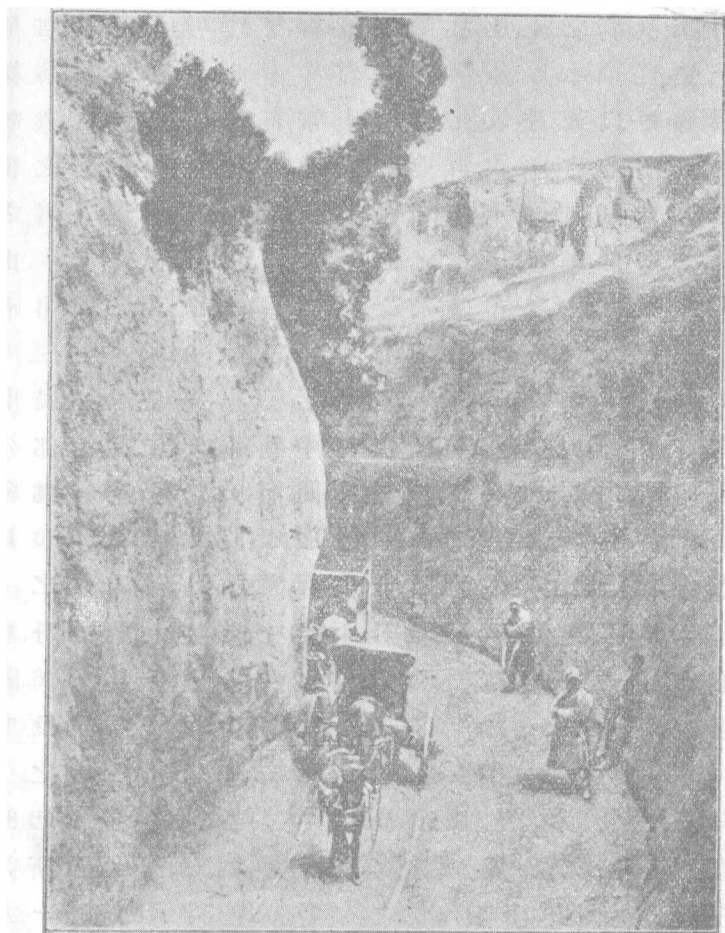
不同之處，在年代與聚積之物質耳。大概近代湖土組織細密，富於有機物質及良好之物理性質，若加適宜之排水，自成佳土，不過此種土壤，面積尙小，未足稱重耳。

(八)風積土 我國北部，冬春兩季，常有巨風，數日不息，輕鬆泥砂，由西北高亢之原，向東南低濕區域吹來，塵埃滿空，及風止，砂塵因吸水分而下墜，天氣澄清，檢視畦畔牆旁有細砂之堆積，此即由風吸來，積之有年，遂成風積土。此中又分爲黃土(Loess)與(Adobe)及砂丘(Sand dunes)之三種。在北美之黃土，據地質學者之研究，由於冰山時期之後，繼以乾燥時代，其經冰力磨成之岩石粉末，爲風吹颺散布於米西西比河流域。其在我國者，如黃河流域一帶之黃土，面積跨山東、河北、江蘇、安徽、河南、山西、陝西、甘肅，諸省，其深度自數尺以至數千尺，(參閱第九圖)，其造成時代屬第四紀之初，⁵由中央亞細亞吹來，一入較濕潤之地，遂降下堆積。黃土之下，有一種紅土，除顏色分別之外，黃土多成直壁，紅土多成斜坡，實地上甚易辨別，故黃土發達之地，常有垂直之深坑谷，造成特別地形。由此可以斷定中國北部，當時天氣較紅土時期爲乾燥。果然黃土之中，曾經發見駝鳥卵與現代非洲之駝鳥相同，此時中國始有人類之遺跡云。其後氣候漸趨潤濕，方能成今日絕好農業地域。

黃土非獨限於中國一隅，所有美、法、比、德、俄，諸國亦皆有之。其特異之點，爲物理上之性是也。峭壁聳立，能

5 參看北平地質調查所中國地質圖并附明書北平濟南圖幅 PP. 26—27

歷數千百年而不頽；然其土質甚柔脆，粉碎甚易，石灰質甚富，土中常有許多垂直小管道。據德人李希霍芬



第九圖 山西風積土(黃土)，土層深達數十丈，道路所經，因車馬及水之關係，微細土粒漸次隨風與水俱去，年久遂成深谷，華北道路在黃土境域者往往如此，兩旁壁立不頽，又係黃土之特性。

(Richthofen) 研究 中國地質，以爲黃土中之小管道，係由前植物所佔地位，今腐化淨盡，留此空隙者。土粒多未受風化，石英，角閃石，雲母，長石，輝石等常有發見。黃土係由風吹來之土，逐層遞加，故有層理可尋。每次增加之土質，有草木繁殖，惟有機質甚少；此由於堆積甚緩，有機物得以充分氧化也。黃土常有普通蝸牛之遺骸，似可証明非自水成，但最近據北平地質調查所之報告，⁶ 又似有曾經水運之証據。但據美國地質學者之研究，美國低地風積土，已証明曾經水力運積者，⁷ 由是觀之，風積土之成因，未必盡由風力作用，或間由水力之運積焉。

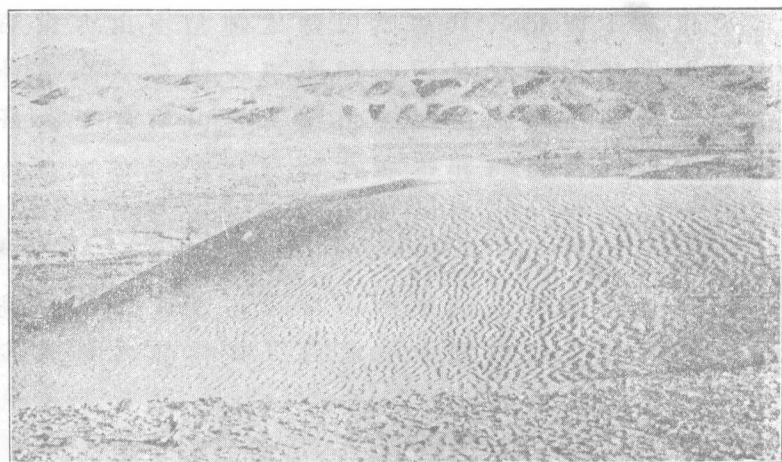
Adobe 土，爲一種富有石灰之粘土或埴土之特別名稱。其成因與黃土相類，但其中物質大概有一部分來自附近山岩之崩下，參雜其間，而風化完全者。其發見於山谷底者，或以爲由水運而成，似此成因，亦頗複雜，然大部由風運積而成。此土與黃土均屬沃壤之一種，不過多在乾燥區域，水分未能充足，故未能充分利用，倘利用人事以灌溉，其效用自顯。此土發見於美國之西部各州，如加利福尼亞，于它 (Utah)，加拉拉度 (Colorado)，亞里爽那 (Arizona)，新墨西哥諸州均有之。

砂丘爲沙漠之地，滿山滿谷一望皆砂石，狂風起時，砂塵隨風括走，及風息，遂聚積成堆，轉移靡定，卽所謂砂丘也。(參閱第十圖)。堆之大者，高數百尺，廣數十方里。耕植之地，遇此砂堆，不但禾稼全被掩沒，卽沃壤亦

6 參看北平地質調查所中國地質圖並附明書北平南濟圖幅 P27

7 參看 Blackwelder-Elements of Geology Pp. 99-1

變爲不毛，爲農業之大患焉。



第十圖 砂丘並表示波紋

據 Sir Aurel Stein 在 新疆天山南路，發掘沙漠下之都市，調查沙漠移動狀態，証明此種破壞作用，漸向黃河方面進行，其勢甚烈，預料將來此地方，必盡成荒涼之沙漠原或裸山。此種特例，即 陝西榆林府 之現狀，由 榆林府 三字推之，大概此地前爲榆林叢生之都市，但該地現在林木僅存少數之楊柳而已。已侵入之沙漠，環抱長城城壁，且有越長城而入內地三十英里者。沙漠之移動，全由主要風向而定。我國北部，自冬至春，常有暴風，怒蕩奔騰，砂塵蔽空，可知 蒙古 之沙漠氣候，已漸次侵入北部各省。又據久居 鎮江 南京 者言，二三十年前，未聞有砂塵飛揚之現象，但近年此種現象，亦頗顯著，而飛來之沙，大抵來自 戈壁沙漠，是 戈壁沙漠 之勢力，已南及 揚子江 矣。又據 徐淵 摩江 蘇鎮江 高資 地質

調查報告書，⁸該處黃土甚多，亦可見沙漠風力之偉也。

火山灰土 (Volcanic Dust) 爲特殊之運積土，由火山噴出之灰塵積聚而成，我國此種土不多見。日本火山多，故此土分佈廣。美國西部各州，及檀香山均有之，土甚鬆疏，雖可以耕植，但非沃壤耳。

第二節 特殊物質超著分類法

此種分類法，因土壤中所含特殊物質成分異常豐富，致與農業發生特別影響者，因以該物質之名或其性質而名之，如石灰土 (Calcareous Soil)，腐有機質土 (Humus Soil)，鹼土 (Alkali Soil)，酸土 (Acid Soil) 等是也。

(一)石灰土 此類土富有碳酸鈣，依英國之規定，則含有碳酸鈣自百分之五至六十者統稱之。在日本則自百分之五十以上者稱之，若達至百分之七十五者，曰純石灰質土，又曰白堊。

(二)腐有機質土 此土又稱腐植質土，凡土壤含腐有機物在百分之二十以上者稱之；若在百分之十以上不及二十者，則冠以腐有機質，或腐植質土之形容詞而區別之；例如腐有機質壤土是。

(三)鹼土 此類土富有鹼鹽類；其重要物質爲硫酸鈉，碳酸鈉，氯化鈉，其次爲硫酸鈣，氯化鎂等鹽類。此種鹽類，均可溶於水，若成分高，則防碍農植物生長。現在發見之鹼土，其鹼性鹽之成分，大概自千分之三至三十者最爲普通。鹼土之中，又可區分爲白鹼質黑鹼質之二類。所謂白鹼土者，因所含鹼鹽蒸發上升積聚

⁸ 參看科學第十卷第四期(民十五年五月)

於土面而呈白色，大概此種鹼鹽，多非碳酸鈉，或絕無其存在。若黑鹼質，則富有碳酸鈉，其鹼性較強，能溶土中腐有機質，致令土呈黑色者。凡此鹼質，多發見於雨量較短少之境，北溫帶地多有之。

(四)酸土 酸土多發見於雨量多之境，而罕見於高亢乾燥之地，其酸性有因遊離酸之存在者，有因缺乏鹼性物質者，而其酸性程度以石灰需要量表示之。

第三節 土質粗細分類法(又稱機械分析的分類法)

此法以篩及水之淘汰，將土粒粗幼分為各土粒組(Soil Separates)，再計算各土粒組之成分而區別為各土類。(Soil Class)。但分類之法，各國所用之標準不同，即一國之中，而各地所用之標準亦間有不一致者，茲就所知者述之如次：

土粒分組法(Classification of Soil Separates)

(一)美國農部土壤局規定之法分土粒為下列十組

土粒名	土粒徑
石 (Stone)	3 公厘以上
礫 (Gravel)	2—3 公厘
細礫 (Fine Gravel)	2—1 公厘
粗砂 (Coarse Sand)	1—0.5 公厘
中砂 (Medium Sand)	0.5—0.25 公厘
細砂 (Fine Sand)	0.25—0.1 公厘
極細砂 (Very fine Sand)	0.1—0.05 公厘
細土又稱埴質 (Silt)	0.05—0.01 公厘
微細土又稱細埴質 (Fine Silt)	0.01—0.005 公厘
粘土 (Clay)	0.005 公厘

美國土壤局規定之法似較爲精細，而分析手續頗簡易，儀器設備所費不昂，故在美國已認爲標準法，而漸普及於全國，從前之習用希路吉氏，或他法者，已漸改用此法矣。

(二)英國何氏及羅素 (Hall and Russel) 分組法何氏等掌理英國路典斯的試驗場有年，爲土壤學專家，所定之土粒分組法如下：

土粒名	土粒徑
石與礫 (Stone and Gravel)	3 公厘
細礫 (Fine Gravel)	3—1 公厘
粗砂 (Coarse Sand)	1—0.2 公厘
細砂 (Fine Sand)	0.2—0.4 公厘
細土又稱埴質 (Silt)	0.04—0.01 公厘
微細土又稱細埴質土 (Fine Silt)	0.01—0.002 公厘
粘土 (Clay)	0.02 公厘以下

以上分組法，在英國已認爲標準法矣。

(三)德國土粒分組法，此法在德國各試驗場習用之，已成普通法，其分組如下：

土粒名	土粒通過篩目
石 (Stein)	不通過 3 公厘篩目者。
石礫 (Steinkies)	通過 3 公厘而不通過 2 公厘篩目者。
粗礫 (Grobkies)	通過 2 公厘篩目而不通過 1 公厘篩目者。
細礫 (Feinkies)	通過 1 公厘篩目而不通過 0.35 —0.39 公厘篩目及其對角徑 0.45—0.5 公厘者。

粗砂 (Grobsand)	} 通過上列篩目而不通過 0.41 0.17公厘篩目及其對角徑0.22 — .24公厘者。
細砂 (Feinsand)	
塵土 (Staub)	} 通過上篩目而不通過 .094公 厘篩目者。
塵土之中又再分爲塵砂土 (Staubsand) 及粘土。	通過上篩目者。

(四)法意比等國,前時通用士羅成 (Schloesing) 法,其法頗單簡,分析手續詳見於威利氏之農藝分析原理,及實驗第一卷, (Wiley's Principles and Practice of Agricultural analysis. Vol. I) 茲節錄之如次:

凡不通過五公厘篩目者曰石,通過五公厘而不通過一公厘者曰礫,但其中包括有機碎物 (Organic debris)。其通過一公厘之部分,稱爲細土 (Fine earth)。其中再區分爲粗砂及幼質 (Coarse sand and Fine elements),而粗砂之中,更分爲石灰質砂,非石灰質砂,及揮發物之三類。幼質中又分爲幼石灰質砂,非幼石灰質砂,及粘土之三類。此法注意於石灰質而畧於土粒徑度。但近年來,法意比等國,已漸引用隘打堡氏 (Atterberg) 法,其分組之標準較簡括,茲并述之如下:

土粒名	土粒徑
石礫	2—20公厘
砂	2—0.2公厘
細砂	0.2—0.02公厘
細土又稱植質	0.02—0.002公厘
粘土	0.002公厘以上

此法簡便易行,而仍能分別粘土複雜體,或將成爲

國際通用法也。

(五)日本之土粒分組法,依最近該國農學會發表,其規定如下:

土粒名	土粒徑
礫及角礫(Gravel and Debris)	2 公厘以上
粗砂	2—0.25 公厘
細砂 (Silt) { 砂 (Sand)	0.25—0.05 公厘
微砂	0.05—0.01 公厘
粘土	0.01 公厘以下

} 細土
(Fine Soil)

土粒粗細之成分,既檢定後,即按規定之標準,分為土類。依美國土壤局之規定,除礫質土外,可分為下列之三種,十二土類。

(1)種 凡土壤所含細土及粘土不及百分之二十者屬之。其中再區分為下列四類:

(a)粗砂質土 (Coarse Sandy Soils) 含細石礫及粗砂超過百分之二十五,而其餘三類砂不及百分之五十者。

(b)中砂質土 (Medium Sandy Soils) 含細石礫粗砂及中砂超過百分之二十五,而細砂不及百分之五十者。

(c)細砂質土 (Fine Sandy Soils) 含細石礫粗砂中砂不過百分之二十,而細砂百分之五十以上者。

(d)極細砂質土 (Very fine Sandy Soils) 含最細砂百分之五十以上者。

(2)種 凡土壤所含細土及粘土自百分之二十五至五十者屬之。其中可分為下列三類:

(a)砂質壤土 (Sandy loam) 含細石礫粗砂及中砂超過百分之二十者。

(b)細砂質壤土 (Finesandy loam) 含細石礫粗砂及中

砂不過百分之二十,或細砂在百分之五十以上者。

(c) 砂質粘土 (Sandy Clay) 含細土不及百分之二十五者。

(3) 種 凡土壤含細土及粘土在百分之六十以上者屬之。其中可分為下列五類:

(a) 壤土 (Loam) 含粘土不及百分之二十,而細土不及百分之五十五者。

(b) 植質壤土 (Silt Loam) 含細土百分之五十以上,粘土不及百分之二十五者。

(c) 粘質壤土 (Clay loam) 含細土自百分之二十五至五十五,粘土自百分之二十五至三十五。

(d) 植質粘土 (Silt Clay) 含細土超過百分之五十五,粘土百分之二十五至三十五。

(e) 粘土 (Clay) 含粘土超過百分之三十五者。

又查日本最近規定之土類區分法如下:

1. 依土壤細土中含有粘土量之多寡,別為下列五類:

a. 砂土 凡含有粘土百分之一二·五以下者稱之。

b. 砂壤土 凡含有粘土百分之一二·五至二五者稱之。

c. 壤土 凡含有粘土百分之二五至三七·五者稱之。

d. 植壤土 凡含粘土百分之三七·五至五〇者稱之。

e. 植土 凡含粘土百分之五十以上者稱之。

2. 細土中細砂及微砂之成分,占砂之成分三分之

二以上者,以“細”字冠稱之。例如細砂土,細壤土。

3. 埴壤土及埴土,每發見其質特別輕鬆,如火山灰土者,冠以“輕”字;例如輕埴壤土,輕埴土。此外對於礫及腐植質之含量命名,另有下列之規定。

1. 凡土含有下列各量之礫及角礫者,依其原名附以下列各語,或更其名。

- | | |
|------------------|---------|
| a. 含礫及角礫 5—10 % | 附“含礫” |
| b. 含礫及角礫 10—30 % | 附“富有礫” |
| c. 含礫及角礫 30—50 % | 附“頗富礫” |
| d. 含礫及角礫 50 以上 | 稱礫土或角礫土 |

但含礫及角礫之成分約相等者,稱複礫土。(Mixed Gravel)

2. 凡土含下列各量腐植質者,依原名附下列各語或更其名。

- | | |
|-----------------|----------|
| a. 含腐植質 2—5 % | 附“含腐植質” |
| b. 含腐植質 5—10 % | 附“富腐植質” |
| c. 含腐植質 10—20 % | 附“頗富腐植質” |
| d. 含腐植質 20 % 以上 | 稱腐植土 |

統觀以上各國之區分土粒法及土類法,標準不同,繁簡不一。此固由於土壤學之進化各自發展,對於此項分類,事前未有統籌計劃,而國土環境情形亦有多少影響。近年來世界土壤學會已有組織,一九二七年曾在美開第一次大會,對於各土壤分類,亦有論文提出討論;但關係情形至為複雜,將來是否應有統一法以從新處理,亦屬問題。但就學術方面而言,自以有統一之法便於研究也。我國土壤調查現正開始,正宜於此時將法規製定,則將來進行有所適從也。

第四節 土壤調查分類法

土壤調查者，研究各地土壤之性質與農作之關係，評其土宜，而分種類，製成土壤圖，以冀使用經濟，而作種種農業上之改良張本也。以前所論之各種分類法，有根據土壤之成因者，有根據特殊物質成分者，有根據土質精粗者，其分類之原則甚為單簡。若夫土壤調查之分類，其原則不特兼上列數者而有之，且包刮其他因子致令土壤有特殊性質與農作發生關係者焉。總刮言之，土壤調查之分類，應包刮下列六種因子：(一)土質之精粗，(二)特殊性質(大概屬化學的)，(三)土壤構成之物質，(四)土壤之成因，(五)所在地之雨量及溫度，(六)所在地之平常及平均溫度。

攷諸我國古籍，九州田土，色澤有別，土性各殊，山川澤，墳愆原隰，位置所在不同，故植物適於邱陵者，未必適於川澤也。月令云，善相邱陵原隰，土地所宜，五穀所殖。又禹貢曰，以土均之法，辨五物九等，製天下之地，以作民職，以令地貢，以斂財賦，以均齊天下之政。皆足證明我國三千餘年以前，曾有土壤之調查，惟以科學未有發達，分類祇根據目見當然之事實而行，故遠非今日之利用科學方法以調查者可以並論也。茲述禹貢所載九州各地土壤條舉於後以供參攷。

- (1) 黑水西河為雍州，(陝西甘肅) 厥土為黃壤，厥田惟上上。
- (2) 海岱及淮惟徐州，(山東江蘇安徽) 厥土赤埴墳，草木漸包，厥田惟上中。
- (3) 海岱惟青州，(河北山東奉天) 厥土白埴，海濱廣

斥，厥田惟上下。

(4) 荆河爲豫州，(河南) 厥土惟壤，下土墳壚，厥田惟中上。

(5) 冀州，(河北山西) 厥土惟白壤，厥田惟中中。

(6) 濟河惟兗州 (河北，山東) 厥土黑墳，厥草惟繇，厥木惟條，厥田惟中下。

(7) 華陽黑水爲梁州 (四川，陝西) 厥土青黎，厥田惟下上。

(8) 荆及衡陽惟荊州，(湖北，湖南，廣西) 厥土惟塗泥，厥田惟下中。

(9) 淮海惟揚州，(江蘇，浙江) 篠蕩既敷，厥草惟夭，厥木惟喬，厥土惟塗泥，厥田惟下下。

由此以觀，我國古代土壤之已經調查者，幾遍於十八行省；其分類就中國疆域，分爲九大區，每區更言其土色，土性，土宜，以示田土之肥瘠，雖未可以言詳盡，然對國賦之釐定，已利賴不鮮。至近代東西各國之土壤調查，其所用之標準，有下列各種，茲分叙之如次。

(一) 地質 土壤既係由巖石崩碎分解而成，其所受風化作用不同，而有種種土壤之生成。故自其成因而分類，如原生、沖積、風積、冰山等，自係一種良好方法。但由一種作用而生成之土壤，面積過廣，每因其他情形影響，而種類變成複雜，至原來之地質生成作用，幾不能辨，或已不成爲主要之分類標準。例如冰山區內之土，冰山運積之物，常與下層原生土壤，或岩石不相類者是也。是故祇以地質上生成方法而分類，有時根據亦覺薄弱焉。

(二) 巖石 (Lithological) 各種巖石之成分不一，其生

成土壤之成分性質，自然顯有區別，故土壤以生成之母巖而分類亦可。惟一種之巖石名雖同而成分差異者常有，又因所在外界情形及氣候之不同，生成之土壤亦有差異。譬如土壤之由花岡巖而成者，在一種情況之下異常肥沃，生於他種情況之下者，殆為不毛之地者有之，是又不可不注意者。

(三)雨水 雨水之多寡，不僅關係巖石分解之進行，而生成土壤之成分性質等亦大有區別。水為一切化學變化之媒介物，非水之力，巖石難於分解，土中溶解性物質，常因雨水過量而至流失，故雨澤豐富之區，土壤常呈酸性，以鈣鎂等鹼性物多被洗去也。乾燥地方，雨水不足，以洗去鹼性物質，往往因積聚過多成為鹼土者有之，依雨水之多寡而分類者，有如下列諸名稱。

(1) 乾燥境 (Arid Region) 每年雨量在二百五十公厘以下者屬之。

(2) 旱農境 (Semi-arid Region) 每年雨量在二百五十至五百公厘者屬之。

(3) 亞潤境 (Sub-humid Region) 每年雨量在五百至七百五十公厘者屬之。

(4) 濕潤境 (Humid Region) 每年雨量在七百五十公厘者屬之。

(5) 過潤境 (Super-humid Region) 凡卑濕之區屬之。

乾燥地方氣候之變遷劇烈，風化作用多屬物理的，故土壤鬆疏，土層深厚，不若濕潤地方土壤之粘重，因水分充足，則化學的分解作用盛行也。

(四)溫度 除崩碎岩石之作用外，溫度對於土壤

之生成無甚直接關係，但常間接助長其他風化作用；譬如適宜之高溫，增進植物之生長，細菌之繁殖，於是有機質之分解，與乎其他化學物理生物上種種變化，均相應而起。依此標準，可分土壤為(1)熱帶(2)亞熱帶(3)溫帶(4)亞寒帶(5)寒帶。

(五)植物(Vegetation) 天有時，地有氣，橘踰淮北為枳，此地氣所使然也。土壤與植物生長之關係，我國古時早已注意及之，“東南曰揚州，其穀宜稻”，…“正西曰雍州，其穀宜黍稷”，此於每州之物宜尤言之甚詳。蓋植物之生長各有特別之嗜好，如水分，溫度，土質之粗細，深淺，化學成分及有機質之多寡，均足左右植物之種類。且植物中無論高等下等，均於土壤生成上有莫大關係，故就植物生長狀態與種類，得區別土壤為(1)草原地(2)森林地。前者大都呈暗褐色，含有充分之有機質，因草根彌漫土層，待其腐爛後，故含有豐富之有機質也。後者土壤多呈淡黃或淺灰色，含有少量之有機質。植物對土壤中有機質之多寡有直接關係，若有機質多寡不同，其物理性質自殊，故可作分類之標準也。

(六)色澤(Color) 土壤之色澤如何，可以推知其生成年代之遠近，生產力之豐歉。色澤之如何，視有機質之多寡與鐵質氧化之程度而定。若含有多量之有機質，土色多呈黑褐色，反之則色淺淡。黑褐之土，大半為肥沃之表徵。赤色之土，為鐵受完全氧化之結果，大抵為古生土，土中養分缺乏之徵。依此標準，可為赤，黃，褐，白，灰，黑等土壤。

(七)質地(Texture) 就土粒之大小成分，得分土壤為粘土，壤土，粘質壤土，植質壤土，砂質壤土，砂土，等種

種名稱。

綜上七端土壤分類法,各有得失,然多失之偏,故凡一種之土壤調查分類法,宜兼採以上七項原則,並隨時隨地各得其用,不必拘泥,而以各項土壤對於農業之種種關係特別注意,廣為搜集記載,則土壤調查之功用,不難達其完全目的矣。

夫土壤關係農業至鉅,調查事項應注重(1)農業,如各地之花草林木及農產品之特產,(2)土壤之化學成分,如鈣,鉀,磷及有機質等之多寡,有效程度(Availability)之如何,鹼質之足以防碍植物生育否,(3)物理性質,如土之質地, (Texture) 結構, (Structure) (4)底土之深淺輕鬆或粘重,(5)地位之高低, (Topography) (6)排水狀況, (Drainage) (7)成因, (Fomation) (8)色澤, (9)氣候。

準以上一或二端以上,更別為域組系種類,茲再申論之。

(1) 域 (A Soil province) 乃一定區域內其地質相似,土壤生成同一或同數種之作用,例如華北黃土,面積跨數省之地,其成因由於風之傳播,此可稱為黃土域。

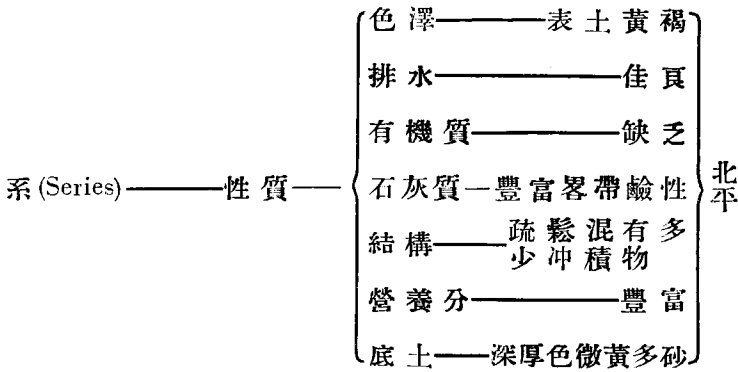
(2) 組 (A Soil Group) 每域之中,各土壤之物質來源有不同者,因又分組,例如其物質來自酸性結晶巖頁巖,砂塵,或腐有機物等是也。

(3) 系 (A Soil Series) 域之中更依同樣之色澤,底土,排水,成因,結構,地位,等(除質地外)而列為系。譬如某種黃土,具有特別性質,與他處迥異,在北平分佈最廣,或首在北平發見,可命名曰“北平”系。

(4) 類 (A Soil Class) 土壤中單就土粒之精粗(Texture) 相同,列為一類,如粘土,砂土,壤土,粘質壤土等。

(5) 區 (A Soil Type) 包括系與類之性質,如同一之成因,色澤,質地,結構,排水,底土,地位等。另命之曰區,此土壤調查所用之單位也。例如“北平砂質壤土”可依下表而說明之。

名稱	標準	標準根據	本例引用之點
帶 (Zone)	溫度	寒	溫
		溫	
		亞熱	
		熱	
境 (Region)	雨量	乾燥	旱
		旱農	
		濕潤	
域 (Province)	成因	風力	風
		水力	
		冰力	
		重力	
		動植物	
組 (Group)	物質種類	酸性結晶巖	
		鹼性結晶巖	
		頁巖及砂巖	
		有機質	
		砂塵	砂塵



類(Class)——質地——土粒之粗細——砂質壤土

區(Type)——即包括“系”與“類”各性質而言——北平砂質壤土。

以上所舉之例，原屬多數國家所採用之土壤調查分類法。而製定全國土壤圖，以土壤之成因，或地文之關係分區表示之，至一省或一州之土壤圖，則以系或類表示之，其分類原則，偏重于地質地文之關係，以土壤物質之來源成因為分類之主幹條件也。此種分類原則，就理想上考慮，原頗妥當，第經多年之調查，大規模之研究，似有未盡適當之處。故晚近十餘年，經歐美各土壤調查專家之共同研究，復于近數年提出國際土壤學會討論，僉以從前採用地質地文或氣候等關係，作為分域之原則，殊與事實有未盡妥合之困難，因而有製定世界土壤分類法，以適應各國土壤調查共通研究之提議，此種新主張亦頗有辦法，其採用原則，約有下列諸端。⁹

⁹ 參看鄧植儀——研究土壤分類法新趨勢——中山大學農科農聲第一百三十三期(民十九年五月)

(1) 土壤爲一自然物體，位於地殼表層，其本體常鬆軟，其厚度由極微如膜，以至十餘尺不等，其顏色結構，質地，理化性質，生物特徵，及化學作用等，與其下層物質或母岩有不同，而下層物體卽爲土壤原始物質之一部，性常硬實，或仍屬巖石狀態。

(2) 土壤本體爲真正土壤 (Solum)，與下層物體或稱原始土壤物質不易受或未受風化者不同，應區別之。

(3) 土壤本體之特徵，雖由氣候，地質，地形，生物等各種力量變遷作用而形成或演進，但研究其分類，應採其特徵爲標準，而不採其曾受各種力量以區別。

(4) 土壤本體，一如其他自然物體，如動植物，根據其應具有特徵之是否完備，可區分爲新土，正常土，及古土。

(5) 每種正常土，應具之特徵，乃根據調查研究已得之事實而訂定，以作分類之標準。

(6) 土壤之特徵，由其垂直切面 (Soil profile) 所具有者分別研究審定之。

據美國農部土壤局土壤調查主任馬畢 (Marbut) 氏云，就現在已知之事實，凡屬正常土之垂直切面，可分爲兩大層，其上層爲真正土壤，而下層爲母巖或原始土壤物質未受若何風化者。溯其原始，上下兩層之性狀，本無區別，嗣經種種演進，上部遂成真正土壤，而在此正常土之本體，再可分別爲兩小層，其上者稱曰溶提層又稱 A 層 (Horizon of Extraction or Horizon A)，以其中原有一部分之土壤物質，經理化作用侵溶而流入下層也。其下者稱曰積聚層又曰 B 層 (Horizon of Concentration or Horizon B)，以其受納 A 層流下之物質而積

聚也。再下之大層即為母巖或原始土壤物質，又稱為C層(Horizon C)。研究土壤特徵時，應就其垂直切面分別A, B, C, 各層，而逐一研究比較之。

馬里氏計劃世界土壤分類法，就現在已知之事實，依土壤A, B, 兩層所具之特徵，區分世界土壤為兩大部，第一部曰富鐵鋁(Pedalfers)土，又稱潤濕界(Humid Soils)土，第二部曰富鈣(Pedocals)土，又稱乾燥界土，或半乾燥界土。(Arid or Semiarid Soils)。

富鐵鋁土 此部土壤，其中A層細微鑛質如粘土，細土，每受機械力量運入B層，故A層土質常較B層為粗而又輕鬆。又A層原有物質之氧化鐵鋁，鹼土金屬，鹼金屬，或有機質等，亦每受化學作用溶解而流入B層，(隨又沉澱而出積聚于B層)至土壤原有之碳酸鈣，則完全流失入于C層。故此部正常土原有碳酸鈣完全消失而無留存者。此部土之通性，有如上述，其所以具有如是特徵者，因其土中水充足，常有下流之水也。又因其A層流失物質有多寡程度之不同，與B層積聚物質種類之差異，復分為各屬，而每屬之中，又以A, B層次之厚薄與母岩或原始土壤物質之差異復分為各系，而最後以表土(或A層)土質之精粗程度而定其區類之別。

富鈣土 此部土壤，其A層細微鑛質，有無受機械力量運入B層而積聚則不一定，但其正常之土，必有積聚鹼金屬或鹼土金屬之B層，尤其是碳酸鈣必有多量之積聚。此部土壤大抵因環境雨量短少，土中下流水分常不能維持有以致之。其中土壤，以種種特徵之差異，分為各屬，復別為各系區。

此項新主張之分類法，對於各部分屬，完全以土壤本體所具之特徵爲主要條件，避免一切成因力量之淆混，一如動植物分類法，而不涉及其進化經過之力量，似較一般以地質地文氣候分類者爲當，但仍須假以相當時日，普及調查，証以事實，方能完全確定也。地質地文之影響，雖不能偏重，然以其與物質方面有相當關係，對於土壤之分系，仍多主張援用之，故地質調查有補助於土壤調查進行之處仍不少也。

第五節 世界各重要土屬

世界各大洲之土壤調查，因未普遍切實舉行，故正確土壤分類圖之發表，當需時日。惟就各國土壤學者數十年之研求所得，復經國際土壤學會分類及名詞組之審查研究，世界之土壤分類程序，依該組主任馬畢氏之編訂，有如下表：

表(9) 馬畢氏土壤分類表

1 級	2 級	3 級	4 級	5 級	6 級	7 級
富鈣土 Pedocals	屬於溫帶氣候的	北溫帶		從第四級依土壤垂直切面之成熟情形而分別之	從第五級依原始物質之性質不同而別之	從第六級依表土質地而分別之
		中溫帶	黑栗色土 褐色土 灰褐色土			
		南溫帶				
富鐵鋁土 Pedalfers	屬於熱帶氣候的 灰化的土 Podsollic Soils	寒濕土				
		灰土				
		褐色森林土				
		草原土				
	紅化的土 Lateritic Soils	黃土				
		紅土				
		磚紅土				
		鐵質磚紅土				

茲將上表所列各重要土屬之重要特徵,依次約畧分述于後:

黑土(Tshernosems or Black Soils) 此土發育于乾燥區域,能成大片或帶狀分布者,在俄美兩國見之。其土體大別分為A,C兩大層,C為原始物質,而A為演進之

土層，深度恒至一公尺。但在 A 層中常可依其色澤等而詳分爲數小層，最表之層色，黑，漸下而色漸減，以至 C 層，則每爲黃褐色。A 層之有機質常豐富，鈣鹽(如碳酸或硫酸鈣)有相當之積聚。

栗色土(Chestnut Coloured Soils) 此土亦多發現于俄國及美國，其性狀近似黑土，但以有機質不及黑土之豐富，故色近栗色或褐黑色，而碳酸鹽之積聚，常貼近于表層之土。

褐色土及灰色土(Brown and Grey Soils) 附近栗土之區域，氣候較乾燥者，常發現此褐色或灰色之土，其有機質成分較低，而碳酸鈣之積聚，較近于地面，至其他性狀類似栗色土。

寒濕土又稱無樹區之土(Tundras) 寒濕土生于寒帶無林之區，祇長苔蘚之屬，而間有矮小灌木，其區域內之雨量雖少，而蒸發不大，溫度低，化學的風化極少。恒受水之浸漬，底土常年冰凍。表土灰棕色，底土常爲黃灰或灰藍等色。質地無定。

灰土(Podsols) (已見前章)

褐色森林土(Brown Forest Soils) 此屬土當未墾植時，表面覆有一薄層殘葉或生于葉面之苔蘚，葉之苔蘚色暗黑，腐化已透徹，成粒狀結構，厚度鮮過三公分。其下之表層礦質土，厚度自二·五至十二公分不等，雜有有機質而色黑，再下則土色由淡棕色以至黃棕色，此二層合成爲 A 層，厚度常達四十六公分。至 B 層之結構，則比 A 層密實，而其棕色較深，間亦有淡紅色者，但無咖啡棕色之有機質積聚，而 A 層亦無如灰土之顏色，至化學成分，B 層含鐵鋁較富，而 A 層二氧

化砂較高，A B兩層中無碳酸鈣之積聚；但在壤土及砂質壤土，細土與粘土含鉀之成分常高，A層之有機質成分常低，若經開墾，則漸次消失。

草原土 (Prairie Soils) 此土常發現于寒冷氣候，每年雨量約二十英吋，或暖氣候年雨量二十五至三十英吋之地帶，生長高長之草經悠久之時期，遂生成此種土。富于有機質，表土為深黑褐色，底土為褐色，或黃褐色，倘排水情形良好，則灰化作用畧有進行，否則底土不顯酸性反應，而仍有碳酸鈣之留存。

黃土及紅土 (Yellow and Red Soils) 此兩屬土A層之特徵頗似褐色森林土，第其色澤較黃，而風化較透澈，倘與上述灰土與褐色森林土兩屬同質地之土相較，則所含有之膠體物 (Colloids) 較富，而其鹽基物質流失較甚，故結果留存之鐵鋁等氧化物較高，其特徵之最顯著者為有機質及鹼金與鹼土金屬物量微少。A層色澤由灰至黃，B層由黃至紅，而B層積有多量之鐵鋁氧化物也。

磚紅土及鐵質磚紅土 (Laterites and Ferruginous Laterites) 此兩屬土色帶黃紅或紅，與黃土及紅土屬相似，第其A層與B層較，A層色淡而質地較粗，B層積聚鐵鋁較多，而鹼土及鹼金鹽基之流失較甚，以其風化進行較黃土及紅土屬透澈也。更有一點或可作為與黃土及紅土屬區別者，則B層中之下部，或C層之上部，有氫氧化鐵帶或粒核之形成是也。此種氫氧化鐵帶或粒核，一經暴露，如受沖刷崩塌之土，則附帶之粘土洗去，而遺存之氧化鐵變成狀如鐵滓，或崩拆成塊，氫氧化鋁亦有形成帶狀之可能，但不若鐵之普通耳。此氧

化鐵之結聚，多發見于熱帶或亞熱帶地，名曰紅土，
(Laterite) 故本屬因而得名。

第四章

土壤機械分析及土粒之重要理化性

土壤由巖石風化之粉碎礦物，與有機物質組合而成，考其間組合份子(名曰土粒)之大小精粗，與空氣之流通，水分之保蓄，植物根之發展，耕作之難易，諸問題有密切之關係，自應加以研究，此土壤機械分析(又稱物理分析)之由來也。土壤機械分析之目的，係依規定各類土粒之徑度，將土壤體中之分子，分別歸類而檢定其分量也。

第一節 機械分析之原理

土壤機械分析之方法雖多，而所根據之原則不外乎篩與沉墜之二種。土壤分子，有可用篩以分離成類者，則用篩，否則置于水中或空氣中以分離之，蓋土粒本體自有重量，放置空中或水中自然沉墜而下，但以粒子大小不同，輕重有別，墜下之速率因而有差，分析方法，即利用此原理，用水或空氣之速率以分別滌蕩，使土粒徑大致相同者類聚而檢定之。茲將各重要方法依其所用之原力分別條列于次。¹

- (一) 篩(乾或濕) 用以分析砂粒，各種方法皆採用之。
- (二) 空氣 (柯士文空氣淘土器 Cushman's Air Elutriator)

1 參看 Lyon Fippin and Buckman—Soils, Their Properties and Management, pp. 85—95

- (三) 水
- 動
 - 重心力 (孫氏淘土器 Schone's Elutriator) 及 (希路吉氏淘土器 Hilgard's Churn Elutriator)
 - 離心力 (郁德氏離心淘土器 Yoder's Centrifugal Elutriator)
 - 靜
 - 重心力 (1) (奧士本玻杯法 Osborne's beaker method) (2) 及 (隘德堡氏改良細土筒法 Atterberg's modified Silt cylinder) (3) 級管法 (Pipette method)
 - 離心力 (美國土壤局法 U. S. D. A. Bureau of Soils method)

以上各法,不過舉其例而已,現已多半不用,因所得結果不甚精確,或手續過于繁難也。篩之弊在只能分別粗大土粒,而不能適用小於直徑 0.005 公厘之土粒。但無論何種分析方法,至今仍用篩以爲輔助,大概土粒之大者用篩,小者再用他法以分析。至用流動空氣以分析土粒亦不甚可靠,因此法只限于細微土粒,若稍大則無能爲力,且土粒常膠結一團,更難使其充分分離,此所以現行法舍空氣而以水作分析用也。

第二節 機械分析法畧說

土壤浸于水中,無論因重心力或離心力,土粒依重量關係漸次下沉,土粒愈小,降沉愈慢,依下列司徒氏 (Stoke) 之公式可推計土粒下墜之速率:

$$V = \frac{2}{9} gr^2 \frac{d_1 - d_2}{n}$$

v = 土粒下墜速率 d_1 = 土粒真比重

g = 重力加速率

d_2 = 水之比重

r = 土粒半徑

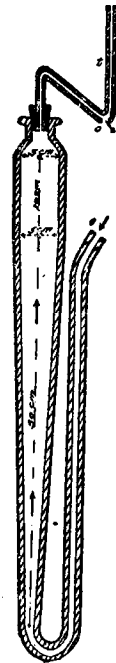
n = 水之稠粘係數

土壤機械分析法即利用上列公式推算各組土粒沈下速率而分離之以定其百分率。凡一般用水力以分析土粒者，不問其器具之繁簡，其主旨不外乎是。

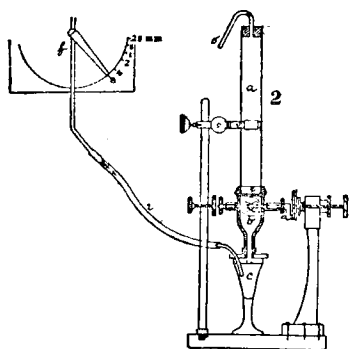
(一)孫氏淘土器法 凡用水之動力以分土粒之器具，皆稱為淘土器 (Elutriator) 孫氏之淘土器，為一彎曲玻璃長管，(如第十一圖) 流水由管之一端送入，在此管內之土壤，因土粒大小輕重不同，其輕細者，因水之時時攪動，隨時分離，由管之他端送出，水流有一定之速度，故土粒得依其輕重大小先後分出也。此法有缺點三：(a) 土壤由管之一端放入常有堵塞之虞，(b) 水之速度因攪動關係，結果不免參差不齊，(c) 土粒有時成團結不易分離。由此以觀，當分析時，必土粒無團結之弊乃可，欲達此項目的，大都在分析前加以長時間之振盪或煮沸。

(二)希路吉氏淘土器法 此法係由改良孫氏之淘土器得來，其原理相同，適用於土粒直徑在 $\text{O} \cdot \text{O}$ 一公厘以上者。法將業經煮沸之供試土，由器之下部隨水沖入，上面配置一旋轉迅速之攪拌器，使通入圓筒內之土粒，不至團結成塊，難於分離，攪拌器之上有一片銅紗，以防止圓筒內之土粒因攪動而影响上層土液。

如是土粒之大小，因水流之速度，依次分離，此法較



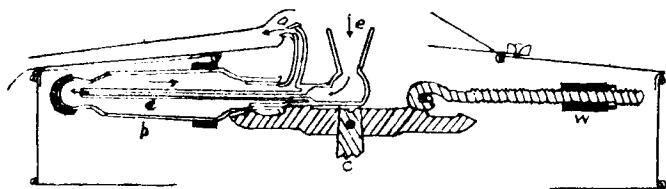
第十一圖
孫氏淘土器



第十二圖 希路吉 Hilgard 淘汰器

為精確，為他器之所不及，但土粒小於 0.01 公厘者，當先用靜置法使之分離，方能適用。又此法用水甚多，而事後必須蒸發，乃能分別定量，時間上頗不經濟，且此器價值甚昂，有此二因，故普通採用者少。

(三) 郁德離心淘土器法 以前所述各方法，因細土粒浮游水中，欲其沉澱分離，需時甚長，往往數日方能完畢，郁德氏之淘土器，乃利用離心力，是促短時間之一種改善器具也。第十三圖離心器之上為一仰臥



第十三圖 郁德 (Yoder) 離心淘汰器 b 分離瓶 e 瓶口 a 輸送管 o 出口 c 離心機 w 平衡重

之瓶，供試土經煮沸後，倒入瓶口，被激盪之水挾土粒經過瓶底，再返回瓶頸附近之出口。

土粒分出之大小，受流水之速度而左右之。此器之缺點有三：(a) 只能用於土粒直徑在 0.03 公厘下者，(b) 頗為複雜而易於損壞，(c) 用水甚多，因需蒸發乾燥而後始可稱定各類土粒之量，故時間上頗不經濟，與希路吉氏者同。

(四)奧士本玻杯法 此法行用甚久，頗精確而簡便，將供試土預先加氫氧化銨液少許，使土粒不致團結，而浮游水中，傾入玻杯，或適當之深玻璃筒，土粒即因其輕重不同，先後沉下，大者重者首先沉下，中者次之，故得依次分別析出。其輕細之土粒，更以此法反覆行之，亦得分為若干類，直至一滴之水，在顯微鏡下視之，無細微粉粒為止，然後將析出各類之土粒分別蒸發，計算其百分率，此其大概也。但此法費時亦不遜以上各法，此其缺點也。

(五)隘德堡改頁細土筒法 此法與奧士本法相似，惟所用器具係屬特製圓筒，筒內沉澱物不用傾注法，而用吸出法取出（如第十四圖）。全器為一圓筒，高二五公分，劃分為5, 10, 15, 20公分度，每度之間更細分之，以便粘土之分析，筒中沉澱得依高度按時分出。筒之底外附有一小枝管與五公分之度齊高，殆沉澱完竣，即由此孔依次吸出。此器高二五公分者，只用于土粒直徑在 $\text{O} \cdot \text{二}$ 公厘以下者，若分析較粗之土壤，當改用高筒。分析時預將供試土二十公分置於小皿中，加水少許，以便攪成糊狀，再洗入筒中，攪拌不已，務使土粒之團結一處者盡行分離，再加氫氧化銨液少許，使土粒漸次依序下沉，此法一如奧士本法，分析各類土粒，得隨意而定

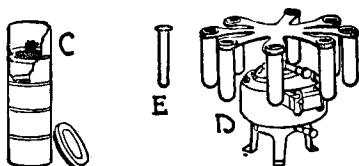
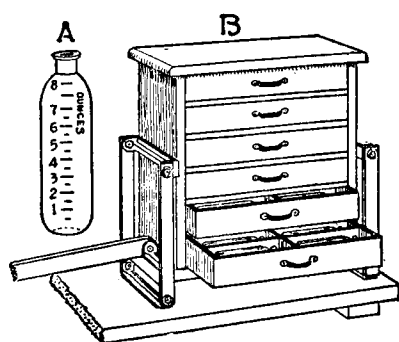


第十四圖

隘德堡 (Attreberg)
 壇土淘土筒，依沉
 法分離各種土
 粒

也。

(六)美國土壤局法 離心力方法,以美國農部土壤局調查土壤所用者為佳。法將十公分細碎之土壤,置入振盪瓶(瓶之容量約二百五十立方公分),加水約一百立方公分,并數滴氫氧化銨液(以為分解有機質及便於分散土粒之用)。然後置入振盪器,搖盪約八至二十小時,直至土粒完全分離乃止。其中粘土與細土由砂中分離時,用澄清法分之,直至一滴之水,在顯微



第十五圖 美國土壤調查所採用之土粒分析機。A 搖盪瓶 B 搖盪箱 C 篩 D 離心機 E 盛液管
鏡下視之,毫無浮游之粘土細土粒為止。而由砂粒析出之細土與粘土盛於玻璃管中,再用離心力方法使之分離,旋轉之速度約每分鐘八百乃至一千次。砂類之粗細,再用篩分別等級,如是而完全功成矣。此法較他法優者 (a) 時間較省, (b) 方法簡單易於學習, (c) 用水不多,故不需長時間之蒸發, (d) 細微粉粒可得精確計量, (e) 器具價值不甚昂,便于採用。

(七)吸管法 (Pipette method) 此法初由英之筮便臣 (Robinson), 美之葛那 (Gardner), 德之 Krausas 等, 各自研究而成立者, 其方法手續雖非完全相同, 而大致不差。試舉筮便臣氏法為例而言之, 法將土用水浸散, 必要

時加入氧化劑，如過氧化氫水以氧化腐有機質，加淡氫氯酸以溶解石灰質，復用氧氫化銨液以助土之擴散，並須搖盪至土粒完全浸散後，用篩隔去2至0.2公厘之粗砂粒。傾入一千立方公分之刻度筒，充水至一千立方公分塞好，搖一二分鐘，使全部粒子勻散，靜置四分四十八秒鐘，用二十立方公分之吸管，插入液中，至十公分深為度，即吸取土液，置於磁鍋，蒸乾之，復烘去有餘之水分而稱之。斯為細土與粘土之混合量。復將刻度筒內之液如前搖勻，靜置八小時，又用二十立方公分之吸管，插入液中，至現在水平面下之十公分深度，取出土液，置於磁鍋蒸乾，烘去水分而稱之，是為粘土重量。由上細土與粘土之混合量而減去粘土重，即得細土之重。其餘留存於刻度筒底之砂，可傾過0.02公厘之篩而洗淨之，即為細砂成分，烘乾而稱之，求其量。此法係依據前章所述之隘德堡氏土粒分類標準法而分土粒組，手續頗簡，漸普遍引用，成為國際臨時法矣。

第三節 土粒之重要理化性

(一) 土粒物理性概說 土粒既依其粗細而分為若干類，則每類必有其特別理化性質，土壤係由各類土粒組成，則每類之多寡當可影響其性質，若吾人稔習之，則每種土壤一經物理的分析，即可臆斷其土性土宜，茲分粘土細土砂礫三種土粒而約畧言之。

(1) 粘土 (Clay) 粘土體積甚小，須用數百以至數千倍之顯微鏡始能窺測者。粘土亦為礦物之粉碎部分，外形常有稜角斷口之表徵，性粘重，若經搓研，可塑任

何物體之型,阻止水分之滲透。若經乾燥,則體積大為縮減,而吸收多量之熱。若再遇水則漸次放出所吸之熱。此種粘質粉粒極小,在水中常浮游不定,而有布里安運動 (Brownian Movement),雖數日亦不沉下。粘土更細者為一種膠體物質 (Colloids),具有特別性質,能吸巨量之水分及溶解於水之鹽類,粘性最大,其影響於土性不淺。

(2) 埴土 (Silt) 埴土與粘土之性略同,惟較弱而已,二者之存在,均足使土壤異常粘重,防碍水分與空氣之流通,遇濕則粘如膠漆,遇乾則硬如鐵石,膨脹與收縮均大,吸收水分之力亦著。

(3) 砂與礫 砂礫均因其體積而各屬一類,二者形狀或圓或方,頗不一致,體積既大,粘著力自小,保水力大都薄弱,空氣易於流通,土壤含有多量砂礫則甚疏鬆,而有常患乾旱之弊也。

(二) 土粒類與礦物質之關係 土粒之粗細既不一致,則其礦物質的成分顯有區別。例如原生土,因各礦物質感受風化力有難易之分,其結果必石英殘留最多,而為砂礫之主要物質。此外如長石,輝石,角閃石,等分解較易,各種風化作用反覆侵襲,必成極細粉粒而為粘土,埴土之主要物質。下表²示幾種不同成因之土壤,觀其組成,可知由於風化作用之影響不少。

2, Lyon, and Buckman—The Nature and Properties of Soils, p. 76

表 (10) 各種砂土及埴土所含礦物量比較

土 壤	供試土數目	除石英外所含各物礦質	
		砂 土	埴 土
原 生 土	12	15%	21%
冰山土及風積土	6	12%	15%
海 洋 土	4	5%	8%
乾 燥 區 土	3	37%	42%

由此可見埴土不論其成因如何,除石英外,所含礦物質均比砂土多。此種表示,乃證明細密之土壤,較粗鬆者富於養分,而生產力常較優越也。惟砂土中砂質雖占大部分,亦附着各項他種礦物質。換言之,即無論何種構成土壤礦物質,在一般土壤中,均有存在,不過量之多寡不同耳。

土壤之成因不同,所含石英顯有多寡之別,海洋土最多,風積與冰山土次之,原生土又次之,乾燥區域之土壤最少。換言之,即海洋土含養分最少,而乾燥區域之土最富,因海濱之地養分之洗去甚多,而乾燥地方不易有所流失也。

(三)各土粒類之化學成分研究 大部分之長石,輝石,角閃石,殘留於細密土壤,已如前述,而重要之養分,大都存在於此等礦石之內,今將研究砂粘土與埴土等土粒之化學成分表示³於後:

3 Lyon, and Buckman—The Nature and Properties of Soils, p, 78;

表 (11) 各類土粒之磷鉀鈣成分比較

土 壤		結晶巖 原生土	石灰巖 原生土	海洋土	風積及 冰山土	乾燥區土
分析數目		3	3	7	10	2
P ₂ O ₅ %	砂	0.07	0.28	0.03	0.15	0.19
	埴土	0.22	0.23	0.10	0.23	0.24
	粘土	0.70	0.37	0.34	0.86	0.45
K ₂ O %	砂	1.60	1.46	0.37	1.72	3.05
	埴土	2.37	1.83	1.33	2.30	4.14
	粘土	2.36	2.62	1.62	3.07	5.06
CaO %	砂	0.50	12.26	0.07	1.28	4.09
	埴土	0.82	10.96	0.19	1.30	9.22
	粘土	0.94	9.92	0.55	2.69	8.03

由此以觀，凡細微之土粒，除原生土外，不問成因何如，均較粗大者富於磷，鉀，鈣等養分。乾燥地方之土壤，其砂與粘土埴土等所含養分相差較小。茲更就何氏 (A. D. Hall) 研究每類土粒平均所含成分列下：⁴

4 Lyon, and Buckman—The Nature and Properties of Soils, p, 79
or Hall and Russel—Soil Survey and Soil analysis, Jour.
Agric, Soci, Vol. IV, Part 2, p, 199, 1911.

表(12) 各類土粒化學成分表

土粒名稱 及直徑	粗 砂 1—.2 (公厘)	細 砂 .2—.04 (公厘)	植 土 .04—.01 (公厘)	微細土 .01—.002 (公厘)	粘 土 .002 公厘以下
SiO ₂	93.9	94.0	89.4	74.2	53.2
Al ₂ O ₃	1.6	2.0	5.1	13.2	21.5
Fe ₂ O ₃	1.2	1.2	1.5	5.1	13.2
CaO	0.4	0.5	0.8	1.6	1.6
MgO	0.5	0.1	0.3	0.3	1.0
K ₂ O	0.8	1.5	2.3	4.2	4.9
P ₂ O ₅	0.05	0.1	0.1	0.2	0.4

(四)物理分析之效用 土壤經物理的分析後固可知其質地之精粗,而化學與物理性質亦得觀其梗概。但對於土壤有相當經驗者,一望而知其土之為輕鬆或粘重,其水分空氣之易否流通,養分之是否充足。可以推定,然究不如分析之可靠,此物理分析之效用也。

第五章 中國土壤畧說

中國土壤，自民十九年金陵大學邀請美國土壤專家蕭查理氏(C. F. Shaw)教授，開始研究華中土壤。同時作者等于廣東省舉辦廣東土壤調查，分縣詳細研究，先注重于農林上之應用。在華中之調查，開始經年，隨移交于北平地質調查所設立土壤研究室以繼續之，聞初步計擬，欲將全國土壤屬之分布探討，以便從事于較詳細之體用研求，誠屬目前急需，經潘德頓(Pendleton)及梭布(J. Thorp)諸先生之努力現已將中國之中北南三部土屬大致發表如下。

第一節 蕭氏之中國土壤研究

蕭氏之研究結果，就其調查所及，類別為下列九區域。

(一)紅土區域 此區域位于中國南部，地勢起伏不平，山巒峻峭，陡壁斜坡，到處皆是，洗刷侵蝕，極其猛烈。山陵之間，豁谷狹小，但亦有寬大者。其谷底地平坦。每年雨量五十至六十英寸以上，夏季炎熱潮濕，冬季寒冷，霜雪不多，土現特殊紅色，及一種凝結之膠質粘土，顯塊狀之組織，擾動之後，破裂成無定之方形碎塊。其未經劇烈洗刷之處，則土層非常深厚。底土層有現一致之深紅色者，有顯紅黃或灰色條紋之網狀模樣者。其由石灰巖風化者，色常深紅，土體極一致而直至

1 參看 蕭查理“中國土壤”實業部地質調查所土壤專報
第一號 民國二十年

母岩之面。但由花岡岩風化者，底土常顯駁雜之紅黃及灰色斑點，且多石塊參雜其內。土壤大都肥沃，天然森林極易長成，如無砍伐之摧殘，生長極快。林木以松竹杉爲最多。至谷底地之土色，自褐灰以至深灰土，質較多細緻，幾全利用以種植，備受人事之擾攘，已變其原來性狀不鮮。

(二) 磐層土區域 此區域位于紅土區域之北，淮河流域之南，有許多叢山峻嶺，但于底土有一種極堅硬之磐層土，而爲此區域之特點。每年雨量自三十五至五十英寸。土色紅褐，底土粘質，排水每不佳，地面冲刷亦常劇烈。土體表土層呈有粒團狀，下層則愈下而愈見堅韌粘結，並每見有大小形狀鐵質凝結物，或紅黃白褐等色斑點，無石灰性鹵性及鹼性之存在，並有呈酸性反應。森林甚缺乏。谷底之土，多由附近高地冲刷運積而來之物質，性多粘重，排水欠佳，然利用已甚普遍矣。

(三) 淮河流域土壤 淮河流域土壤，在磐層土區域之北，靠近淮河，爲山坡與谷底地，及淮河冲積之平地，土質多屬細砂壤或砂質壤，排水多屬良好，色褐以至淡褐，底土則較粘重，多利用以植五穀棉花。倘能調節水利，改善交通，則利用大可改進。

(四) 褐土區域 本區域佔有魯省之高地與山嶺坡地，及河北省之小部份。每年雨量自二十至二十五英寸，夏季潮濕而冬季乾燥。土壤成褐色，大半皆無石灰性反應。區域內有極崎嶇之石山峻嶺，土層洗刷殆盡，有極廣大之脚坡梯田及谷底地，是皆由高處洗刷而下者。土壤雖夾雜不純，但主要情形，是表土由褐至

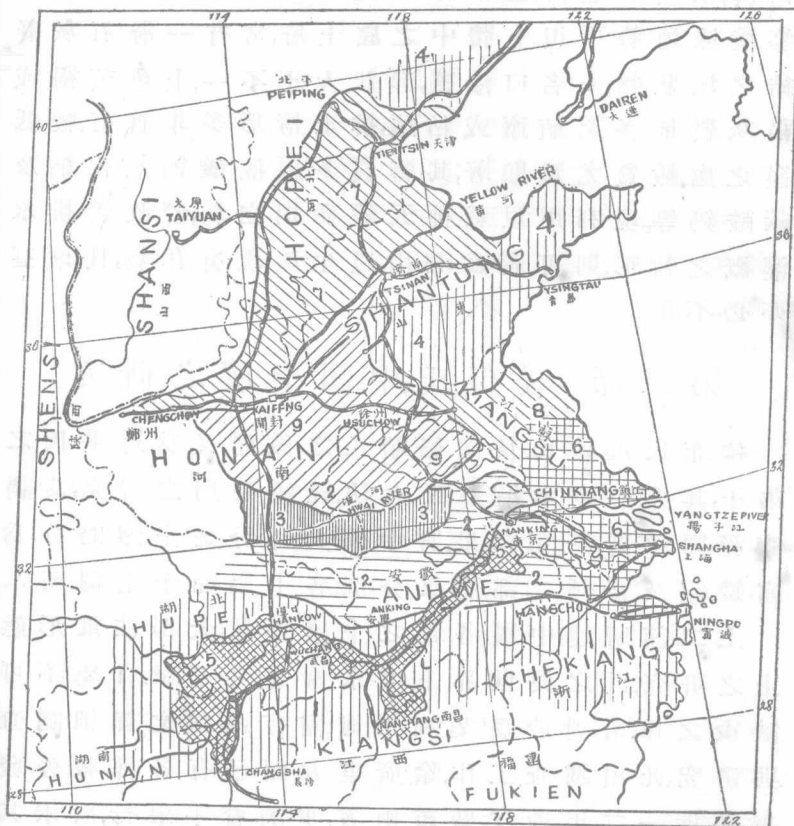
淡褐顏色，底土紅褐至黃褐色，無石灰質之凝結塊狀物，底土常較粘重，顯然有粘土向下移動現象，及甚烈之風化情形。高山峻嶺森林極形缺乏，而坡脚梯田多已利用極普通作物，如麥粟及果等。

(五)中部長江受溢平原 此平原包含平坦之水溢平地，及其附近較高而不常受水災之梯田，其範圍如附圖(第十六圖)所表示。其表土底土均現紅褐顏色，但用作水稻種植，有時轉成灰褐或褐灰色，全境幾無鹽質及鹼質之積聚，質地多屬植質壤土，當洪水暴發，霖雨施威之時，易成水災，土之生產力極強，多利用以種稻麥豆屬。

(六)長江下游冲積區域 本區域西接上述之受溢平原，自南京而至海濱，包括錢塘江及杭州灣等之冲積。地勢幾盡屬平坦，土色自褐灰以至深灰，質地多屬植質粘壤，底土尤粘密，色自灰以至深灰，夾雜有褐黃藍白諸色斑點，土之反應自酸性以至弱鹼性，濱海一帶則顯有鹼性。排水情形大致不佳，土質大都肥美，利用以植五穀棉桑。濱海之地，晚近漸設法改良利用。

(七)北方平原之冲積土 此為中國北部廣大冲積平原之土壤，其境界如圖(第十六圖)所示。地勢自微斜而至平坦，排水情形大致不佳。土壤多屬冲積而間雜有風積物，土體含有石灰質，在平坦之處，有顯著之鹵性，土色大都由褐至灰褐或黑灰，質地多屬粘重，故改良利用，以排水為重要問題，現多利用以種植棉麥梁粟等。

(八)黃河舊道淤積土壤 此區域在一八五二年以前，為黃河經流之處，地勢平坦，近海一帶，鹵質極重，排



第十六圖 蕭氏之中國土壤圖

- | | | |
|------------|-----------|------------|
| 1 紅土區域 | 2 盤層土區域 | 3 淮河流域土壤 |
| 4 褐土區域 | 5 中部揚子受溢 | 6 揚子下游冲積區域 |
| 7 北方平原之冲積土 | 8 黄河舊道淤積土 | 9 中部平原之沙蓋土 |

水不賈，此土或帶有石灰性質，因黃河其他冲積均然。至長江冲積，則少石灰性而多中和性，種植以水稻為主要作物。但此境域則以小麥玉蜀黍為主。

(九) 中部平原之沙蓋土 此平原起自長江以北山境，向北直達黃河及魯省諸山，西伸至平漢路西之

山脚，東幾至運河，包括豫東皖北蘇之西，北魯之西南等境域，地勢平坦。土體中之底土層，常有一層石灰凝結之塊狀物，土名曰沙蓋，形狀大小不一，土色黃褐或褐灰。質地多屬埴壤或粘壤，排水情形多非良好，較低窪之處，鹼質尤為顯著，其鹽質多屬硫酸鈉氯化鈉及碳酸鈣等。現利用以栽種五穀麥棉之屬，若改善排水灌溉之情形，則可廣為利用，以生產現有作物，且增益亦必不鮮。

第二節 梭布氏中國土壤之研究

梭布氏承蕭氏及潘德頓氏之後，而又為馬畢氏之弟子，其分類多本馬畢氏之法，經較長期之研究，其調查範圍較廣，研究結果，將中國大部分之土壤略分為富鐵鋁及富鈣二部，而又分別各土屬如十七圖所示。

上二節所述中國各部之土壤性狀，大都注重形態上之研究，以之與世界土壤求關連之系統，自屬不可缺少之作，第對於農業利用，尚需有系統之詳細調查與研究。此項調查工作，除廣東方面已有各種報告發表外，近一二年浙江廣西兩省，亦漸着手舉行，欲求其詳，可參閱該數省之調查報告。為求畧為明瞭各地土壤之重要理化性質，茲選擇各處發表之成績而轉錄之，以供參攷。

第三節 東三省之土壤

東三省境內，河流交錯，如遼河松花江黑龍江嫩江*等，幾流貫全境，故其土壤，除一部外，大都為沖積土。東

* 唐啓宇——中國之土壤——科學第十三卷第六期

北部爲林地,降雨量約二十四吋,其中百分之八十降於四月至九月間,因多雨及多低溫,能阻止碳酸鈣之聚蓄,其被溶解之鐵與鋁及鹽基類等,均被沖洗,但有時鹽基類亦能沉澱而成咖啡色或褐色之土層在瓊瑋尤爲易見,在大興安嶺及小興安嶺均被以深厚之森林,而將日光遮蔽,故溫度甚低,森林之遺木殘屑不能腐爛。東三省之南部爲遼河平原,概爲沖積土與黃土或二者之混合物而成。黃土 (Loess) 常由戈壁沙漠吹送砂塵而成,此種土壤,含有豐富之碳酸石灰及其他之鹽基類,地味多豐沃。茲將東三省土壤化學分析及其吸收力之成績表示於後。(據奉天全省農業試驗場報告第一冊¹⁾)

表 (13) 東三省土壤化驗成績表 (甲)

成分	奉天	鐵嶺	開原	八寶屯	通江子	老虎頭	高立屯	遼	陽
	壤土	壤土	礫質壤土	壤土	植質壤土	壤土	壤土	壤土	砂質壤土
水分	3.03	3.27	24.5	2.09	1.68	4.25	2.20	2.99	1.90
熱灼消失物	4.33	4.18	3.75	2.24	2.40	5.67	2.98	4.65	2.49
腐植質	2.44	2.37	2.05	2.11	1.72	3.55	2.23	3.61	1.54
不溶解殘物	57.73	68.29	64.47	87.69 ×	74.68	65.06	84.30 ×	69.38	84.23 ×
鹽酸可溶碳酸	0.50	0.28	0.48	0.22	0.24	0.33	0.17	0.41	0.34
碳酸鈉可溶碳酸	20.25	2.58	18.19		11.50	10.30		10.38	
碳酸合計	20.75	11.86	18.63		11.74	10.63		10.79	

1 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 255-269

Al ₂ O ₃	3.65	4.07	2.57	0.48	2.11		0.41	3.55	2.43
Fe ₂ O ₃	6.35	4.60	3.70	5.58	4.03		6.78	3.55	4.20
Mn ₂ O ₄									
CaO	1.19	0.86	0.90	0.59	1.24	3.43	1.06	1.39	1.15
MgO	1.50	1.28	0.83	0.86	0.80	1.08	0.85	1.47	1.47
K ₂ O	0.58	0.66	0.38	0.29	0.33	0.56	0.40	0.53	0.52
Na ₂ O	0.58	0.74	0.57	0.18	0.26	0.15	0.15	0.80	0.75
P ₂ O ₅	0.70	0.65	0.63	0.16	0.47	0.52	0.34	0.70	0.32
SO ₃	0.80	0.83	0.32	0.26	0.61	0.29	0.04	0.42	0.30
Cl	0.008	0.156	0.026	0.006	0.016	0.003	0.010	0.041	—
P ₂ O ₅ 吸收係數	574	—	829	64	497	273	778	319	395
氮素吸收係數	414	276	264	208	220	380	253	196	220

備考 { 吸收係數乃一百公分吸收量(千分之一公分計)不溶物中印×者未剔除溶解碳酸鈉之矽酸量

表(14) 東三省土壤化驗成績表(乙)²

成 分	蓋平	蓋平	營 口	溝 邦	長 春	吉 林	哈 爾 濱	新 民 府
	壤土	青 石 坩 質 壤土	關 牛 家 屯 壤土	子 坩 質 壤土				
水 分	2.73	3.37	2.98	2.92	(?)	(?)	(?)	5.18
熱灼之際消 失量	2.14	4.00	3.44	2.42	4.15	4.67	6.28	3.45

2 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 255—269

腐植質	2.19	2.23	2.40	2.26	—	—	—	1.79
不溶解殘物	67.67	79.91 ×	74.44 ×	83.2 ×	83.51 ×	74.81 ×	74.81 ×	71.31
溶解於鹽酸之矽酸	0.67	0.30	0.13	0.25	0.15	0.15	0.18	
溶解於碳酸鈉矽酸	15.41	—	7.67	—	—	—	—	7.12
矽酸合計	16.08	—	7.80	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	2.30	2.53	2.30	1.33	0.82	0.19	3.30	0.33
Fe ₂ O ₃	5.28	7.24	3.95	5.40	4.10	7.45	7.50	7.12
Mn ₂ O ₄								
CaO	0.40	0.56	0.58	0.83	0.34	0.45	0.52	2.24
Mg O	0.81	1.02	1.15	0.87	1.15	0.99	0.60	1.20
K ₂ O	0.48	0.57	—	0.16	0.12	0.11	0.08	0.58
Na ₂ O	0.21	0.13	—	0.08	0.24	0.26	0.30	0.41
P ₂ O ₅	0.32	0.31	0.59	0.77	0.43	0.41	0.40	0.046
SO ₃	0.37	0.20	1.63	0.05	0.011	0.004	0.016	0.15
Cl	0.023	0.023	0.024	0.011	—	—	—	—

吸收力試驗成績(一百公分土壤吸收量以十分之一公分計)

磷酸吸收係數	829	752	242	752				648
氮素吸收係數	300	366	311	311				345

備考 { 不溶解物中印 × 者未剔除碳酸鈉能溶解之矽酸。

依上成績，東三省土壤，概含腐植質量不多，但富於石灰磷酸及鉀成分。吸收力亦不弱。徵之植物栽培試驗之成績，亦足見富於有效性之肥料素。茲揭奉天全省農業試驗場對於甜菜黃豆及高粱三要素試驗成績概要以証之。³

表(15) 奉天土壤三要素試驗成績表

試驗別	收 量			同 上			對於三要素 一百之比
	甜 菜	黃 豆	高 粱	甜 菜	黃 豆	高 粱	
三 要 素	5.839公分	870公分	2.026公分	100	100	100	
無 氮	5.710	507	1.505	98	58	74	
無 磷	4.65	733	1.919	80	84	95	
無 鉀	5.582	496	1.759	96	57	87	
無 肥 料	4.084	480	1.468	70	55	72	

備考 甜菜之收量，指其根塊，其他表示全收量。

從上表所示，對於甜菜及高粱本土壤之有效三要素含量頗為豐饒，地味可稱豐沃，獨對於黃豆鉀之有效量比較的小。

東三省之土性，依據南滿鐵道農事試驗場編纂之南滿洲調查報告，東省之土壤特性如下：

(1) 農耕地之土質過半多為植質沖積層土壤，殆由全部同種土性所成者也。壤土砂土多見於河岸及山麓之地，礫質土除河岸及山麓一小部分外，如遼東半島之傾斜地與安奉縣之一部最為發達。

³ 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 255-269

(2) 可溶性鹽類概於春季乾燥發見爲多,所謂加地斑, (俗名鹹地) 各地露出純爲鹼性土壤,除營口白旗方面之海岸外,即南滿沿線亦占有廣大之面積。

(3) 鹼性鹽類營口及白旗地方大部分由氯化物而成,湯崗子及其他各地則由硫酸鹽而成之者。

(4) 土壤之反應常見呈有微鹼性或呈酸性。

(5) 農耕地既過半由埴土所成,因而土性偏于重粘,及富有凝聚力與附着力,而耕作困難。

(6) 一般土壤之孔度甚低,故空氣流通不良。

(7) 鹼性土壤含鈉量甚多,因土壤膠質之關係,毛細管上引力遲緩,水分吸收上昇時間甚長。

(8) 容水量大時,富吸收濕力,且養分吸收力亦大。

(9) 概缺乏有機質。

(10) 氮素含量少。

(11) 氫氯酸不溶解物質及不溶解礦物質豐富。

(12) 石灰含有量多。

(13) 鎂鈉之含量大概亦多。

(14) 磷酸概豐富。

(15) 鉀質各地皆富有之,其程度常如普通作物耕地已施有鉀肥者。

由上觀之,東三省之土壤物理性質大概良好,植物之營養料亦豐富,沃壤之區也。

第四節 蒙古新疆之土壤

中國之西北部爲大戈壁沙漠,雨量稀少,濕度較低,夏酷熱而冬奇冷,生物稀少,間亦有草類及豆科植物

之生長，其植物之根部甚為發達，而其葉為纖毛狀，蓋所以減少蒸發也。在外蒙極東與極西之中間，有一廣大帶，為褐色之土壤，而大戈壁沙漠實橫貫其中間，褐色土壤在新疆之中部亦有之，在此種土壤之區域內，多為乾燥之氣候雨量鮮有過於八英寸者，其生長之植物惟雜草而已，僅在夏季呈綠色，而在他季則乾枯，此種土壤所含之碳酸物多近於表面。

據片山學士由東部蒙古之中央地方採集有二十二種之土壤，舉其分析成績如下。⁵

表 (16) 東部內蒙古中央部土壤化驗成績 (甲)

採集地名	地種	土性	土色	氮素 %	鹽基度 Co ₃ %	等級
孟家屯	山地	壤土	褐	0.11	1.93	四
大老嶺	山地	埴土	濃褐	0.13	1.94	四
朝陽	平野	埴質壤土	淡褐	0.14	2.18	三
太平房赤波維間	山地	埴土	濃褐	0.11	1.85	四
馬力城子子 石頭橋間	平地	壤土	淡褐	0.11	3.95	四
石頭橋附近	平地	壤土	濃褐	0.11	3.02	五
新居附近	山地	埴土	濃褐	0.09	1.92	五
赤峯附近	平地	壤土	淡褐	0.13	2.51	二
赤峯近郊	灌溉地	壤土	淡褐	0.15	3.25	一
赤峯下橋頭間	土地	壤土	淡褐	0.11	2.42	三

⁵ 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 255—269

白仁華附近		砂質壤土	淡褐	0.11	3.24	五
烏丹城附近	域地	砂質壤土	灰白色	0.19	3.75	六
烏丹城附近	耕地	砂質壤土	淡褐	0.12	2.89	五
敖漢王府近郊	沙漠	砂土	褐色	0.02	—	八
敖漢王府近郊	沖積地	壤土	淡褐	0.10	—	二
蒙古錦近郊	—	埴質壤土	濃褐	0.09	—	四
清河邊門附近	—	壤土	淡褐	0.11	—	三
義州近郊	—	壤土	淡褐	0.09	—	二

按上列成積,大半呈鹼性反應,而氮素之含量不多,蓋風積壤土概常缺乏腐植質故也,茲再就上列數種土壤中舉其石灰與鎂及碳酸含量,并水之可溶解成分列表如下。‘

表(17)東部內蒙古中部土壤化驗成績表(乙)

成分	石頭橋平地	赤峯近郊	赤峯下橋頭間等熟地	烏丹城附近		蒙古錦間沙漠近接地
				域地	耕地	
CaO	3.84%	1.37%	1.68%	2.82%	1.72%	0.31%
MgO	0.96	0.79	0.89	1.78	0.82	0.41
Co ₃	2.27	1.44	1.82	2.89	1.76	0.29
水可溶	K ₂ O	—	0.04	—	0.09	0.03
	Na ₂ O	—	0.31	—	2.79	0.09

6 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 255—269

解成分	SO ₃	—	0.15	—	3.78	0.02	—
	Cl	—	0.10	—	0.25	0.01	—

依上表所示，無論何土，均富於碳酸鈣及碳酸鎂，而水可溶解之物質中，以鈉及硫酸為最多，故該鹼土內之鹽類，當主由硫酸鈉而成，容易析出為製造氫氧化鈉之原料。

又難波學士調查東部內蒙古，採集東北部地方土壤，節錄其分析成績如下。⁷

表(18)東部內蒙古東北部土壤化驗成績表

成 分	興隆鎮	張家店	達呼城	六 家 子		姜家店	三軒房	水泉兒	
	耕土	耕土	(?)	原野(甲)	原野(乙)	原野	原野	未耕地	
水分(氣乾土%分)	4.234	2.319	5.888	3.425	0.979	3.136	0.761	3.307	
全 氮 素	0.151	0.074	0.077	0.120	0.029	0.119	0.058	0.242	
水可溶解之成分	總 量	2.42	1.63	0.458	1.263	0.566	1.507	.464	.320
	礦量物質總	.14	.143	.424	1.077	.485	1.244	0.433	0.163
	SO ₃	0.036	0.047	0.069	0.089	0.076	0.078	0.040	0.056
	K ₂ O	0.024	0.031	0.117	0.060	0.027	0.083	0.043	0.28
	Na ₂ O	0.049	0.060	0.040	0.490	0.175	0.551	0.108	0.070
	Cl	0.005	0.006	0.003	0.217	0.044	0.152	0.006	0.005
鹽 基 度	2.61	0.102	7.99	16.57	13.13	19.10	14.11	16.77	

依上之成績，其土均呈鹼性反應，其鹽類大部分為

7 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 257—259

氯化物及硫酸鹽，所謂白鹼土是也。

又尙町田博士採集之喀喇沁部土壤，經該學士之研究，關於水稻陸稻及大麥三要素試驗之成績示之如下。

表(19) 蒙古喀喇沁部土壤三要素試驗成績表

試驗別	(全收穫量之比例三要素區作爲一百)			
	陸稻	水稻	同上平均	大麥
三要素	100	100	100	100
無氮素	81	52	67	33
無磷	99	83	91	46
無鉀	93	101	97	100
無肥料	65	43	54	32

依上述成績，本土壤之水稻陸稻，對於磷酸及鉀之有效量頗爲豐富氮素亦足見中庸，惟對於大麥氮素及磷酸之供給量比之水陸稻表示爲不及耳。

第五節 長城與黃河流域之土壤

中國之北部及西北部多爲黃土 (Loess)，此種土壤發源于河套，而分爲兩支。一支延入甘肅而成爲寧夏山地之肥沃風化黃壤，再東延而成陝西西部之隆脊，高至四千呎，再經河南之北部而成爲黃土平原，再至山東之西部，甘肅陝西之南部，河南之中部，江蘇之北部而止。第二支延入熱河察哈爾河北數省。黃土之來源，其說紛紛，莫衷一是。普通皆以發生於中央亞細亞

之乾燥高原風吹淤積而成。近來安特生博士 (Dr. J. B. Anderson) 倡一理論，謂此種黃土乃經種種風力與河流作用而成。又據著者彭家元關於北平鹼土研究，于該地土壤亦得同樣結論。此種土壤之厚度，由數呎以至數千呎不等，靠近河邊者，其深淺之差異較在高陸者為甚，其表土為黃色或淺黃色，底土普通皆為黃色，此因各地情形之不同，故土色亦有差異也。其表土為石灰質的細塵土，或粘質壤土，疎鬆而粘韌，其底土有甚多之碳酸鈣。此種土壤區域之溫度，由夏季之攝氏二十六度，至冬季之攝氏零下八度。每年之雨量，由二十至三十英寸不等，雨期多在夏季，夏雨滂沱，土壤受其侵蝕而下傾，而夏季之大雨及耕作之頻繁，乃使表土之易於細碎也。

黃土多呈鹼性反應，而於察哈爾綏遠熱河等處為尤甚。石灰質含量豐富，為黃土之特徵，所謂鹼性土殆屬不少，且氣候大都乾燥。據日本町田博士報告研究喀喇沁部黃土之成分如下。⁸

表 (20) 喀喇沁部黃土成分

水	分	5.0%	碳酸鈉	2.3%		
碳	酸	鈣	14.0	三氧化二鐵	8.0	
碳	酸	鎂	0.5	細	砂	62.2

又據科學雜誌第九冊第十號雜俎內載⁹ 黃河流域之黃土西自甘肅東至山西其化學成分殆約畧相

8 參看大工原銀太郎土壤學講義 pp. 255—269

9 參看科學第九 第十期 pp. 1294—1295

同云,茲轉錄如次:

表 (21) 黃河流域黃土成分

	甘 肅 靜 甯	山 西 太 原
SiO ₂	59.20%	61.23%
Al ₂ O ₃	11.44	11.36
TiO ₂	0.61	0.73
Fe ₂ O ₃	1.54	1.09
P ₂ O ₅	.20	.18
SO ₃	.21	.22
CaCO ₃	14.94	13.43
MgCO ₃	4.58	3.97
H ₂ O	0.92	.55
Na ₂ O	1.82	1.66
K ₂ O	2.18	2.08

以上係高原黃土成分,其中石灰含量甚豐,達百分之十四,而鉀與磷之成分亦甚豐富,確係沃土。至于平原大都曾受多少河流作用,其容易溶解之成分較低云,茲將著者彭家元研究北平附近土壤化驗成績列下:¹⁰

10 參看彭家元——研究北京附近鹼土之撮要——科學第十卷第十五期

表 (22) 北平附近土壤化驗成績

	表 土	底 土
水分及燃燒損失量	8.80%	7.59%
SiO ₂	63.62	64.63
Al ₂ O ₃	7.96	8.10
Fe ₂ O ₃	7.01	8.00
CaO	7.36	7.26
SO ₂	.031	.17
K ₂ O	1.97	1.50
Na ₂ O	1.07	.40
N	.156	.142

第六節 淮河平原土壤

淮河平原區域，北以黃河爲界，南以揚子江爲界，西南以秦嶺山脈爲界，此區域之地勢頗爲平坦，淮河平原土壤，除海州爲黃河淤積之細碎黃土及塵土與江蘇運河東岸爲新漲地之外，則皆生成甚早。其雨量由二十五吋至五十五吋，降雨多在夏季，由地面流去之水分，常多於滲入地中之水分，而土中溶解性養料流失甚多，然以農民勤墾之故，每年取運河之沃泥，置於田中，故能保持土壤之黑色，其底土爲紅色，乃由粘重分子之存在，或爲黃色，乃由細砂之沉澱也。此區域之土壤，乃居於旱農境之黃土與濕潤境沖積土壤之間，

富於石灰質,地下水高,鹼土所在多有。

第七節 冲積平原土

中國重要之冲積土有三區。第一區爲山東東北部之黃河口附近,在汶河及沂河流域,其土壤爲泥砂及其他沉澱物淤積而成,缺少有機質,而富於石灰及鎂化合物與鉀化合物。此區土壤中之碳酸物與硫酸物均較其他冲積土所含者爲多。第二區爲揚子江三角洲;位於南京以東,杭州以北,淮水以南,揚子江沉澱有多量之泥砂。此區土壤較第一區者優於排水而不疏鬆,但極肥沃,故農業極爲發達。其表土之顏色常灰黑,底土爲砂土層及粘土層相間而成。但在此區域內,旁山之地多花崗巖石灰巖原生土及黃土(Loess),雖在浙江杭州亦不免於黃土混合物也。茲節錄浙江省勞農學院對於該土壤研究分析結果示之如次:

表(23) 浙江土壤化學成績表

水分	灼熱損 失量	腐植質	全氮素	鹽酸不 溶物	鹽酸中 可溶 酸	碳酸中 可溶 碳酸	碳酸鈉 可溶 碳酸	磷酸 合計	三氧化 二鋁
1.112	1.948	1.685	0.351	91.64	0.164	9.293	9.457	1.592	
Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄	Ca O	Mg O	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₃	Cl	
3.34	0.40	0.652	0.319	0.381	0.323	0.296	0.148	0.025	

上述之土,經機械分析,依下列之規定,分成各種土粒組:

土 粒 徑	名 稱	原 土 風 乾 %
四 公 厘 以 上	石 礫 分	0.00
四 公 厘 以 下	細 土 分	100.00

表 (24) 細 土 分 機 械 分 析 成 分 表

4—3公厘	3—2公厘	2—1公厘	1—0.5公厘	0.5—0.25 公厘
0	.066	.042	.063	.078
0.25—1 公厘	0.1—0.05 公厘	0.05—0.01 公厘	0.01 公厘以下	
0.107	2.524	76.267	20.853	

按以上機械分析之結果，此種土壤，殆全屬細微成分，而粒徑0.05公厘以下者，竟達97%也。

中國內地沖積土壤頗為豐沃，雖從來散見於諸種之調查報告，而化學的成分與地方試驗之成績發表報告者甚少，茲揭數者表示于後：

表 (25) 農工商部農事試驗場，沙市及杭州
土壤化驗成績表

成 分	農工商部 農事試驗場		沙 市		杭 州	
	表土	心土	表土	心土	表土	心土
	砂質 壤土	埴土	埴土	埴土	揚子江沖積土	
水 分	5.66	5.02	4.19	4.14	2.17	1.06
熱 灼 損 失 量	19.22	7.28	10.80	9.96	3.39	2.08
腐 植 質	7.64	1.66	—	—	—	—
全 氮 素	0.56	0.30	0.37	0.34	0.15	0.05

不溶解殘物	—	—	61.25	61.73	80.23	82.79
溶解於矽鹼酸	0.46	0.29	0.04	0.04	0.03	0.08
溶解於矽碳酸	7.44	8.55	10.65	9.80	7.80	6.55
矽酸合計	7.90	8.84	10.69	9.84	7.83	6.63
Al ₂ O ₃	5.78	7.52	5.14	4.74	1.71	1.16
Fe ₂ O ₃	4.34	5.41	6.30	8.58	2.09	2.50
Mn ₂ O ₄	—	—	0.14	0.19	0.37	0.45
CaO	0.89	0.74	2.54	2.85	0.36	1.09
MgO	0.31	0.30	1.83	1.54	0.36	0.33
K ₂ O	0.25	0.30	0.28	0.39	0.08	0.13
Na ₂ O	0.10	0.16	0.30	0.17	0.11	0.09
P ₂ O ₅	0.23	0.09	0.48	0.49	0.36	0.21
SO ₃	0.03	0.04	0.69	0.01	0.04	0.01

上述農工商部農事試驗場之表土，其吸收力試驗成績如下：

磷酸吸收係數	2038.53	氮素吸收係數	721.36	上列係數為一百公分土吸收之千分之一公分數
--------	---------	--------	--------	----------------------

備考 農工商部農事試驗場土壤分析成績，根據該場第一期報告，沙市及杭州土壤係元地質調查所土性課之分析，前者示氣乾土，後者係乾燥土百分中之含量。

日本大工原銀太郎云，依分析成績，中國沖積地土壤，概含量豐富，吸收力亦位於高度，其沃度遠非日本

冲積地土壤所能及云。

茲錄農工商部農事試驗場施行水稻三要素試驗之成績如下：

表 (26) 農工商部農事試驗場水稻三要素試驗成績

試 驗 別	一 畝 當 收 量			糙米收量對 於三要素區 百分比
	糙米(升)	糠(升)	稿及根(斤)	
三 要 素	268.4	134.04	402	100
無 氮	249.4	124.12	440	93
無 磷	254.2	127.02	448	95
無 鉀	255.2	127.1	331	95
無 肥 料	183	91.08	286	68

以上成績亦足表示三要素有效量頗豐富也。

第三區爲珠江之三角洲，其表土多屬砂土及粘土混合而成之壤土，而底土常爲堅韌之粘土，排水不甚良好，顏色由灰以至灰黑，土壤頗肥沃。珠江三角洲面積約二萬四千方里，爲中國冲積土區中之最小者，本區位于亞熱帶之中，四時皆花，三冬無雪，田稻再熟，桑蠶六七收。廣州爲此三角洲之頂點，自此以北，則多丘陵岡巒山地，土壤多爲石灰巖，花岡巖，砂巖，紅巖之原生土。今將廣州市東部(內有一部分三角洲土)之土壤圖(第十八圖)及其各土區機械分析與重要化學成分列表於後，并節錄其土性大概以資參攷。¹²

12 鄧植儀等—番禺縣土壤調查報告書

第十八章

廣州市東部土壤圖

依廣東土壤調查所

縮尺 1:50000



附圖所示原屬番禺縣屬之中部地，現為廣州市區之東部，據調查所得，其中土壤可分為五系五土區，(一)曰珠江壤土，(二)曰石牌細砂壤土，(三)曰廣州砂質壤土，(四)曰羅崗砂質壤土，(五)曰鍾村礫質壤土，其特徵大異如下。

(一)珠江壤土 此土區為珠江沖積土，乃廣州三角洲之一部也。色自灰以至灰黑，其底土自砂質壤土以至壤土不等。此沖積層厚度自數公分以至數公尺，而普通約在二公尺內外。沖積層下之原土層顏色紅白相間，似多屬紅巖之定積者。此土區地勢平坦，地下水位多在一二公尺內，天然排水多不良好，然利用得法亦無碍，其結構多屬團粒狀，耕作情形良好，植物養分頗佳。

(二)石牌細砂質土 此土區乃由附近岡嶺沖下物質而構成，稱谷底沖積土，其沖積層厚度鮮有超過一公尺者，沖積層下之原土層，與珠江壤土層下之土相似。此土區之土色自紅至灰黃，大概因墾植年期之久暫，受有機物質量之多寡影響也。地勢亦平坦，但排水較珠江壤土良好，結構亦佳，耕作容易，第植物養分多遜於珠江壤土，其底土屬細砂壤土或壤土不等。

(三)廣州砂質壤土 本土區為紅巖之定積土，色赭紅，其底土之顏色與表土常相似，土面常散布有殘餘碎礫，此土之未墾植者，其表土結構似頗粘寔，第一經墾植，則頗鬆軟而易成團粒，但底土團粒漸少而成塊狀或柱狀，故底土之通透性不及表土。然地多屬岡陵，地面傾斜，故排水良好，但以墾植者少，有機質缺乏，氮磷質量薄弱，鉀質亦中庸耳。其底土間有壤土質。

(四)羅岡砂質壤土 本土區係屬花岡岩定積土，色紅黃，其底土色亦相似。結構良好，耕作容易，惟地勢常有傾斜，甚者則冲刷崩塌之現象發生，又以土屬砂壤，涵養水力有限，故墾闢之始，宜注意地面奔逸之水，至太陽熱烈時，常苦蒸發過盛，水分不足，植物養分氮磷之量微薄，有機質缺乏，鉀量則頗佳，其底土間有礫質，成份頗高。

(五)鍾村礫質壤土 此係變形砂岩定積土，土色黃白或微帶紅，以風化未透徹，礫質量高，而地屬岡嶺，多甚傾斜，耕植匪易，植物養分殊微薄，祇宜造松林或試種茶耳。

茲將以上各土之機械分析成分及重要化學成分列表於後：

表 (27) 各土之機械分析成分表

土區	樣本號 及土層	礫	細礫	粗砂	中砂	細砂	極細 砂	細土	粘土
珠江壤土	3502 表土	1.78	2.13	3.80	6.09	13.55	12.20	45.55	13.25
	3502 亞表土	2.40	2.38	3.80	6.22	13.00	11.50	44.80	15.90
	3502 底土	2.23	2.25	4.30	6.33	14.05	8.58	41.20	21.00
石牌細砂壤土	601 表土	11.30	1.94	3.58	5.98	14.20	25.00	30.80	8.20
	601 亞表土	1.41	3.90	3.70	6.00	15.41	25.20	35.35	9.25
	601 底土	2.10	0.21	3.03	12.20	15.60	16.90	33.20	16.00
廣州砂質壤土	1 表土	7.66	8.06	9.07	12.56	24.19	18.72	12.05	5.17
	1 亞表土	18.08	6.10	6.82	10.51	14.00	20.30	15.10	9.37
	1 底土	15.50	6.07	6.57	6.48	8.9	14.95	25.02	16.46

羅岡砂質壤土	1501 表 土	12.92	9.31	11.45	10.20	10.66	5.95	26.00	13.40
	1501 亞表土	17.88	8.95	9.05	7.14	8.23	6.33	25.40	15.85
	1501 底 土	10.25	12.05	10.12	7.47	7.85	5.82	29.97	16.80
鍾村礫質壤土	202 表 土	11.10	12.75	14.40	12.70	11.85	3.68	20.40	12.01
	202 亞表土	34.00	5.84	12.24	8.96	8.00	1.84	17.80	11.30
	202 底 土	26.95	8.60	11.30	8.70	6.98	1.88	19.00	15.70

按表內所載之表土，係自土面起至深度20公分，亞表土由20至50公分，土底由50至1公尺。

表(28)各土重要化學成分表

土區	樣本號 及土層	全氮%	全磷%	全鉀%	腐有機質 %	每公畝石 灰需要量 %(公斤)
珠江壤土	3502 表 土	.11	.06	1.58	1.20	33.32
	3502 亞表土	.09	.06	1.49	1.02	
	3502 底 土	.09	.04	1.59	1.11	
石牌細砂壤土	601 表 土	.08	.03	.22	.68×	35.00
	601 亞表土	.08	.04	.27	.43×	
	601 底 土	.06	—	.80	.21×	
廣州砂質壤土	1 表 土	.09	.01	.56	.43	78.75
	1 亞表土	.08	.01	.54	.33	
	1 底 土	.08	.01	.55	.13	

羅岡砂質壤土	1501 表土	.06	.04	.93	1.11×	78.75
	1501 亞表土	.03	.02	.92		
	1501 底土	.02	.04	1.14		
鍾村礫質壤土	202 表土	.02	.005	.17	.16×	70.0
	202 亞表土	.02	.005	.25		
	202 底土	.02	.012	.29		

(附註)上表腐有機質欄內之數附有×指有機質量

四川盆地土壤

在四川之東部,有所謂紅盆地者,其土壤乃由紅色灰色之砂岩風化而成,其底層為煤及石灰之沉澱層,此其特性也,紅盆地之夏季溫度,鮮有過於華氏百度者,其地勢平坦,有成都平原,為岷江之沖積平原,附近山中均為紅砂岩,成都附近氣候至佳,李白詩云“水綠天青不見塵,風光和暖勝三秦”,產米,麥,絲,茶,麻,橘,柚,白蠟,竹木,藥材等。¹³

13 參看張其聘——中國地理誌

第六章 土壤之物理性

土壤之物理性，關係於水分空氣之流通，水之保蓄，耕作之難易，極其密切，且與化學及生物之各種變化有連帶影響，其情況優劣如何，係土力肥瘠之一種表徵，茲舉其重要者分別而論列於次。

第一節 土之質地及結構

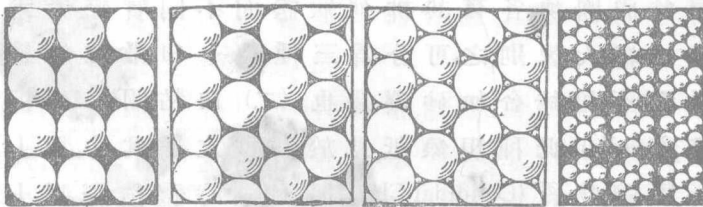
土之質地 (Soil Texture) 係指土之粗幼或粗細而言，換言之，即土粒之大小程度也。例如砂土較壤土為粗，粘土又較壤土為細，此質地之粗細，歷悠久之風化變遷而成，非短時間之人事可以轉移變更也。故粗砂土常見其為粗砂土，雖經千百年之耕作，恐亦難變成壤土或粘土。故曰土之質地不可以驟變也。若夫土之結構 (Soil Structure) 則不然，結構云者，言其土粒之排列狀態也。換言之，即土粒互相結合成團狀粒狀片狀塊狀等，致有鬆實脆硬之別。此種狀態，關係於水氣流通耕作難易極其重要，但人事可得而變易之。例如硬實之土，耕犁得法，可漸變鬆脆，而輕鬆砂土，一經鎮壓，可變較實。又或施用石灰有機物質肥料等，均足以改善其結構。故曰人事足以轉移之。

第二節 土粒之排列

土粒之排列，在土壤中實際難有一致之方式，蓋以土中粒子大小不一，分量不齊，外界影響之情形又至複雜，故大塊之中，夾有小片，大團之內，雜有粒體，又或

塊中有團，片中有粒，凌亂異常，排列殊非單簡。但比較言之，粗砂之土粒子之排列似較一致而有規則者，故研究土粒之排列，求其實際有定之方式，殊非易事也。雖然，實際觀測匪易，而由理想推及事實亦有其道焉。假設土粒均為等大之球狀，其排列方式可有正列與斜列之二法，如(第十九圖之甲乙)倘以一單位容積而

甲 乙 丙 丁



第十九圖 球狀土粒排列式

計算，其實佔之地位，及其間之空隙，則正列者空隙佔百分之47.64，而斜列者有百分之25.95而已。¹此排列法不因球之大小而變更其空隙程度，名曰孔度 (Pore Space) 換言之，即一立方寸之內，容一個一寸徑之球，與容一千個一分徑之球，其間所有孔度相等也。雖然，其孔度相等，但每孔之大小則不同焉。倘球粒乃由較小等徑之球結合而成，如上圖之丁(一團體內含有小團體)其孔度較甲為大，因其每大球之內有孔隙也。照正列法推算，其孔度可增至百分之72.58，若斜列法亦可增至百分之45.17。又如土之球粒子徑不等，如圖丙，土粒有大小，而小者藏於大者之間，則孔度可減少以至於無限量，如建築用之三合土混合其孔度可小至近於零也。尋常一般土壤，如粗砂，其孔度自百分之33至

1 F. H. King—Physics of Agriculture pp. 111—112

35 不等。中砂或幼砂質壤土約自百分之 40 至 45。而粘土則自百分之 45 以至 60 不等。砂礫之土，以結團成塊之排列少，故孔度較低，與理想之推算甚近。至粘密之土，結團成片之排列為較普遍，故其孔度較高，但極少超過百分之 60 以上者。此則與理想之推算稍有出入也。土粒之形狀大小參差不一，土壤當濕潤之時，各粒子因吸力之故，接觸較為密切，至乾則或如砂散，或如粘壤結成團塊，各有其排列狀態而不同。實際考求土壤之結構，大畧別之，可分為三種：(一) 曰散粒結構，土粒散漫不相結合如砂礫是也。(二) 曰粘閉又稱板滯結構 (Puddle)，此種現象祇見於粘重之土，其中粘土粒多屬膠體物質 (Colloidal Clay)，遇濕潤時體積膨脹，土中原有空隙多為閉塞，阻止空氣及水分之流通，妨碍植物根之發達，於植物生長影響甚大。(三) 曰團粒結構 (Granular Structure)，此種結構由細粒之分子粘附於大粒者而成，或由細粒分子自相粘附結成團粒。如此土團滿布田間，則土壤之物理情況可稱美滿。大概此種結構之生成，有賴於下列諸因子：(一) 耕作，(二) 有機質之增加，(三) 動物與植物之關係，(四) 石灰之施用，(五) 凍結及溶融，(六) 濕潤及燥乾，(七) 驟雨，(八) 鹽質等，茲更分別申明之。

(一) 耕作 耕作之有利於農事，人皆知之，蓋以土層經一次之犁耙翻動，土粒排列固有多少改變，而風化及生物作用亦有相當裨益，但耕得其時，效用益著，否則徒勞無功，或不免有害。譬如粘土旱地，當最濕之時耕之，則其結構易成土塊，鬆碎匪易，不利於種植。當最乾時耕之，不特費力多而工作難，且其結構在粘土

則成硬塊，在砂壤等則成散粒，均不其之結構也。是以耕犁宜於土壤水分適中時行之，方得多量團粒狀之結構，而收其好之效果。至水稻之田，常須水淹，土層無多含空氣之必要，係屬特別情形，可於水分飽滿或水淹蓋時犁耜之。

(二)有機質 土壤之富於腐有機質者，其物理性質常佳，蓋腐有機質當乾時其容積較濕時縮小甚多，是以土壤富於此質者，其伸縮性甚大，且常帶有粘性，故影響土壤之結構不鮮。

(三)動物與植物 動物如蚯蚓田鼠之類，在田中穿穴，能使土中空氣流通，雨水浸入，生出種種物理的作用，能使土壤成團粒結構，有益於種植不少。植物根之生長各有不同，有粗大者，有細小者，有長者，有短者，而又深淺不一。粗大者如玉蜀黍，細小者如小麥，長者如苜蓿，短者如小麥。土壤若為硬性，則宜間種長壯根之作物，使土壤膨鬆，性質改良，是以輪栽之法，農家所應採用也。

(四)石灰 試加石灰水於土壤溶液中，漸見細小之土粒凝聚成團而沉墜，與白礬之投入濁水以澄清之作用相同，此種現象名曰沉凝作用 (Flocculation)。石灰加入土壤，此種作用雖較加入溶液中為緩，然可使土中之膠體粘土逐漸結合成團，便於耕作。故粘重之土，排水不其，由於膠體物質阻塞孔隙者，可施用石灰以改良之。

(五)濕潤與乾燥凍結與溶融 試取埴質或粘質土壤若干，加水而透濕之，乾後必有多少裂痕，若再濕而再乾之，其裂痕比前增多，苟反覆行之多次，結果必

生出無數細小裂痕，則原始堅硬固結之土，可變為疏鬆細密之土壤。蓋細小裂痕多，斯細小土粒團亦多，此種現象，實因濕乾一次，土壤即經一次之脹縮，倘脹縮頻仍，即發生團粒之結構也。寒冷地方，土中水分每因溫度高下而凍結而溶融，膨脹收縮，繼續不已，則其結構改變，由堅硬變為疏鬆，易於耕作矣。

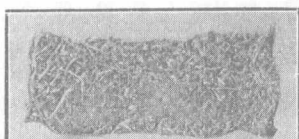
(六)驟雨 暴雨能使土變堅硬，蓋雨滴之力，能使土粒之細小者充滿土壤空隙之處，其結果則土面上層成為散粒結構，當乾時又成一堅硬土殼，不利於植物萌芽，土壤有此結構，水分亦易於蒸發而散失，故驟雨實不利於耕作也。

(七)鹽質 鹽質之關係於農業或為利或為害，其利者如石灰能使粘質之土變為膨鬆，砂質之土成為團結，其害者如碳酸鈉能破壞土壤之團結，使排水不良，不利於作物生長。

上述三種結構係，為便利一般之認識而切于實用者而言，至若詳細研究土壤本體及其切面，則又可分別團粒之各種形式，與土壤體之結構形式。團粒之形，有圓 (Buckshot) 片 (Laminated) 碟 (Plate) 之分，而式有大小之別。最微小者為粉粒 (Fluffy)，次為小粒 (Mealy) 核粒 (Nut)，再次則成小塊 (Crumb) 中塊 (Clodd) 大塊 (Lump) 等。土壤體之結構形式，則可別為龜裂 (Reticulated) 蜂巢 (Honey Comb) 柱狀 (Columnas) 三稜狀 (Prismatic) 殼狀 (Crusted) 方形 (Cubic) 大塊 (Massive) 等，(如第二十圖所示) 而散粒與粒閉或板滯者稱為缺乏結構焉。

上述土壤結構之種種形式，可由肉眼以辨別之，至若土壤之粘結或凝合情形 (Consistence)，則可由手指

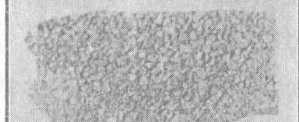
Mulch
鬆覆的



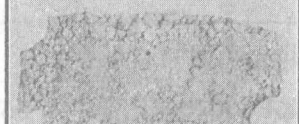
Fragmentary
碎塊



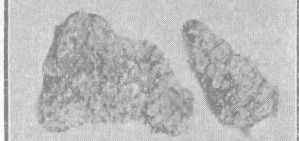
Granular
團粒



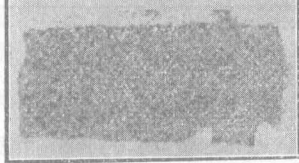
Crumb
小塊



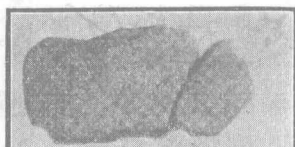
Massive
大塊



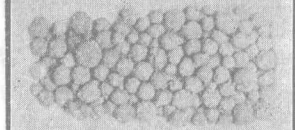
Single Grain
散粒



Ortstein (Cemented)
鐵石 (凝固)



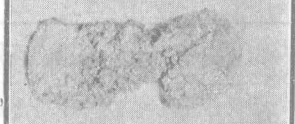
Shot
圓粒



Platy
碟狀



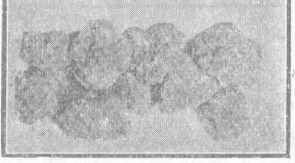
Columnar
柱狀



Prismatic
三稜狀



Nuc
核粒



第二十圖 土壤各種結構圖

之感觸或壓力之施與而分別爲鬆軟,密實,硬脆,碎黏,韌,等不同之程度焉。

第三節 土壤之比重

土壤之比重有二種:(一)曰真比重, (Real or absolute specific Gravity) (二)曰假比重,又曰顯明比重, (Apparent specific Gravity) 亦稱容量重 (Volume Weight),茲分別論之於次。

(一)土壤之真比重 土壤之真比重,乃比較同容積之土與水之重量而得之倍數,其土中空隙,須完全排除之。考土壤之真比重,依所含礦物之種類分量,及有機質含量之多寡而有差別,茲先將土中主要礦物之比重列表于下以資參攷。

表 (29) 土壤構成有關係之各礦物比重表²

礦物名	比 重	礦物名	比 重	礦物名	比 重
石 英	2.65	鈉長石	2.61	鉀長石	2.56
白雲母	2.7—3.0	黑雲母	2.7—3.1	褐鐵礦	3.6—4.0
磁鐵礦	5.0—5.1	赤鐵礦	4.5—5.3	角閃石	2.9—3.4
輝 石	3.2—3.5	白雲石	2.7—3.0	方解石	2.7
石 膏	2.39	(腐植質)	1.2—1.3		

觀上表構成土壤之諸種礦物之比重,其差別雖頗大,然實際上土壤之比重,其差甚小。礦質土壤之比重,概在 2.6—2.8 之間,蓋構成土壤之最普通的礦物爲石

² Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management pp. 175

英與長石，占土壤之大部份也。但土中因有機質多寡其比重當有多少出入；普通土壤，有機質之真比重為1.2—1.7，故富於有機質之土壤，其比重常低。至如泥礫土，幾為純粹有機質土壤，其比重在1.5—2.0之間，腐有機質土壤，其比重在2.1下者亦常見。為利便一般計算用，對於普通耕地之平均比重2.6—2.7可稱適當也。

(二)土壤之假比重 假比重之應用較真比重為廣，乃比較同容積之土與水之重量而得之倍數，其土中空隙及自然結構仍然保全而不破壞。故假比重之數較真比重常小。蓋假比重之檢定，其土粒間之空隙未除，而真比重乃除去粒子間之空隙，使固體粒子實際所佔之重，與同容積水之重量相比也。假比重之大小，視土壤中所有礦物成分之種類而有差，與結構之鬆實成正比例，與有機質之多寡成反比例。通常假比重檢定之法，係用一定容積之取土管，於田間採取土壤，烘乾而求其重量，以同容積水之重量除之即得。考同樣之土壤，在耕種不同狀況之下，由假比重之檢查，足以推知其物理性質之良否，蓋耕作得法，則土之結構疏密鬆實適宜，均可由比重表示也。

查普通礦質土壤之假比重，壤土由1.10—1.20，砂土1.65—1.75，腐有機質土壤往往在1.00以下，泥礫土則由0.4—0.05不等。茲選各種土壤，將其假比重及每方呎重與每英畝呎重列表於後，以資參攷。

表 (30) 各土之假比重及重量比較

土 類	比 重	每立方呎重(磅)	每英畝呎重(磅)
純 砂	1.78	110.0	4800000
粗 砂	1.60	100.0	4356000
中 砂	1.54	93.0	4200000
細 砂	1.48	93.0	4080000
砂 壤	1.30	81.0	3550000
細 砂 壤	1.52	82.0	3590000
埴質壤土	1.24	77.5	3400000
粘質壤土	1.22	76.0	3330000
粘 土	1.12	72.6	3180000

茲又選錄毛士亞等 (Mosier and Gustafson) 研究各種土壤之重量, 并比較其各土層之重, 表示如後(每英畝面積計)。

表 (31) 各種土之各土層重量比較³

土 層 厚 度	砂 土	泥 礫 土	粘土, 粘質壤土, 壤土, 埴質壤土, 砂質壤土
表 土 $6\frac{2}{3}$ 吋	二百五十萬磅	一百萬磅	二百萬磅
亞表土 $13\frac{1}{3}$ 吋	五百萬磅	二百萬磅	四百萬磅
底 土 20 吋	七百五十萬磅	三百萬磅	六百萬磅

觀上兩表, 可知土質愈細, 則重量愈輕, 每立方尺之

3 Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management p. 120

粘土，有六十至九十磅重者，砂土則自九十磅至一百十磅。又土層愈深，而重量愈增加，大概因鬆實之不同也。土壤有輕重 (Light or Heavy) 之稱者，其意非指土其重量而言，土壤之稱輕者為砂土，以其土粒大而易於自由散開也，重者為粘土，以其粘結力大而難耕作也。

第四節 土壤之孔度 (Porosity of Soils)

土壤孔度者，土中孔隙佔有其容積程度也，恒以百分率表示之。凡一團之土，其中必有空餘之地，如粒大，則隙孔亦大，土粒小，則隙孔亦小，土粒愈小，則隙孔愈多。何則？蓋細微之土，彼此之接觸面愈多，故粘土比砂土為多也。至若以水加入粘土中，則孔隙之數減少，因粘土之膠質遇水膨脹變滑，而接觸處互相連接也。

土壤中孔隙之多寡，與有機質耕作方法及土壤之結構大有關係，有機質愈多則孔隙愈多，耕作得法則土壤起團粒的結構，因此土中孔隙大為增加，反之則減少。已耕之地，每畝容積半為空竅。土中孔隙之多寡，不獨有關係於農事，即其大小亦有關係；蓋大則水易通流，而不能上升，小則反是，茲將計算土壤孔度方程式列下。

$$\text{土壤孔度 \%} = 100 - \left\{ \frac{\text{假比重}}{\text{真比重}} \times \frac{100}{T} \right\}$$

各種土壤孔度高低不同，茲選一般土壤之曾經檢定者表列如下，以供參攷：

表 (32) 各土孔度比較

砂	土	32.49%	壤	土	34.49%			
粘	質	壤	土	壤	質	粘	土	45.32%
粘	土	48.00%	極	細	粘	土	52.94%	
粗	砂	40.00%	中	砂	41.80%			
細	砂	44.20%	砂	質	壤	土	51.00%	

土壤中空隙,平常為水分與空氣所佔據,若水分少則空氣充塞之,水分多則空氣減少。故空隙之多寡,與水分空氣之含量及通流,暨植物根部之伸長,細菌之繁殖等,均有莫大之關係也。

第五節 土粒之數目

一定容積或一定重量之土,其中粒子多寡,固因乎土質之粗細,亦視乎結構之方式;設以細微土粒而論,其直徑為 .0016 厘,假使其土粒盡屬球狀,而排列為正列式,則每方英寸之內,有 15,625,000 兆土粒。但此種算法,實際不統準確,因土粒不是球狀,而排列甚複雜也。雖然,不是絕對準確,但亦可得其大概數目焉。在實際計算土粒數目可依據機械分析之結果,按土粒類直徑之限度,取其平均直徑,假定其粒仍屬球狀,依下方程式求之。

$$\text{土粒數目} = \frac{\text{土之重量(公分)}}{\frac{1}{6}\pi D^3 \times 2.70}$$

(說明)上方程式中之 $\frac{1}{6}\pi D^3$ 乃求球狀粒之體積公式,其 D 為直徑,以公分計算,而 2.7 則為真比重數,或大

或小,可依檢定得之,此不過舉例耳。

依上式計算法,茲舉各土粒類及砂壤土各一克,而求其粒數,列表比較之。

表(33)各項土粒及砂壤每公分粒數比較⁴

土粒類	直徑限度 (公厘)	每公分土 粒之數	砂壤土機 械分析%	砂壤土一公分 之土粒約數
細礫	2—1	209	1	2
粗砂	1—.5	1670	4	67
中砂	.5—.25	13410	25	3352
細砂	.25—.1	131900	35	46165
極細砂	.1—.05	1676500	20	335300
細土	.05—.005	35934000	10	3593400

砂質壤土	5483797920	細砂質壤土	5485069147
壤 土	7332679042	埴質壤土	6868546664
砂質粘土	12324914033	粘質壤土	11877875092
粘 土	19177571994		

第六節 土壤粒子之表面積

(Surface area of Soil Particles)

在一定容積或重量之內，土壤粒子之多少，與其表面積之總數成正比例，故土粒數愈高，則其總面積愈大也。土粒表面積之大小，與農事上極有關係，以面積若大，則土中水分亦多，蓋土粒多則土質必細故也。水分既多，土粒又細，則溶液之效率亦增，溶液效率增，則礦質養料溶解必多，而植物易得以滋養也。茲將求此面積之方程式列下：

$$\text{土粒面積} = \pi D^2 \times \text{土粒總數}$$

照上式推算，大概砂質壤土，每立方英尺重90磅，約有土粒面積60.390方呎，等於1.39英畝。若粘土則每立方呎重75磅，有土粒面積154.275方呎，約等於3.54英畝。其面積之大，可想見矣。但此等計算難稱準確，蓋以土粒總數未得正確也。

第七節 土粒之有效平均直徑

(Effective mean diameter of soil Particles)

上節所求之土粒數目與土粒面積，均以平均土粒之直徑難以檢定，故所得兩項結果，未能準確。美國土

壤專家傾氏有鑒於此，因創立一理想的名詞，表示土粒的直徑，而與土粒之排列及空氣水分之流通均有連帶關係者，此名詞曰土粒之有效平均直徑。其意蓋以吾人實際既不能得準確之土粒平均直徑，而土粒之直徑與其排列均影響於水及空氣之流通。假設有土於此，檢查其空氣或水分之流通速率，倘此土之土粒為球狀，其直徑應大若干，排列成同樣大之孔，使空氣與水分流通之率相等，則此球粒之直徑，即可作為該土之有效平均直徑也。傾氏之法，乃根據司列打氏 (Slichter) 研究毛細管液流之方法學說變化得來，所得結果，有其特別意義。蓋以其直徑求得後，即可推知空氣與水分之流速，而土粒數目及土粒面積由是推得者，其與植物之關係似較有意義，因其與水及空氣之流通有密切關係也。茲選錄傾氏研究各種土壤之有效直徑及其有效面積表示於下。

表 (35) 各種土之有效直徑及有效面積⁶

土 別	土粒有效直徑	孔 度	一立方英尺土之有效面積
粗 砂 土	.1432公厘	34.9%	8318方呎
砂 質 土	.0755	34.4	15870
砂質壤土	.0303	38.8	36880
壤 土	.0219	44.1	46510
壤質粘土	.0140	45.3	71316
細 粘 土	.0086	48.0	110500
極細粘土	.0049	52.9	173700

6 Lyon, Fippin and Buckman—Soils, Their Properties and management
p. 125

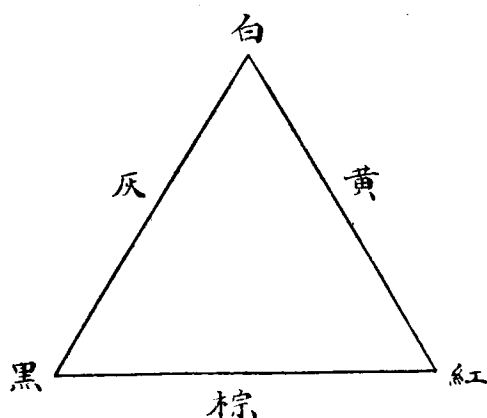
第八節 土壤之色澤及氣味

色澤係區別土壤物理性質要件之一，蓋以其關係於土壤之構成及其成分不少也。關於土色最要之物質，莫若有機物與鐵質之二種。其由於有機質者，呈黑色；而有機質之未完全分解者，大都使土壤呈褐色，完全分解者類多黑色。土中若富有石灰質者，其黑色較為濃厚；若排水良好，缺乏石灰質者，大都呈灰黑色，惟在酸性土中，有機質受酸之漂白作用，故其土色未若石灰土色之濃厚。在酸性土地方，往往於石灰岩附近土色較黑者，即由於此。在乾旱之地，土中石灰質含量常豐富，但有機質少，故土色較淺。

鐵質受氧化之程度不一，其於土壤之色亦不一致，不含水之氧化第二鐵 (Fe_2O_3)，使土壤現赤紅色；含水之氧化第二鐵如 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)，使土壤着黃褐色；但呈紅黃色或黃色者亦有之。有時土中因有機質或其他關係而起還原作用時，氧化第二鐵變為第一鐵，使土壤現藍色或灰斑各色，此於排水不良之酸性土及底土或泥礫土常見之。若氧化鐵受劇烈還原作用後，每呈灰褐色。酸性土中倘遇有一層粘重土壤隔絕水之排洩時，氧化鐵還原之作用特盛，底土之色往往變白。

土壤之本體，因組成不一，色澤亦有不同。石英砂多量時，使土壤現灰白色，雲母多時，有閃光之狀。我國東南沿海之地，花岡岩多，而花岡岩中有含雲母特多者，待岩石風化崩壞而成土壤，雲母抵抗力較強，常有閃灼燦爛之雲母斷片存在。其中土壤因耕或水之侵蝕沖刷有機質漸被消耗，土壤多為濃黃色或黃色。

以上所論之有機質，氧化鐵石英等三物質其色原屬黑紅白，一經混合，遂成種種色澤，可用三角圖解表示之，（如第二十一圖）。



第二十一圖 土色解示

土壤之氣味
普通土壤均具有一種特別微臭，由於有機質中含有少量之芳香族物質，大約不過百萬分之一云。

第九節 土壤粒子之形狀

土粒之形狀頗複雜，由生成之不同，形狀亦異。例如火山灰土，其粒子形狀參差不一，風積之土則稍為整齊。前者富於長形或板狀之粒子，後者大都為丸形之粒子。至一般定積土之粒有稜角之存在，而運積土之粒子其稜角常被磨去。茲將各種土壤粒子形狀繪圖如次，以資比較。（如第二十二圖）

第十節 土壤之成形性 (Plasticity)

土壤受濕之時，有一種膠粘性，使其本體能塑成各種模型，至乾而不變者，此種性質曰成形性。土質細者此性強，土質粗者此性弱，至純砂則無此性矣。土壤當

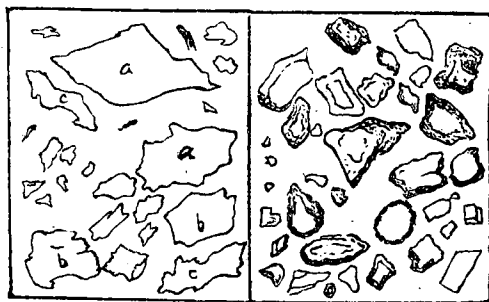
第二十二圖 各種土粒形狀

1

2

a 長石
b 雲母
c 石英

片麻岩分解後土粒形狀

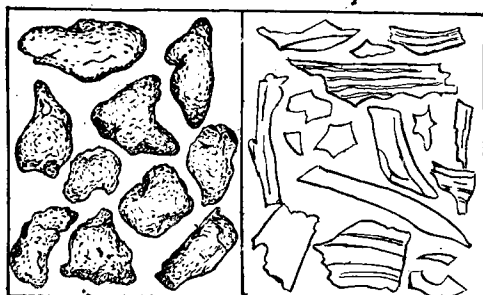


中國黃土粒放大形狀

3

4

海岸之石英砂



火山灰在顯微鏡下形狀

濕時則漲大，乾時則縮小，誠以此性之存在也。據舒比雷氏 (Schubler) 之研究，粘土濕透然後乾之，其縮小之度較原來之容積減小百分之 18.3。砂質土則縮小不過百分之六。而腐有機質縮小至百分之二十。是以土壤由濕至乾時縮小程度各有差異，而細質之土其縮小程度較粗者為多。土壤縮小極不利於作物之根，以其能斷其根故也。且土壤縮小，必有裂罅，有裂罅，則水分蒸發增多，亦不利於植物也。考成形性之發生原因頗為複雜。學說紛紜，綜合言之，可有下列數種。

(一)關於粘土粒之結構者，其中有下列之四種主張：

- (1) 粒子之精粗 (2) 片狀結構 (3) 土粒之聯扣
(4) 海棉狀結構
 (二) 含水矽酸鋁之存在
 (三) 土粒間之吸收力
 (四) 膠體物質之存在

上述各學說,就中以膠體物質為最切合事理,蓋以膠體物質之存在,於濕度適宜時,其中土粒運動流利,同時發生相當力量以維持本體,庶不致於乾時或壓力脫離時易於分崩解體也。由是言之,則膠體物質愈富,其成形性愈強也。

第七章 土壤之水

第一節 水之性質及其功用

無水分則植物不能生長。植物體內含有百分之六十至九十的水分。此不過其需用水分之一小部份而已。其大部分用於葉面之蒸發。在二十四小時內，多數植物之葉面蒸發量與其體重相等。此外土壤中各種物理的與化學的變化，無不以水之多寡為重要關鍵。

水之物理的性質 水之容積，隨溫度高低而有變易；在攝氏 4 度或華氏 39.2 度時，其密度達於最高點。溫度低降或超過此點，其容積漸見膨脹。在攝氏 15 度華氏 50 度時，與零度之水比較，其密度為 0.990。在冰點時水之密度為 0.99988。若成為冰，則其密度為 0.928。冰塊溶化時，吸收多量之熱，但其溫度並不增高。其吸收之熱，係用於改變水之體態，由固體而為液體。溶化冰塊，所需之熱，較之金屬尤多，一公分之冰，需八十個單位 (calories) 之熱方溶化，至于金屬不過僅需五至七十七熱單位而已。

水之蒸發，其現象亦相似，水在沸點時溫度無變化，而熱力之消耗在使水分變蒸氣而已。考液體之水，在同一溫度變成蒸氣，每公分水需熱五三七單位，由是觀之，冰化為水，水化成氣，均需吸用多量之熱，故由高溫降為低溫時，水蒸氣變為液體，或由液體變為固體，均發出同量之熱力也。

比熱 (Specific Heat) 一定質量之物，每增高一度，

所需之熱，與同質量的水所需熱量之比，稱為該物質之比熱。水之比熱較任何物質為高，其比熱定為一，作為標準。比熱低的物質，其溫度的變化較速，而高者較遲。

稠黏性 (Viscosity) 水之稠黏性，隨溫度高低與溶液內所含物質成分而有差異。假設在攝氏零度時為100，而50度時則為31。又某種物質溶解於水時則稠黏性增加，某種物質則減少。

水之用途 凡綠色植物含有多量之水分，已如前述。水由根部上昇，達於葉面，蒸發散失，川流不息，造成有機物質，計每一磅乾物質需水三百至五百磅，或五百磅以上不等。故土中必含有充分之水量，乃能供植物之需求，不然，則生長不茂，或秀而不實，或枯萎以死。茲將水分之用途列舉如次：

(一)直接為植物養料，或用作肌體之組織。

(二)土中養分賴水溶解，然後供給植物之吸收，整地細碎，能使植物生長增進之原因即基於此。

(三)營養料由根部以達植物體各器官，皆賴水運輸之功。

(四)調節溫度之變遷，或其他物理現象之驟變。

(五)輔助土壤中化學變化，或生物作用發生之變化。

第二節 植物需要水量

植物生長，賴水以製造食料，遇熱則蒸發水分以維持適宜之溫度，而資發育，用水多寡，各因其本性與環境之狀況而有不同，世界各國學者均有研究，其著者如羅氏及基路勃(Lawes and Gilbert)之在英國，耶路里高

氏及烏路尼氏(Helireigel and Wollny)之在德國,傾氏(King)之在美國,其成績畧見於第一章,茲詳述之,並再列其研究各植物每單位乾物質重需要水量(倍數)於次:

表(36) 各植物需要水量比較

羅氏及基路勃氏		耶路里高氏		烏路尼氏		傾氏	
豆類	214	蠶豆	262	玉蜀黍	233	玉蜀黍	271
小麥	225	春小麥	359	粟	416	馬鈴薯	385
青豆	235	青豆	292	青豆	446	青豆	477
紫赤雲英	249	紫赤雲英	330	油菜	912	紫赤雲英	577
大麥	262	大麥	310	大麥	772	大麥	474
		燕麥	402	燕麥	665	燕麥	504
		蕎麥	371	蕎麥	646		
		羽扁豆 Lupine	373	芥子	843		
		春黑麥	377	向日葵	490		
平均	237	平均	342	平均	603	平均	446

觀察上表之成績,可見植物需水量之差異甚大,用水最少者,如羅氏所研究之豆類,每鎊乾物祇須二一四鎊水,而需水最多者莫過於烏路尼所研究之油菜,每鎊乾物需九一二鎊,此植物本性之有不同也。但同屬大麥,其差異亦至二三倍,此則環境狀況之關係,如土壤氣候之不同也。攷傾氏之成績,可稱為北溫帶濕潤區域之代表。大概出產一百英斗(Bushel)之玉蜀黍,需要十六英寸之水,即每英斗需要十八噸之水方能

成熟。出產燕麥一百英斗，需十八英寸之水，即每英斗需水二十噸。出產五十英斗之小麥，需 12.7 英寸之水，即每英斗需 28.7 噸之水也。

葉面蒸發與外界之關係 植物之需水量，視葉面蒸發之多寡，而蒸發之多寡，又因下列數端而有不同：

- (一) 溫度增高，則蒸發盛行，下降則反之。
- (二) 風之速度增加，則蒸發大，至於植物自身之搖動，助內部水分之循環，蒸發亦為增加。
- (三) 空氣乾燥，則蒸發盛行。
- (四) 瘠薄之土壤蒸發盛于肥沃之土壤。
- (五) 陽光愈強蒸發愈盛。
- (六) 土中水分愈高則蒸發愈大。

第三節 土壤中水分之供給

(一) 雨水 土壤中水分之供給，除灌溉而外，大部仰給於雨水，茲將世界各地每年雨量之分佈表示於下：

表(37) 世界各地雨量分佈表

每年雨量	地面百分率	每年雨量	地面百分率
10英寸以下	25.0%	10—20英寸	30.0%
20—40英寸	20.0	40—60	11.0
60—80	9.0	80—120	4.0
120—160	0.5	160英寸以上	0.5
合 計 100.0%			

由此可見每年雨量在二十英寸以下者，占世界陸

地面積百分之五十五，而雨量在八十英寸以上者，僅占百分之五。查美國境內降雨量在二十英寸以下者，占全國面積百分之五十以上。我國長城以北，內興安嶺以西之地方，每年雨量概在二十英寸以下，以面積計之，當占全國百分之六十。長城以南，長江以北之區，及東三省，其雨量自二十至四十英寸不等。長江以南，珠江以北之區，雨量自四十至六十寸。而珠江流域則在六十寸以上。雨量在二十寸以下之地方，若無灌溉設備，頗難於耕種，即雨水較多之地，亦有時旱潦，以致收成銳減。每年無論一省一縣，常不免有雨水缺乏之時，有春夏甘雨及時，而秋冬乾旱者，有秋冬多雨水或春夏水淹者。我國黃河流域各省，大都春季亢旱，夏秋又嫌雨水過多，有泛濫生災之虞。長江以南，則春夏多雨，秋冬患旱，而各地之雨水又有逐年參差不一者，求其普遍適合於植物之需求，及時而降者，非常之年也。

(二)土壤 水分之供給，又視土壤之性質而有差異，大凡輕鬆土壤如砂土，或砂質壤土，水分流失頗速，故其可得供給植物之部分較小；降雨多或常加灌溉，方能保持相當的水分。但植物萎枯，有時亦非悉由水分缺少者，結構緻密之土壤，保水力較強，植物得利用之水分亦多，土壤中增加有機質，其保蓄水力，亦隨之而增加。

(三)蒸發之損失 缺乏有機物壤土，其土中水分，常由陽光作用漸次蒸發以去，致植物往往不能生存者，此于乾旱或半旱境地恆見之；倘勤於中耕，使表土有一層細土覆蓋地表，可以減少蒸發，或增加有機質，亦足以改善之。

土壤中水之計算 土壤中之水分可用下列三法計算表示之，(1) 重量百分率，(2) 容積百分率，(3) 單位面積深度法。

(1) 重量百分率 此法有兩種，有以濕潤土壤之重量為標準者，有以風乾土壤為標準者。前者已漸認為不合，因濕潤土壤之重量逐日變遷，即以風乾土為標準，亦受空氣的溫度濕度之變換，不免有多少出入處。故最良方法，莫如烘乾土壤，其法取濕潤土壤置於乾燥箱內用火烘之，達攝氏一百至一百一十度為限。以去其中之吸着水，以此為法定標準，則結果自屬一律。

(2) 容積百分率 土壤中水分，以容積百分率表示者，對於某種土壤，互相比較，輕者如泥礫土，重者如砂土，甚為方便。設泥礫土含水百分之五十，其重不過如壤土之含有百分之二十者，設一立方呎之無水泥礫土重約三十磅，若含 50% 之水，即每立方呎含有十五磅之水，至於壤土每立方呎重七十五磅，含水 20%，其水重量適與泥礫土所含量相等，若以容積百分率計之，則二者均為其容積之百分二四。定容積之百分率，當先求以烘乾土為標準之含水量。

(3) 單位面積深度法 土壤水分之多寡，常因利便計，使與降雨量比較，有用英畝寸與公頃分之二法以表示者。英畝寸即一英畝之面積深一英寸之水量也。欲求得此數，當先求一平方呎之土壤至需要深度所含之水重量，以 5.2 除之（每平方呎一寸深之水量），即得水之英畝寸。計每英畝寸水，約 226,875 磅，即一百一十三噸強也。公頃分者，一萬平方公尺面積有一

公分水深也。計其重量有十萬公斤，約百一十噸。

土壤中水分，受顯著吸引力之不同，可分為三種：(a) 吸着水，(b) 毛細管水，(c) 重力水，此三者化學成分相同，不過所受之力作用不同，在土壤中有多寡及流動之不同而已，茲分述如次：

第四節 吸着水 (Hygroscopic moisture)

凡一物體，均有吸收水分之力，故其表面常凝聚有水分之薄膜一層。此種現象，稱為附着(Adsorption)，其力甚強，約等10000氣壓，除加熱外，此種水分不易與物體分離，若熱後降至常溫，即恢復其濕潤狀態。在石英砂面之吸着水，經布力氏 (Briggs)¹ 計算，厚約0.0000266公厘。考土壤中之吸着水量，依 (a) 土質，(b) 膠質，(c) 溫度，(d) 有機質，(e) 濕度等之不同而有差異，茲據希路吉氏之研究成績，² 列表於下。

表 (38) 土壤吸着水量比較

土 壤	粘土量	最少水分	最多水分	平均水分
砂 土	5%以下	0.79%	4.18%	2.59%
砂質壤土	5—10	1.84	6.12	3.39
壤 土	10—15	2.30	9.18	5.19
粘質壤土	15—20	5.06	10.26	6.49
粘 土	20以上	4.20	18.60	10.83

1 參看 Briggs, L.J.—Journal of Physical chemistry, voliq, 1905 PP. 617—641

2 參看 Hilgard, E. W.—Report of California station, 1892—34 PP. 70

(a) 土粒之大小 吸着水之多寡，與土粒之大小成反比，而與土壤內間之面積（即土粒表面積）成正比。土中膠體物質，係由極微粒子而成，少許之存在，即足增無數土粒之面積，故水分亦因以增加。砂質土壤較壤土及粘土為粗，此其所以僅含少量之吸着水也。上表所列之吸着水量，係在攝氏十五度時，將供試土露於飽含水分之空氣中，經若干時後，再於攝氏二百度烘乾，求得二者相差之數。此等結果，表示土粒粗細之關係，即土壤內間之面積影響吸着水之多寡也。

(b) 膠質 土中膠體物質，有強之吸水力，故其存在與否，對於土中吸着水大有影響，無論何種土壤，均含有多少之膠體物質，而尤以粘土為著，此種膠體物質，或為腐有機質，或為氧化第二鐵，或為矽酸，或為含水矽酸鋁等。

(c) 溫度 溫度之高低，亦足影響吸着水量，若超過平常溫度，吸着水之一部分被蒸騰而發散，溫度下降，水分得再凝集，但空中濕氣達于飽和狀態時，吸着水隨溫度上昇而增加。據希路吉氏之試驗，攝氏十五度時，砂土由飽和水分之空氣中吸 2% 之水分，溫度上昇至三十四度時，則吸收 4%，又稍粘重之土壤在攝氏十五度時吸收 7%，三十四度時吸收 9% 云。

(d) 有機質 有機質吸收水分力強，而以膠質態的腐有機質為最，凡土壤均含有少量之膠體有機質，吸着水常與有機質之多寡為正比焉。

(e) 吸濕係數之檢定 土壤吸濕係數，乃在一定溫度之下，曝露土壤於飽和水分之空氣中經過一定時間，其吸收水分之量是也。

土壤之最高吸濕度，即吸濕係數 (Hygroscopic Coefficient) 其檢定依布力氏 (Briggs) 方法在攝氏二十四度或華氏七十五度，曝露土壤于飽和水分之空氣中，直至土壤之吸收力達最高限不能再增加重量為止，然後置于攝氏百度之熱爐烘乾之，而定其所吸水分之量，前後重量之相差，即該種土之吸濕係數。又希路吉氏用 200 度高溫烘乾土壤，此法使土壤約達絕對無水分之程度。微之實際 105 度至 110 之間已可盡驅其水分，若至 200 度，有機質有被分解之虞。

吸濕係數，又可間接用某種恆數檢定之，此種恆數，對於吸濕係數，有一定相互之關係，其公式如下：

$$\text{吸濕係數} = \text{萎謝係數 (Wilting Coefficient)} \times 0.68$$

$$\text{吸濕係數} = \text{水分當數 (Moisture equivalent)} \times 0.37$$

$$\text{吸濕係數} = (\text{水分保蓄量} - 21) \times 0.234$$

$$\text{吸濕係數} = 0.007 (\text{砂}) + 0.082 (\text{埴土}) + 0.39 (\text{粘土} + \text{有機質})$$

(附註)萎謝係數等名詞解釋詳下章

吸着水之效用 往昔以為植物可以利用多少之吸着水，其後經許多之研究証明其不可能；當植物不能由土中吸取水分時，細致土中仍存有極幾微之薄毛細管水膜，而植物已呈萎謝狀態矣。植物萎謝時，土壤中之水分，曾經布力及申氏 (Briggs and Shuntz) 之檢定，茲表示其結果如下表³

3 參看 Mosier and Gustafson Soil physics and Management PP. 194--198

表 (39) 吸濕係數與萎謝係數之關係

	吸濕係數	萎謝係數	毛細管水存量
粗砂	0.5%	0.9%	0.4%
細砂	1.5	2.6	1.1
砂質壤土	3.5	4.8	1.3
細砂壤土	6.5	9.7	3.2
壤土	7.8	10.3	2.5
粘土	11.4	16.3	4.9

由上成績觀之,可見土壤萎謝係數常大於吸濕係數,兩者相較,則知植物萎謝時,土中除吸着水外,尙有少許之毛細管水,卽至植物枯死時,其中水分亦較吸着水爲多也。

又考希路吉氏列舉吸着水之效用如次:(a)凡吸濕高之土壤,能由濕潤空氣中吸收較多之濕氣,當旱魃爲虐之際,於植物之生長殊爲有利,但不能使植物保持其正當之發育,有如沙漠中植物之狀態。(b)高濕度吸收作用,足以妨止表土受急劇熱力之變化,而保護植物之生存。

第八章 土壤之水 (續前)

第一節 毛細管水

(Capillary Water)

土壤中最重要最有用之水分莫如毛細管水,其與吸着水之區別,在平常溫度可以蒸發,能於土粒間彼此傳達,故水分可由底土而達於表土。考毛細管水上昇高度,依溫度及管之直徑大小而不同,茲舉各毛細玻璃管內水所達之高度爲例如下而比較之。

表 (40) 毛細玻璃管徑與水上昇度比較

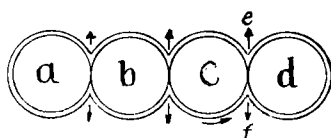
管 之 直 徑	水 昇 高 度
1.00公厘	15,336公厘
0.10	153,360
0.01	1,533,600

由此可見水上昇高度,與管之直徑大小成反比,每小十分之一直徑,水升高十倍。土壤內重力水之流動,與毛細管水之流動約畧相同。考土中水分上昇之量,又依地下水與表土距離成比例,即地下水位愈深,水分上昇愈少也。此與水分由許多各種不同之毛細管上昇現象相同,其中解釋頗爲簡單,但下列各項乃其關鍵。

(一)表面張力 (Surface Tension) 水之表面,因各分子之牽引,具有均衡之勢,形成如緊張之薄膜以與空

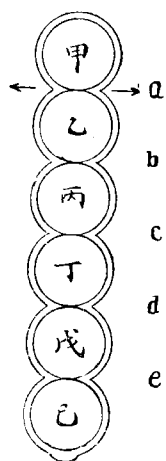
氣抵抗。若此係一平的薄膜，則任何方均無壓力；若薄膜呈凹狀，則張力循弧線之中央方向發生壓力，其壓力大小，與弧線半徑成比例。此種壓力等於張力的二倍被弧之半徑除得之數，弧線愈凹，則半徑愈小，而壓力亦愈大。

土粒若與水接觸時，可有兩種形式，(1)水分在土粒周圍成一薄膜，(2)在土粒與土粒接觸處成一極銳腰部，(如第二十三圖)。壓力之方向循弧形之中央而與弧之半徑成反比例，土粒周圍水分之壓力常向內，土粒間之水分壓力常向外。



第二十三圖 表示土粒間及其周圍之毛細管水

在腰部之壓力，常較周圍之壓力大，因有較大之曲度，較小之半徑也。若土粒互相接觸，則周圍水分薄膜亦必連接而呈一種平衡狀態，倘土粒一部分之水移去，如在 d 處移去其水分，則全部之平衡變動，水分將再移動以趨于原有之平衡狀態。前圖水分之在 d 處既較 a 處為薄，則水分將由 a 移于 d。倘加水于 a，則原來之平衡亦消失，而土粒間之弧線曲度各有不同，則水分亦將由 a 以總於 d，致於平衡而後已。



第二十四圖 表示土粒周圍理想的一層水膜成垂直柱狀

(二)土柱內之水分 (Moisture in Soil Columns) 設如(第二十四圖)，土粒排列成一柱狀時，在土粒(甲)之水分薄膜，被單一之引力吸着，在(乙)被土粒(乙)與腰部 a 之兩種引力吸着，

在(丙)被下引力及 a b 兩點吸着,在(丁)則更加 c 之吸力,在(己)時則水膜增厚上引力不敵下引力時,則水脫離下降。反之,若(己)下接水面,因蒸發作用上引力勝過下引力時,則水分上昇土壤柱內之微隙與重力水相接觸時,則成一水分通由之路。

(三)土粒大小與水分上升之關係 上述毛細管水上升之快慢,與土粒間水分薄膜曲度有直接關係,即曲度愈大,毛細管引力愈大,而曲度之大小,又與土中水分多寡有關,即水分愈少,曲度愈大也。就大概言之,土粒數多者,水分薄膜之數亦多,故在同一容積之土壤,水分之上升,在細密者往往較粗大者為多。然水分上升之高度,因水膜引力與水重力之差而有不同。在粗砂土中,水膜之總面積小,上升力常被下降重力所超越,故水分之上升不甚高。反之,在細密之粘質土壤,其土壤之總面積甚大,故有強大之上引力,水分之上升亦較砂土為高也。

設粗細兩種土壤,具有同厚之水膜,及同樣彎曲度,兩種土壤接觸時,雖細密土壤多含數倍水分,但其水分不能彼此傳達。倘粘土接觸砂土時,雖其所含水分數倍於砂土,然能吸取其水分者,此殆因粘土中多量細微土粒之水膜彎曲度,較砂土中之粗土粒者之彎曲度為大故也。

(四)土壤之水分當量 (Moisture Equivalent) 布力氏 (Briggs) 及黑倫氏 (Mc Lane) 將濕潤土壤使受一種離心力作用 (對於千倍重心力), 將其水分漸次排除, 至某程度時, 毛細管水之引力與此千倍之重心力相等, 水分不能再減, 各種土粒表面之水膜有同一之厚度, 即

使各種土壤接觸，其水分亦不自由移動傳達，此時毛細管水謂為已達平衡狀態，所含水分之百分數，謂之該土之水分當量。比萎謝點稍高，而比水分適量點稍低。當量之高低，又依土粒面積大小各有不同，今示各種土壤水分當量如下。

表(41) 各種土壤水分當量

	砂土	細砂土	砂質壤土	細砂壤土	壤土	埴質壤土	粘質壤土	粘土
最高 (%)	7.3	10.0	18.6	21.4	20.8	26.9	32.4	38.4
最低 (%)	3.0	3.8	5.3	6.8	7.7	8.3	15.1	19.1
平均 (%)	4.9	5.6	10.4	13.0	16.5	17.1	21.9	32.0

土壤之水分當量，與其他土壤恆數有一定之關係，此等恆數，即萎謝係數 (Wilting Coefficient)，吸濕係數，保水量，及器械分析之結果是也。土壤水分之當量，可根據任一恆數，依下列公式間接推定之。

$$\text{水分當量} = (\text{保水量} - 21) \times 0.635$$

$$\text{水分當量} = \text{吸濕係數} \times 2.71$$

$$\text{水分當量} = \text{萎謝係數} \times 1.84$$

$$\text{水分當量} = 0.02 \times \text{砂}(\%) + 0.22 \times \text{埴質}(\%) + 1.05 \text{粘質}(\%)$$

(五) 土壤保蓄水量 (Maximum Capillary Capacity or Water-holding Capacity) 土壤保蓄水量，即最高之毛細管水量，其大小依土性而有不同。其檢定方法，依希路吉氏方法，用直徑五公分，高一公分之小金屬器，其底以

1 Briggs and McLane-The Moisture Equivalent of Soils, Bulletin 45, Bureau of Soils U. S. D. A. 1907

布作成，盛入土壤，將器舉起，離几五六寸使落下數次，器內土壤被拍實後，將底端置水中，使吸收充分之水，取出，使漏去過剩之水分，檢其重量，由此可以算出水分全量。

(六) 毛細管水之移動 毛細管水移動，雖下行之趨向較大，然大部分與重力無關係，故可在土壤中向任何方向而移動，其移動率依蒸發作用，水膜之厚薄，表面張力，土質等，而有差異。茲分述如次。

(1) 毛細管水移動對其膜厚薄之關係 設相接觸的二種土壤，水分含量多寡不同，或水膜厚薄不一之時，水分常向較少之力移動，相差愈大，移動愈快。故欲知某點水分之移動，或上昇速度，可依毛細管水量，及其膜厚薄而測定之。土壤與水面接觸時，其接近之處，水分上昇移動最速，稍遠則速度漸減，此因前者沿毛細管道而移動，而後者賴薄膜張力之作用也。

欲測毛細管水由濕潤土壤移於乾燥者之速度，可埋一直徑二三寸之乾土柱於濕度適中之土中，四五日後，查驗水分浸入之多寡。此種移動，異常緩慢，二三星期後方能全部浸濕。由此可知當亢旱之際，若植物根部不能直接深達地下水，地下水雖離表土數尺，植物亦往往萎謝者，因單靠毛細管水上升，不足供植物之需求也。水分向乾燥之土壤移動異常緩慢，於是可證明天然覆土物 (Natural Mulch) 防止水分蒸發力之效用甚大。

(2) 毛細管水移動對於表面張力 表面張力，對於毛細管水之移動，又依溫度與溶液中所溶物質而有所左右，茲分述如下：

(a) 溫度 溫度上升,表面張力減,水分之移動速。反之,溫度下降,表面張力增,水分之移動緩。下表係據美國伊里諾大學對於溫度與毛細管水上升試驗之成績²(高度英寸計)。

表(42) 溫度影響毛細管水上升

溫度(華氏)	棕色埴質壤土	白色埴質壤土	黃色細砂壤土
32.5	11.9	11.9	19.7
60.5	13.3	14.0	22.9
70.5	13.5	14.5	25.8

表面張力大時,則稠粘度亦增加,故不易移動;反之,則移動速,此其因也。

(b) 溶液內之物質 表面張力,又依溶解物質而有變化。大多數之鹽類增加張力,故施用可溶性之礦物質人造肥料於土壤,可以增加土壤溶液之表面張力,有機質肥料可以減少表面張力。張力減則稠黏性亦減,故毛細管水之移速,土壤溶液表面張力均不甚大,故其中水分移動比較速也。

(c) 土之質地影響毛細管水之移動 土壤粒子之細微者,比之粗大者,其水膜面積大,而膜之曲度亦大。理論上在愈細微土壤,水分之上升愈高,但速度較緩,實際上因摩擦係數高,其結果致上升高度反較中等砂質壤土為低。據柳力氏(Loughridge)之研究某種風積土,含有粘質44.3%,一百九十五日後,水分上升達46英寸,至於細砂質壤土,一百二十五日上升47英寸,砂

2 Mosier and Gustafson-Soil Physics and management p, 204

土則六日中可達其最高限云。粘土中毛細管水之上升最緩,不但由於極細之粘土粒,且因含有多量之膠體物質,阻水分之自由移動也。

(d)有機質之關係 有機質足以阻水分上升,因增加土中微隙性及膠質物也。下表³示土中毛細管水之上升高度(英寸計),管之直徑一英寸半,下端浸於水中,管長五呎。

表(43) 有機質影響毛細管水上升

	砂 土	粘 質 壤 土	砂土 90% 坭礫 土 10%	粘壤 90% 坭礫 土 10%	細 砂 壤 土	細砂 壤土 90% 坭礫 土 10%	白色 植質 壤土	植質 壤土 90% 坭礫 土 10%	坭 礫 土
一小時	7.5	2.5	3.9	2.2	11.2	8.6	4.0	3.2	2.6
三小時	8.5	3.7	8.2	3.2	19.0	13.7	6.2	5.6	3.2
六小時	8.6	5.2	8.9	4.2	25.0	18.5	9.2	7.7	3.9
九小時	8.7	6.2	9.5	5.0	29.0	21.9	11.0	9.5	4.2
十二小時	8.8	6.7	9.7	5.5	32.0	24.7	12.2	11.0	4.5
一 日	9.2	9.0	11.0	7.5	39.5	32.0	16.7	15.2	5.5
二 日	9.5	11.5	11.0	9.2	45.5	39.0	22.5	20.2	5.7
三 日	9.7	13.2	11.1	10.2	49.0	42.7	26.5	23.2	5.7
四 日	9.8	14.2	11.2	11.0	51.0	45.4	29.5	25.5	5.7
六 日	10.2	16.2	11.7	12.2	52.7	49.0	34.5	29.2	5.7
八 日	10.7	17.4	12.0	12.9	55.5	51.0	38.4	31.7	6.0

十日	10.7	18.5	12.2	13.4	55.6	52.5	41.6	34.0	6.1
十二日	10.7	19.7	12.5	13.9	56.2	53.5	44.4	36.0	6.1
十四日	10.7	20.2	12.7	14.4	58.2	54.2	45.7	37.5	6.1

觀以上各項，可知有機質對於毛細管水上升之關係，第三項與第一項同屬砂土，不過一則含 10% 有機質，當量初時水分上升較緩，至第六小時後則超過第一項之高度。在粘土與埴質壤土中，含有機質者毛細管水之上升始終均較緩。此種情形，在表土足以防止過量之蒸發，故視為有利。但上層土水分之移動，則欲其速，以便於植物根部之吸取水分。

(七)土壤中之滲透作用 (Osmosis in Soils) 細微粒子含有多量之膠體質物，具半透性膜之性質，據連打氏 (Lynde) 及刁布利氏 (Dupre)⁴ 之試驗證明，倘兩種土壤接觸，其溶液之濃度不同時，即起滲透之作用，水分移動常向最濃厚之點進行，而滲透作用又依溫度上升而促進，故在夏季比之冬季為大。

據傾氏之實驗，混合廐肥于土壤，則土壤溶液濃厚，滲透壓力增加，水分向表層上升。至施用人造肥料於土壤，亦足增厚土壤溶液濃度與表面張力，其結果亦可使水分由下層上升。又中耕及施用石灰，以促土壤細菌之繁殖，使土壤溶液之濃度增進，故有使表土水分良好之效用也。

(八)萎謝係數 (Wilting Coefficient) 土中水分含量至某程度時，植物體內細胞不能保持其固有狀態，而永

4 Lynde and Dupre-Jour. of Amer. Soc. Agron, Vol. No 2, P. 111, 1913

遠萎謝，此時土壤中水分含量，稱為萎謝係數，此點謂之萎謝點。各種植物在同一土中萎謝時，水分含量相差無甚軒輊，最懸殊者約百分之三。然常在百分之一五以內。但各種土當萎謝點時，水量相差則甚大，普通約為吸濕係數之一倍半。萎謝點乃土中水分能被植物利用者之最低限度。砂土與砂質壤土之吸濕係數最低，故萎謝係數亦最低，粘土類之吸濕係數在百分之十二與二十之間，萎謝係數約百分之十八至三十，至於坭礫土達百分之十七。萎謝係數可由實驗方法得之，亦可由其他恆數推定，下列公式，可用以間接推算之。

$$\text{萎謝係數} = \frac{\text{水分當量}}{1.84}$$

$$\text{萎謝係數} = \frac{\text{吸濕係數}}{0.68}$$

$$\text{萎謝係數} = \frac{\text{保蓄水量} - 21}{2.90}$$

$$\text{萎謝係數} = 0.01 \times \text{砂} \% + 0.12 \times 2 \text{ 坩土} \% + 0.57 \text{ 粘土} \%$$

表 (44) 各種植物對於各種土壤之萎謝係數⁵表

植 物 \ 土 別	粗 砂	細 砂	砂質壤土	壤 土	粘質壤土
玉 蜀 黍	1.07	3.4	6.6	10.2	15.5
高 粱	.95	3.3	5.8	9.7	13.9
小 麥	.88	3.3	6.3	10.3	14.5
燕 麥	1.01	3.1	6.1	10.5	14.9
大 麥	1.04	2.9	6.2	10.5	14.2

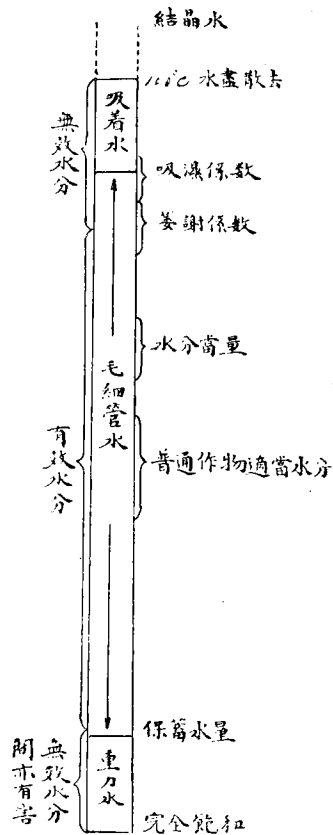
5 Mosier and Gustafson—Soil Physic and Management p. 213

黑 麥	0.91	2.9	5.9	9.6	14.4
稻	0.96	2.7	5.6	10.1	13.1
南 瓜	1.21	2.6	6.4	9.4	15.1
豌 豆	1.02	3.3	6.9	12.4	16.6
番 茄	1.11	3.3	6.9	11.7	15.3
水分當量	1.55	5.5	12.0	18.9	17.4

(九)毛細管水之效用

吸着水不能為植物所利用，即毛細管水之一部亦不能為植物所吸收，已如前述。除水稻與少數植物外，類都不能生長于水中，或過濕之土壤。大多數植物能利用以資生長者，厥為毛細管水而已。土壤水分之量最適於普通作物者，約當保水量百分之四十至六十，此即土壤中水分適用量也。(Optimum Water Content) 今將土壤中各種水分，何者可以利用，何者不能利用，與其他係數關係表示如第二十五圖。

第二十五圖 表示各種有效無效水分之關係



第二節 重力水

重力水 (Gravitational Water) 又稱遊離水 (Free Water), 與地下水同 (Ground Water), 即土壤中水分可因重力關係自由流出於土壤外也。重力水之多寡, 因土質不同, 及離地下水位遠近而異。檢定之法, 普通以土壤飽和水分之量, 減去其最高毛管水分 (即保水量), 即為重力水量。此法雖不能稱為完善, 然可知其概數。據傾氏研究各種砂粒及土, 經水滲透及排水後, 對於離水面高低與其蓄水分量列表如下。⁶

表 (45) 各種砂及土保蓄水量受地下水位影響

離水面高度 (英寸)	第20號砂	第60號砂	第100號砂	砂質壤土	粘質壤土
84—81	.23 %	.61 %	3.93 %	16.16 %	21.16 %
72—69	1.18	1.80	4.94	16.55	31.05
60—57	1.83	2.26	6.77	17.59	31.21
48—45	2.03	2.46	10.50	18.70	31.99
36—33	2.31	4.10	14.95	20.90	21.45
24—21	3.42	13.52	18.92	21.46	34.40
12—9	16.08	22.46	22.68	22.68	35.97
6—3	20.96	22.88	30.28	27.69	37.19

(一) 重力水之下流 重力水下流之多寡與速度, 因土質結構有機質稠黏度壓力裂縫等關係而隨時

6 King-Physics in Agric. P. 134

變遷，茲分述如次。

(1) 土質之關係 下流水分與土粒粗細及空竅大小成正比，與孔度之數量成反比例。即土粒大者其流速，反之其流緩。例如細粒土壤，具有孔度百分之五十，與粗粒土壤具有空竅百分之三十三者比較，其水分下移之速率，後者較前者快，此因空竅大小之作用，與其數量無大關係也。

(2) 土粒結構之關係 土粒之細小者，若經結合而成團粒，可助水分之下流，而含有石礫之土壤，水分下流亦速，此由於有較大之空隙存在也。粘質土壤，無團粒結構時，空隙既小，復富有膠體物質，故有時水分完全不能通過，至有粘閉之情形發生。此因過濕而行耕犁，或經人畜機械之鎮壓踐踏，故有如是之結果，但此亦不過暫時現象而已。

(3) 有機質之關係 在中庸或粘重之土壤，施用有機質足以助長重力水之向下移動，但在砂土有大量有機質時，則反阻水分之向下移動也。

(4) 稠黏度之關係 高溫度時重力水之流動較低溫度為速，據傾氏之試驗，攝氏九度每分鐘下流之水為 6.15 公分，三二·五度時每分鐘增為 10.54 公分。布力氏解釋高溫度水之下流較多者，由於稠黏力減少，水分易於流動，且謂流動速率之比例為 1.71，稠黏度之比率為 1.77 云。以此之故，水分下流之量在夏季當較冬季為多。稠黏力又與溶液所溶物質有關係，此於上述毛細管水已詳言之，茲不贅。

(5) 裂罅之關係 粘質土壤，因過度之乾燥而起裂罅，雖經一度濕潤，一時不易閉合。此種裂罅，使水下

流，固不待言，此外田鼠蚯蚓，在土中縱橫穿穴，亦足助水下移。然蚯蚓大都在中性或微鹼性粘土著其功用，若為酸性土與缺少有機質之土壤時則甚微也。

(6) 壓力之關係 壓力之大小，亦足影响重力水之移動，壓力低時土中空氣擴張，一部分之水被壓排出土外，據傾氏⁷之研究，某處泉水在壓力低降時較壓力高時，其湧出之水量常多百分之十五云。

(7) 植物根部之關係 植物根部深入土中，經腐敗後留許多孔道，便於水之通流。

(二) 地下水之流動與土壤深度之研究 研究地下水之流動與深度之關係，對於土壤與農產頗為重要，在實際排水之渠道，及排水檢查器 (Lysimeter) 之建設，足供此種之研究，英國路典士的 (Rothamstead) 農事試驗場，研究此問題，歷三十四年之期間，試驗水分經過各種厚度土層，綜其平均結果如下表。⁸ 該處係屬粘質壤土，并未種植，試驗期由一八七一至一九〇四年。

表 (46) 降雨量與各土層滲漏量比較

月	分	雨量 (英寸)	各土層漏下水(吋計)			降雨量與漏下量比%		
			二十吋土	四十吋土	六十吋土	二十吋土	四十吋土	六十吋土
一	月	2.32	1.82	2.05	1.96	78.5	88.4	84.5
二	月	1.97	1.42	1.57	1.48	72.2	80.0	75.2

7 King-The Soils. p. 180. 1907

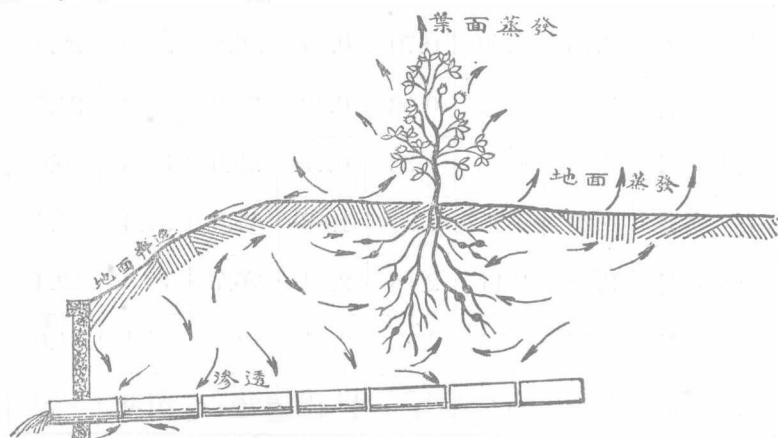
8 Hall. A. D.-The Book of the Rothamsted Experiments, p. 23. 1905

三 月	1.83	0.87	1.02	0.95	47.6	55.6	52.0
四 月	1.89	0.50	0.57	0.53	26.5	30.0	28.0
五 月	2.11	0.49	0.55	0.50	23.2	26.1	23.6
六 月	2.36	0.63	0.65	0.62	24.0	27.6	26.3
七 月	2.73	0.69	0.70	0.65	25.3	25.6	23.8
八 月	2.67	0.62	0.62	0.58	23.2	23.2	21.7
九 月	2.52	0.88	0.83	0.76	35.0	32.8	30.0
十 月	3.20	1.85	1.84	1.68	57.8	57.5	52.5
十 一 月	2.86	2.11	2.18	2.04	76.7	76.3	72.4
十 二 月	2.52	2.02	2.15	2.04	80.3	85.4	81.0
全年合計	28.98	13.90	14.73	13.79	48.2	51.0	48.0

由此以觀，滲透漏下之量與土壤深度無大關係，在 20 英寸土壤，平均滲透漏下約量 15.90 寸，在 60 英寸深度平均約 13.79 寸，僅 0.11 寸水水存留於較深土中耳。然此亦可證明土壤之深厚者，保水力較強也。

第九章 土中水分之保持與調節

作物之需要水量，在旱地種植者，每畝自五至十畝吋不等，前章曾論之，在水田之水稻，需水較多，自二十至三十畝吋不等。考土壤中水分之散失，可由(甲)葉面蒸發，(乙)地面奔逸，(丙)地下滲漏；若在水田則又有科



第二十六圖 土中水分之散失

間蒸發，而作物實在消耗之者，祇為葉面蒸發耳。散失愈多，則植物得受用之分量愈少，反之若使水分保存於土中愈多，則供給植物使用自較充裕。在雨水稀少地方，水分為作物生產良否之關鍵，然則保持水分之問題，其重要自可想見矣。保持之法，端在以人事整理土壤，以補自然現象之缺點，甚或天然之水未能得生產厚益，則人工調勻水分，灌溉尙矣。倘土中水分過高，每患卑濕，不宜耕植，則人工調節，排去過量之水，是為必要者。

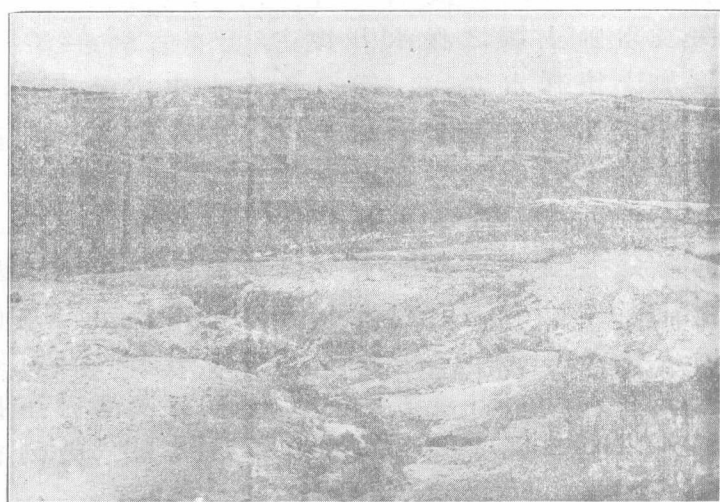
第一節 土中水分之散失與保持

(一)地面奔逸 (Run-off) 在降雨量多地面傾斜而

堅實之地,大部分之降雨,不待滲入土中而逸去,此種情形之下有兩種損害,(1)損失植物需用之水分,(2)冲刷地面,致不適於耕種(如第二十七及第二十八圖)。



第二十七圖 表示水侵蝕作用。我國長城一帶,古時曾為密茂森林之區,今則荒涼滿目,童山濯濯。



第二十八圖 水之冲刷作用(中大農場羅岡砂質壤土)

由地面逸去之水量，隨降雨量之多寡，地面之傾斜及土質如何而有差別。最多者可佔降雨量之半，少者可近於零，此則於乾燥平坦之地始有也。

(二) 地下滲漏 (Percolation) 若降雨過多，土中水分超過土之保蓄量時，過剩之水滲入下層土而流失，其損失量以雨水分佈情形與土壤保水力而有不同。其不利之點有二，(1) 實際水分之損失，(2) 流失土中易溶解之植物營養分。此種養分，在降雨量多之地，其損失量約與植物生長吸用之量相等。若祇就水分而論，據路典士的試驗場之考查，在粘質壤土，其土層深四十英寸，水分損失平均約達降雨量百分之五十云。¹

(三) 減少地面奔逸與地下滲漏法 水由地面奔逸，或由地下流失，在某種情形之下，或亦有利，而不能完全為害者。譬如粘土中水分過多，需要排洩，以適應作物生長，即其例也。故減少損失之法，以防止過量之損失，及增加土壤之保水力為主。

增加土壤保水力 降雨透入土中水分之量，與土質有密切關係；若土壤疏鬆，水分透入易，由地面流失之機會少。若土壤堅實，則大部分之降雨逸去，不但水分流失可惜，而地面亦大受侵損。按水分既滲入土中，則變為毛細管水，若保水力強，則大部分水保留於土中，而漏入地下流失之量少。故防止方法，第一須使土壤疏鬆，便於水分之滲入；第二須使土壤有良好物理性質，保水力乃得增進，施石灰，增加有機質，地下排水，促土壤團粒結構之生成，對於土壤之保水力均有

1 參看 Hall, A. D. — The Book of Rothamsted Experiments P. 23, 1905

多少裨益地。下排水，乃排去過剩之水，因過剩水分存留土中，不但無益，反為有害。一經排水則物理性質改善，使土中含最適量之水分，以供植物需求。此外春耕秋耕，亦可使土壤增其保水力，而尤以含有多量有機質為著。缺乏有機質之砂土，不宜深耕，深耕有促水分滲漏之虞。深耕在粘質土則甚為有利。土壤一經耕動，使成一鬆浮層，易受風化作用，土性更可改良。若係秋耕其效尤大，土壤既有疏鬆良好之性質，吸收水分之力大，保水力亦增，故土壤之有良好性質者，往往含水量較多也。

(四) 土面蒸發 土中水分蒸發，除水田土面浸有水，及土面現有裂隙者外，均由土之表面蒸發散失，但過量蒸發，不獨損失土中有效水分，而作物生產量亦直接受影響。據英國路典士的試驗場之研究，降雨量百分之五十由地下漏失。又查其試驗地乃未有種植者，可見其餘百分之五十為土面蒸發，與土中存留而無疑。又考蒸發作用，通常溫度增高而愈甚，故夏季蒸發損失較冬季多。依此類推，在雨水少之地方，地下漏失之機會全無，則水分散失多在蒸發。即以降雨量多之地方而論，作物生長所需之水分，常得充分之供給，但經一時期旱魃，則作物之生長大受打擊；在此時期，土面蒸發與植物之葉面蒸發，可使土中水分銷失殆盡，則土面蒸發損失之大，可想見矣。考地面流失，與地下滲漏，以降雨量多寡為比例，蒸發量則無大軒輊。但土面蒸發，視表土乾燥為轉移。此等情形，逐年大都相差無幾。茲選錄一八七〇至一八七八年路典士的試驗場研究土之蒸發滲漏與降雨量之比較列表如次。

表(47) 降雨量與蒸發及滲漏量比較²

年 份	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878
降雨量(英寸)	22.9	26.3	29.3	30.8	31.6	32.6	34.2	35.8	42.7
蒸發量(英寸)	17.3	18.4	18.3	18.3	16.6	18.0	18.0	18.3	17.2
滲漏量(英寸)	5.6	7.9	11.2	12.5	15.0	14.6	16.2	17.5	25.5

由上表觀之,可見地下滲漏,隨降雨量多寡而變遷,但蒸發量與降雨量之關係甚微。今假定降雨量為30寸,地下滲漏之量,據前表推算,約為12寸,佔雨量百分之四十,剩餘之水分為18寸;而普通作物需水約七英寸,其餘十一英寸必由蒸發而損失。故降雨量之一半,謂為由地面與地下漏失,其他之一半由蒸發與植物而消耗,非為過也。前項損失,可由人事補救而減少之,損失減少,則供給植物之水分得以增加,而出產量可較豐也。

(五) 減少蒸發方法 減少土面蒸發之方法有二:其一在防制土面蒸發作用之進行,其二在斷絕土之表面下毛細管水之繼續上昇,以補充已失之水分。據試驗所得,土中毛細管水分若任其繼續上昇,隨蒸發而流失,所失之分量甚大。若將土之表層內毛細管引力阻斷,則水分之損失雖不能完全停止,而其量可銳減矣。所有方法以行於土之表面而易奏效者,就中以覆土物(Mulch)之法為上選,茲申論之。

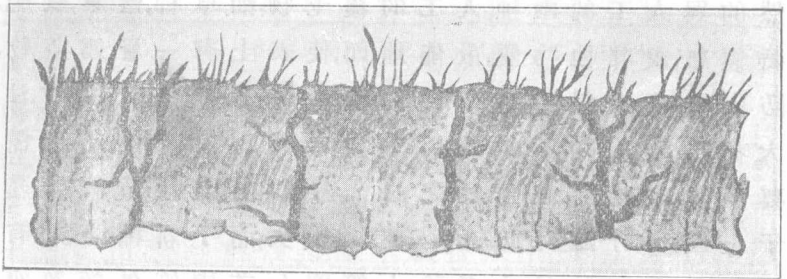
(1) 覆土物 無論何種物質,用以覆蓋土壤表面,

² 參看 Warington, R—Physical Properties of Soil, P. 109

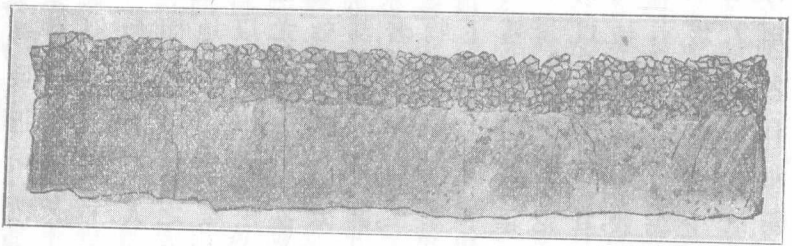
防止蒸發之作用者，均稱爲覆土物，其種類可分爲天然的與人工的兩種。人工的覆土物，如草稈、落葉、廐肥、特製紙或其他物質，散佈地面，使表土有一層遮蓋物，防陽光之直射，阻水分之過量蒸發者是也。此種方法，大都行于作物不必時加中耕者，甚爲便利。惟此法需要多量之物質，且作物之必需中耕者，若以草稈等覆于土面，水分雖可防止一部之損失，而于耕種上大有妨礙，且需要物量太多，除小範圍如苗圃等外，頗難實行。惟在特種情形之下，譬如在歐洲及美洲之果園，有用石塊石板以爲覆土物者，其效尤以地面傾斜度甚大之地方爲著，若將石塊取出，在此種地方，不但蒸發有過量之危險，且使土壤變硬，減少出產者有之。又近年來檀香山及美國蔬菜園地，試用特製紙以覆土，不獨減少蒸發，且免雜草繁生，其效甚宏。要之人工之覆土物之取捨，須視經濟情形而定之。

天然覆土物，係將表土之一部分使之輕鬆，成爲一種天然遮蓋物，土中水分可藉此減少蒸發。因表土既經耕鬆細密，而空氣流通，則此部分易於乾燥，既變乾燥，則下層潤濕部分不易傳達其毛細管水於表層，故蒸發減少，而水分藉以保存。如第二十九圖天然覆土物最要之點在輕鬆乾燥，若一經潤濕，細粒與細粒間從新再結合成爲一片，與下層之濕潤土壤連接，則毛細管水可繼續上達土面而蒸發。此蒸發愈甚，損失之水分愈多，故每當降雨後，若地面不致過濕有碍土性時，應即行中耕，使維持固有覆土物之狀態。覆土物可以維持之時間與效能，依土質而有不同。砂土維持較久，若無降雨，可保長久時間，惟粘土因毛細管引力較

第二十九圖 水分之蒸發及其減少



表示土中水分由裂罅飛散



表示表土一層覆土減少水分飛散

大之關係，經數日後土粒每受濕連合，或一經潤濕空氣或大霧之後，覆土物完全消失，而與下層濕潤土連接，蒸發繼續如前進行也。

在降雨量少之地方，空氣異常乾燥，若溫度高而空氣流動迅速時，降雨後表土乾燥迅速，其乾燥之速度，超過毛細管水之供給力時，表土構成一層自然覆土物，毛細管水遂不能繼續傳達而蒸發，故由蒸發作用而損失之水分大減。此種現象，據畢瓊汗氏(Buckingham)³之研究，在乾旱區域甚為顯著。依常理推測，砂漠地

3 參看 Buckingham, E.--Studies on the Movement of Soils moisture,
U. S. D. A. Bul 38 pp. 18—24. 1907

表土與底土必異常乾燥，植物難以生長，然實際除表土乾燥外，底土大都含有豐富之水分，此蓋由於自然生成之覆土物之功用歟。

(2) 覆土物之深淺 覆土物究宜達如何深度方為適宜，是一重要問題。濕潤境之土壤，表土大都甚淺，若經耙鬆為覆土物，則不獨此部分中水分完全散失，即其中營養成分亦暫時不能供給植物之用。濕潤土壤之表土，大概不過八九英寸，假定覆土物佔表土一英寸，則減少此一吋內之水分與養料；倘覆土物愈深，則減少之量愈多，影響于作物出產量更甚，且覆土物深，則中耕之際有傷及作物根部發育之虞，作物在幼小時，尚無大碍，但當發育壯旺之際，則其害愈大，生產量亦必因而減少，故在濕潤區域之覆土物普通以二三寸為度。若在灌溉區域，與旱農區域，雨量既少，土質深厚肥美，覆土物深達十寸者有之，尤以菓園地為多；此等地方降雨之次數既少，覆土物亦深，故降雨後無再中耕之必要，但淺根作物生長之地，則宜從新中耕，使表土輕鬆為妥。

(六) 覆土物所保存之水量 覆土物究可保存若干水量，難以論定，因地方氣候土質各有不同也。考水分不過植物生長之一要件，在濕潤之區，有時雖有多量供給植物，而未見有多大影響於其產量者，但在旱農與乾燥境地，則水分之供給為第一要件，可以左右作物之出產。茲選錄畢文氏 (Buckman) 研究美國孟田那州 (Montana) 土壤，覆土與不覆土之關係，其中成績，列表如下。

表 (48) 有無覆土之保存水分比較⁴

深 度	第一尺	第二尺	第三尺	第四尺	第五尺	平均
有覆土物者	16.8%	16.4	13.2	10.1	9.6	13.2%
無覆土物者	10.8%	9.4	9.5	8.9	8.5	9.4%

照上述結果,假定該項土中含 6% 之水分時,即達萎謝點,則有覆土物之土壤,含有二倍以上可以為植物利用之水分。即就平均數而言,前者較後者多 3.8% 之水分。若以五尺深之土壤論,有覆土物者當較無覆土物者每英畝多二百五噸之水,可足生產一噸之乾物質之需,由此可見覆土物之功用非小也。雖然,間有土地經中耕而有覆土物者,較無覆土物者未必出產特多,其故不在水之保存與供給,而在他種原因者亦有之,是又不可不縝密考察者焉。

(1) 覆土物之其他效用 除保存水分外,覆土物影響於土壤之物理性質不少,某種作物,須常加中耕者,如玉蜀黍,倘勤於中耕,可使其表土細密而柔和,有團粒結構之利,無蒸發過多之弊;且繼續種植之作物往往生長較好。又有覆土物者,不但水分可以保持,且免雜草叢生,損害營養料,故可使作物得較多之生產。茲選錄康乃爾大學對於玉蜀黍受雜草損害之試驗,⁵ 列表以証明之:

4 參看 Buckman, H. O.—Moisture and Nitrates in Dry Land Agric. Proc. Amer. Soc. Agron. Vol. 2, P. 131. 1910

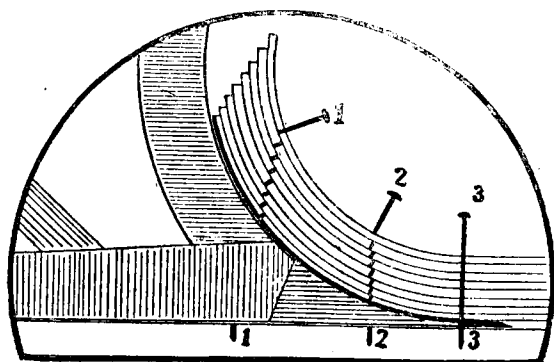
5 參看 Lyon, Fippin and Buckman—Soils Their Properties and management. P. 281

表(49) 玉蜀黍受雜草損害試驗成績

	出產量 (以對照區作為100計算)	土中水分百分數 (在八月間)
對照區	100	21.1
除草未經中耕區	96	18.2
用草覆蓋區	121	25.0
對照區	100	18.2
未中耕亦未除草	31	9.8
一次中耕未除草	98	17.0
對照區	100	17.7

第二節 耕作與土壤水分之關係

農具中與土壤改良最有關係者莫若犁，犁之作用有二，一則粉碎堅硬土塊而成鬆軟土層，所謂改良土粒排列之方式也。二則將土面野蔓或他植物肌體犁入土中，使易腐化而營養植物。犁之如何作用，使土塊粉碎，有如第三十圖，譬如開一卷書，取數十頁成一帙，



第三十圖 犁之作用

以大指按其帙面,以其他數指持其帙底,卒然向卷之中線屈曲之,即見每頁塌過次頁之上,假設以針滿插書面,(如圖),而可隨意剪碎,倘如前屈曲之,則針將碎爲若干段,如書之有若干頁,犁之碎土其理同焉。犁既將土之分子排列方式改變,水之流動亦因而受影響,故經犁過之土,較前鬆疎,保蓄水量增加,因而供給植物吸收水分之量亦變大矣。茲將各種耕作之效能分論如次。

(一)秋耕與冬耕 秋耕最宜於雨量稀少而降雨期多在冬季之地,當秋穫之後,將土犁翻,使於冬季雨雪大降時受納而保存之,以待來春之用。秋耕之利有二,(一)則以其犁起土塊,使土面不平整,易於接受雨雪,不使奔逸,同時增加土壤孔度,雨水浸入土中較易。傾氏曾於五月時檢查一秋耕,一未秋耕區之土層深三呎,所差水分爲百分之二.三,計算秋耕之土增加水量至每英畝百一十噸,約等於雨量一英寸。(二)即犁起土後,土粒受風霜雨雪之作用多且大,粘土可由密實而變疎鬆,空氣流通較易,氧化之功用較速,(如細菌之硝化作用)裨益不少。但秋耕亦未嘗無弊,蓋當秋季溫度合宜於硝化進行,製成之適用硝酸鹽存貯土中,至來春解凍或降雨時,每有漏下散失之虞;是故秋耕之後,有播種冬麥者,使吸收適用之硝酸鹽或其他有效養分,至春耕時犁作綠肥,免至流失也。廣東沿海之鹹性沙田,於每年十一月收穫後,即將土犁翻,以便風化,並促鹽質之上昇,至來春引水入田時洗去之,以

減鹹性，土名曰晒冬，乃一重要冬耕也。

(二)春耕 雨量得中之地，春耕為宜，蓋以秋耕犁翻之土，經數閱月之暴露，表土異常堅實，至春季仍須犁耙以鬆碎之，然後始能播種，倘行春耕，則可節省秋耕之人力也，春季溫度濕度適宜時，將土犁翻，作成一層鬆浮覆土，斷絕表土面毛細管水之吸引力，減少土面水分之蒸發，則土面易乾，而溫度易於增長，以便種子之萌芽；且可保持土中水分，不使如常上升於表土而蒸散，至夏季遇旱，得補助雨水之不足，表土既犁，則空氣流通，土中硝化作用之進行愈易，於營養植物視為重大之利益。

傾氏曾研究春季耕犁及未耕犁之土比較其水分之保存量，茲將其成績列表於後。⁷

按美國之北溫帶地，三月二十一日始交春令，四五等月仍屬春季也。其試驗之土於四月二十九日檢定水分後，將試驗之區劃分二段，一段犁翻，一段不犁。

表 (50) 春耕影响保水量

土層	時期	四月二十九日	經犁之土 五月六日	未犁之土 五月六日
第一呎 每立方呎含水量(磅)		14.1	13.9	10.6
第二呎 每立方呎含水量(磅)		20.1	20.7	18.0
第三呎 每立方呎含水量(磅)		18.0	18.3	17.3
第四呎 每立方呎含水量(磅)		16.6	16.0	13.9
四呎共含水量		68.8	68.9	59.8

由此可見經犁之土，經過一週時間，四呎厚之土層，

7 參看 Hall—The Soils, P. 101

水量無甚變易，惟未犁者已失去 9.2 磅水，即 1.75 吋雨量也。春耕保存土中水分之效能可謂大矣。未犁之土，其失去水分，大概由於土面蒸發，毛細管水繼續上升所致。

春耕秋耕并行，與秋耕而春不耕者，傾氏亦曾研究，茲併錄其成績如下。查其所試驗之土為壤土，其水量數按土濕時重量百分率計算。⁸

表 (51) 春秋并耕與秋耕之影響土水分

	第一呎土	第二呎土
春秋并耕土水量 %	16.7	15.9
祇行秋耕土水量 %	15.9	13.9

秋耕而春不耕，其影響於土中水分如此，則春耕以防水分之散失，其重要可見矣。

(三) 夏耘 夏耘以去草，然耘而祇曰去草，未足以竟其功，蓋耘乃於夏時保持土中水分之良法也。耘以去草，同時鋤鬆土面，使成一薄層覆土物，其土層易乾，乾後足以減少下層土中毛細管水上升蒸散之損失，前曾論之；且雜草鋤除，免吸去有用之水，直接有利之影響亦不少，是亦節流之一法。且鋤鬆表土，增加空氣流通，而硝化作用速於進行，此又間接裨益於作物焉。據傾氏研究夏耘之保持水分，在七週之內，耘地保持水量等於 1.7 吋雨量云。土壤經降雨後，土層濕潤，毛細管水上升土面，繼續蒸發，損失不少；故雨後，若砂土即宜復耘，以恢復覆土物，若粘土，則候土面不濕即耘，

⁸ 參看 Hall—The Soils. P. 102

以免發生粘閉及損失多量水分之弊。

(四)壓土 壓土每用於砂土，當春初時雨量缺乏，作物萌芽，根苗弱小，表土質粗而鬆散，毛細管引力微薄，致水之上升不足以供給植物之生長，每有萎謝之虞；倘用石輪拖過土面而壓實之，則毛細管水易於上升，以供植物之吸用。須知壓土作用，與耘相反，非保持土中水分，乃臨時調劑水分之法也。若能善用，至適可而止，則利多害少；故俟苗長根部至相當發育，可吸下層土水時，即須耙鬆表土，以減少蒸發。

(五)被地與裸地水分之比較 每單位重乾物質之生產，需要數百以至千倍重量之水，前已述之。故種植之地與休閒不種植之地比較，前者雖有枝葉之遮蓋，上面蒸發可有相當之減少，然消耗水分常較後者為多，故裸地休閒保存水分自較被地為多。何氏⁹曾研究此問題，結果被地與裸地之比較，相差水量，計土層深五十四英寸，每英畝為九百噸水，幾等於九寸雨量。故在雨量稀少，旱耕之地，每隔一年或半年或若干時間休閒地面一次，保持水分，期得較良之收穫，認為善法也。

(六)糞料保持土水之效能 腐有機物之在土中，當雨降之時，收貯水分之能力甚大，其所吸收之水隨漸輸放，以供植物生長之需。路典士的試驗場曾比較一施糞肥一未施糞肥田之水分，其成績¹⁰如下表。

9 參看 Hall—The Soils, P. 113

10 參看 Hall—The Soils, P. 117

表 (52) 糞肥之影响土水分

土 層 深 (英寸)	小 麥 田		大 麥 田	
	未 施 糞	經 施 糞	未 施 糞	經 施 糞
自 0 至 9 寸	16.0 %	19.3 %	17.0 %	20.7 %
9 至 18	19.8 %	17.0 %	22.5 %	17.7 %
18 至 27	23.3 %	18.4 %	22.1 %	18.3 %

由上成績觀之，經施糞之田，其水分之高者在於表土，蓋表土富有腐有機物也。表土之下各層土之水分較少者，以表土腐有機質保蓄水力強，其水之上昇而蒸發較易於下移而歸底土也。又考該試驗場試驗小麥數十年，其中成績更有足以證明糞肥保持水分之效能者，不歎冗費。再節錄其一部表示¹¹於後。其試驗分兩區，一施牛馬糞（每英畝十四噸），一施人造全肥料（含有氮磷鉀），繼續試驗五十一年，在一八七九年氣候濕而冷，雨量自三月至六月共十三吋，一八九三年氣候乾而熱，雨量由三月至六月祇二.九吋，其小麥收穫量（英斗計）如下表。

表 (53) 糞肥與化學肥影響收穫比較

	施牛馬糞肥	施人造肥料
一 八 七 九 年	16.00	16.25
一 八 九 三 年	34.25	20.25
平均五十一年之收穫	35.70	32.9

11 參看 Hall—The Soils, P. 119

由上表觀之，濕冷之年如一八七九年，其收穫無大差異，蓋兩者無水旱之患，而土中微菌作用進行遲緩，故收穫量較低。至乾旱之年。如一八九三年時，施牛馬糞之區收成較高，蓋牛馬糞肥不獨供給作物以養分，且富於有機物，增加其土中之腐有機質，直接增高其保水力，故結果優勝於人造肥區也。

第三節 土中水分之調節

土壤之自然保水力各有不同，雖用人事可以改其多少，然仍屬有限，而水分過少或過多致生妨害之問題仍復不免，故以人事灌溉或排水，便成耕作重要之法，以調節土壤水分也。茲分別論列之：

(一) 灌溉 灌溉以調劑土中水分，所以禦旱，以補自然水之不足，使作物竟其化育之功也。灌溉乃屬人為之事，其方法應講求完善適宜，以用力少而收效宏為目的。灌溉之法約可分為下列四種：

(1) 旁溝灌溉 此法於江河下游之沖積地可用之，沿河岸間開溝引水，水入溝內，藉土中毛細管水引力上升以供作物之用，在廣東西江下游桑田，如三角洲各處多用此法。

(2) 滲溜法灌溉 此法利用河溪或池塘之水，引入田間，而分流各處，近水之田，距離水源平面不大者，取用至便利；若水源低，則須用水車或他機械之力以引水，我國南部各省之稻田灌溉多用之。

(3) 地下管灌溉 用旁有孔之鐵管，或土敏土管，安置地中，約距土面一尺半，使不妨礙耕作，需用水時放開水制，將水灌入土中，在歐美果園有用此法，但以

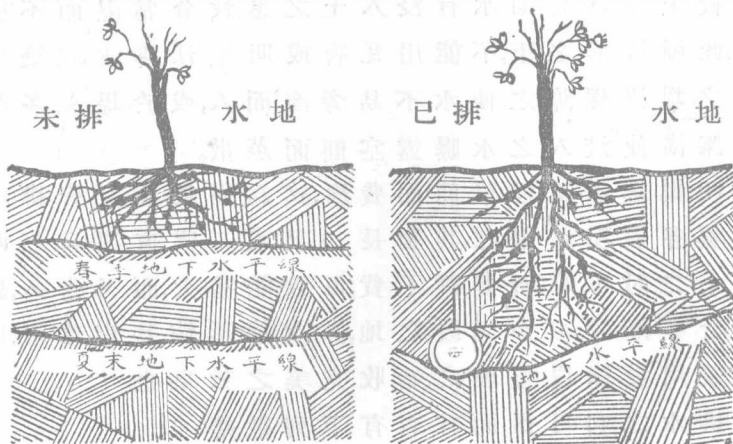
設置費甚大，故採用之者不多，且時有放水過多，致汎溢地面之弊，可附設一外溝以洩過量之水，則設置可稱完善矣。此法雖最初設備費大，但能持久，且免掘溝，亦其優點也。

(4) 洒水灌溉 此法用唧筒噴壺或桶，運水遍洒土面，效用均勻，但以費時與力較大，不宜於大面積之田地，祇適用於小園圃耳。

灌溉之利，約言之可有下列四端，(甲)補助雨水之不足而竟植物生育之功，(乙)水內所含之鹽質等物有適用於植物營養者，(丙)使土壤膨脹鬆軟，適宜植物根部之發展，(丁)各輔助土中種變化之進行，造成有效之養分。灌溉之利雖如上述，但灌溉不能完全無弊，是又不可不知者，茲舉其要者有二，(甲)灌溉之水，將土中各鹽質溶解，受毛細管引力上升土面，水分蒸散後，其鹽質積聚於土面至有變成鹹土之虞，此於北方雨量少之地尤為顯著。(乙)灌溉水之溫度若較土溫低者，則有影響土溫降低妨礙作物生長之虞，故冷泉不宜用以灌溉，而於早春溫度不高之時尤為重要。

(二) 排水 土中水分太多與不足，均足妨礙一般作物之生長。排水者，即將有餘而妨礙作物生長之水排出土外之謂。前論重力水，除水生植物如水稻等外，認為無效於普通旱田作物。且土壤含多量重力水時，空氣不充分，植物生機亦受影響。在北溫帶地，當夏旱時，排水之地受旱災者較不排水者少，蓋以未排水之土，作物根苗，在早春時因土水過多，空氣閉塞，不能完全發展，深入土層，至夏季一旱，地下水位下降，根苗不能達相當深度，難得充分之水，每致萎謝，而排水之土，

根部得完全發育，深進土層，故禦旱力較大，如下第三十一圖所表示。



第三十一圖 地下排水與植物根部發達關係

土壤須要排水之原因，雖畧如上述，然頗複雜，且土質結構與乎地勢如何，水之來源去處情形又如何，均須審察周詳，方能規定排水之法，此則於排水學內詳細討論，茲僅約畧言之。

土壤之底土，有天然排水力強者，如砂質土，則其表土有餘之水，自易滲漏下流而排去之，故當大雨之時，不致有溝澮皆盈之弊。但有底土疏鬆，而仍積水週年不去者，此則多因地勢低窪，四鄰高地或山嶺滲下之水，排洩不及，由低地疏鬆之處噴出，源源而來，週年水淹土面，如中山大學農場東邊之苗圃地其例也。是宜於高地與低地連接之處，開一深溝，或安設一排水瓦管，截其水流，運往低下之處，瀉出田外，現該苗圃已安瓦管排水無水患矣。有因土質過於粘密，如粘土類，當春之際，雨雪停積土面，不能滲漏，則可用明渠排水法，

於田間擇適當之地點，開掘明渠以洩之，其渠度深濶，可斟酌情形而定。倘地近湖沼，或江河邊界，水之平面常較土面為高，則水有浸入土之患，致令常濕而不能耕，此種情形之下，不能用瓦管或明渠法排水，宜築粘土之堤以保障之，使水不易旁滲而入，或於堤後多開一深溝使浸入之水曝露空間而蒸散。

明渠排水，工程單簡而費廉，故為用最廣，瓦管排水歐美各國現多用之，其管長一呎或二呎，直徑自三吋至十二吋不等，所費雖不貲，但效能甚大，而又耐久，故推行亦漸廣。須知一段之地，排水情形倘甚複雜者，則須兼用數法以整理之，始收完美之效果也。

排水之利可得而言者有下列數端：

(1) 土之比熱小於水，通常論之，水之比熱約大於土五倍，是則同量之水，需五倍之熱始可將水之溫升至同一之高度。水若含有餘之水分大，則吸收太陽之熱以暖其水者多，而暖其土者少，結果則土溫難以升高，而土較冷，若將水排去，土溫較易升高，不致虛耗太陽之熱。

(2) 空氣流通，硝化作用進行迅速，結果能得多量之硝酸鹽，以供作物吸收。

(3) 空氣充足，植物根部易於發育。

(4) 土壤易於耕作。

(5) 可延長種植之期，蓋以土無積水，早春可以耕作，且秋冬受霜較遲，因霜降原因大約有二，一則由於空氣蘊處低窪，無暖空氣之流動，二則由於土中水多土冷，而積蓄冷氣，若排水之土則較暖，降霜之機會可以減少，或延遲之。

雖然,排水之利甚大,然亦有其害焉。因排水能將土中硝酸鹽磷酸鹽石灰等分排去流失也。

第十章 土壤之熱與空氣

熱與空氣，均屬植物生長需要之條件，而影響於土壤中各種變化亦不少，茲分別論之。

第一節 土壤之熱

考一般農業植物，大概於華氏表四十度以下之溫度生長之機能即停息，在四十度以上，其生長機能漸次發動，至八十度而壯旺，自八十以至百度可稱為適宜之溫，因在此情形之下發育最適宜最旺盛也。百度以上，生長漸次減少，至一百一十五度時又近於停止。溫度對於種子之發芽，植物之生長，及土壤之一切理化變化，細菌作用，均有極大關係，故土中溫度倘能以人事操縱之，確屬農業中一重要關鍵也。

土壤溫度之變遷，換言之，即土熱之增減，當視其熱之來源與去處而定，考土熱之來源有四，而放熱之法有三，分別述之於後。

(一)太陽熱 太陽之光與熱，射至地面時，被表土吸收，晴明之日，每平方公尺土面，在一小時內所受直射熱約為一百萬熱單位(calories)。若此種熱量全被一方呎六吋深之耕鬆土壤吸收，則一小時內溫度可上昇二十四度半；惟至夜間土壤之反射熱亦甚大，故結果熱之留存在土中并不多。由太陽射到地面之熱，不論在何地方，均與空氣傳導性之強弱有直接關係，水蒸氣及塵埃足以阻碍熱之傳達，乾燥清潔空氣阻力極少云。

(二)溫雨 大雨之後，土溫每每上昇，此可于春雨

之後植物勃茂見之。若土中含水分百分之十，則一英寸之雨水，其溫度較土溫高十度時，可以增高六寸深表土之熱四、六度云。

(三)地心熱 穿穴入地，每降約三十公尺，增溫一度（攝氏）。此熱由內傳外，其量雖微，然其源不絕，亦足助長土溫也。

(四)化學熱 植物生長時，吸收多量之熱，儲于有機質中，有機質在土中分解時，放出原有之熱，惟其進行緩慢，究能增加土溫若干，未易計算，土中細菌之繁殖，賴此熱力不少，除施用多量牲畜糞肥外，（如溫床下施用豬馬糞之類）影響于普通土壤溫熱之變遷甚微。

表土既可以收熱，亦可以放熱，放熱之法有三：

(1)反射熱 (Radiation) 凡有熱之物體，即有反射熱之性，土壤亦然。表土雖吸收太陽熱，然亦將熱放返空中，夜際天清，反射熱甚大，其反射熱之量，有時或多于日間吸收者。

(2)傳熱 土面罩有冷空氣，或土下接觸較冷土層，均足令表土熱傳去，而表土溫度降下。

(3)蒸發水氣 水需熱方能蒸發，在尋常溫度，蒸發每磅水之熱，足令七千五百磅土降下華氏表一度。然土水之蒸發可減，而不可全免，是亦失去熱之大源也。

第二節 溫度變易視土層深淺 與時令而異

土之溫度，自表土而下至六呎，其變易頗大，惟自此

而下至五十呎，溫度變更漸小，而自五十呎下，溫度日有常而不變。依地心熱之公法，每深約三十公尺則溫度昇攝氏表一度，以此推之，七萬五千公尺之下，即地心熱中點云。

路瑞士的試驗場曾研究一年之間，土中溫度之變易，其成績詳下表。土中傳熱之力緩，而土層深淺之溫度以時而變，所列溫度數為華氏表平均數，每晨于九小時檢查，其試驗地為草場。

表 (54) 各土層溫度之變遷

月 份	土 層 深	六 吋	三 呎	六 呎
一 月	月	38.5	44.3	46.7
二 月	月	37.4	43.4	46.0
三 月	月	43.8	44.5	45.7
四 月	月	45.9	47.3	45.3
五 月	月	52.3	51.3	49.7
六 月	月	66.2	59.8	53.5
七 月	月	58.5	62.0	57.9
八 月	月	59.2	61.0	58.6
九 月	月	50.9	59.6	58.7
十 月	月	47.9	53.8	56.2
十 一 月	月	41.5	48.0	52.0
十 二 月	月	23.5	44.6	48.0

觀上列成績可知土中之熱，每年之間，於熱層傳於

冷層，俟冷層變熱，而前之熱層或至變冷，而又吸收他層之熱，如是輾轉相流傳，其六呎深之土，溫度最高者在六月，三呎深土在七月，六呎深之土遲至於九月，可知熱之傳導其率甚緩

又查其表土溫度，自四月杪至五月上旬始升至合宜於植物生長之溫度，然土壤溫度，隨緯度而殊，如我國之北方與南方較，則所差甚大，然此成績，足以表明熱在土中之輾轉傳導，與土層及深淺時令大有關係焉。

第三節 農業植物生長之溫度

農業植物生機展發，大概自華氏表四十至四十五度為始，茲舉數種普通植物生長最低最適宜及最高之溫度為例，表示於後(華氏表)。

表(55)各種植物生長之最高最低及適宜溫度

	大麥	小麥	玉蜀黍	豆	瓜	芥菜
最低溫度	41.0	41.0	49.0	49.0	65.0	31.0
適宜溫度	83.6	83.6	92.6	92.6	91.4	81.0
最高溫度	99.8	108.5	25.0	25.0	120.0	99.0

溫度之影響植物萌芽者亦非淺鮮，茲將試驗玉蜀黍於二十四小時內根鬚之發達，因溫而異之結果表錄於下。

表(56)溫度影響根鬚之發達

溫度(華氏表)	63	79	92	93	101	108.5
根長(公分)	1.3	24.5	39.0	55.6	25.2	5.9

由此而知玉蜀黍根苗發達，最宜於九十二度至九十三度。

根苗之吸收水量，視溫度之高下而有差，故其生機之暢旺否亦不同，烟草及玉蜀黍等於下霜之溫度生機即息，惟冬季蔬菜如椰菜，黃芽白等，在下霜溫度仍能吸收水氣而生機活潑，故植物之遇霜而凋萎者，未盡因溫度太低而生機不振也。例如玫瑰，當下霜之際，空氣乾燥，表土之水氣蒸發甚速，若同時而有狂風，則蒸散更甚，其所曝露之新芽，每因所含水分蒸發而受損害，倘有他物如雪或殘葉草稈等以掩蓋其表面或包裹之，則萌芽可保存焉。

土壤之溫度，與植物生機最關重要者，莫若萌芽時代，蓋以植物當幼稚時，若溫度不宜即枯死，茲將普通作物萌芽溫度(華氏表)列後。

表(57) 普通作物萌芽溫度

溫度	小 麥	大 麥	燕 麥	玉蜀黍	豆	黃瓜及瓜類
最低	32—40	40	32—41	49	38—41	60—65
適中	77—88	91	77—88	91	77—88	88—99
最高	88—110	100—110	88—100	115	88—100	110—120

考一般作物生長，其養料大概多賴細菌硝化之功，如變有機質而為硝酸鹽是也。查普通土中重要細菌，其適宜生機之溫度與農作物者大抵相似，如硝化菌於華氏表四十一度以下，一百三十度以上，生機即息，而其最適中之溫為九十九度。當溫度下降，植物漸凋時，常呈氮質養料不繼之象，其理相同也。

第四節 影响土温之各種情形

土壤之溫度，隨其本體之特性與環境之情形而隨時隨地變遷，茲分別言之。

(一) 比熱 土之比熱，即同量之土與水，增高溫度一度，所需熱力之數之比較是也。欲知各種土壤溫度增加快慢之理由，當先研究各該土壤成分之比熱。考土壤所含之物質，其比熱自 0.11 至 0.2 不等，腐有機質之比熱為最高，而砂最低。又乾土之比熱，較濕土為低，以後者含水故比熱高也。粘中水分多寡，足以影響土之比熱，通論各土類比熱，粘土較砂土高，故當春令，砂土易暖於粘土，以其吸收同量之日光熱力，而溫度上升較高故也。茲將各類土與水比熱相較列表如下。¹

表 (58) 各類土之比熱

		水	腐有機質	砂質泥礫土	壤土	粘土	砂土
同重	乾	1.00	.25	0.14	0.15	0.14	0.10
同容積	乾	1.00		0.11	0.18	0.15	0.125
	濕	1.00		0.75	0.53	0.61	0.34

腐有機物質乾則鬆散，濕則發脹，容積無定，故難以求其比熱，表列之所謂濕土者，即浸透而經排水者也。觀上表，可知濕砂質泥礫土與粘土之比熱大於砂土者二倍。

(二) 土色 土之色澤，足以影响土之溫度，蓋以物質之色澤，對於吸收太陽熱力有關係也。黑色之物體，吸收日光熱力最大，色淡者次之，而白者又次焉。故黑

1. 參看 Hall, A. D. The Soils PP. 122--129

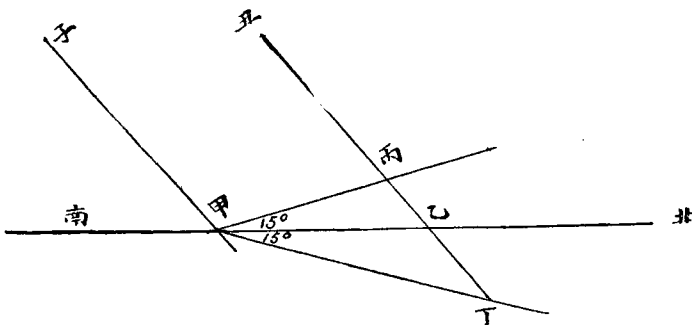
色之土，吸日光熱最多，而溫度高於淡色者，試設二盤於日光下，載以同樣土，一則用炭末一層蓋其土面，一則用石灰末蓋之，斜插寒暑針於其中，溫度上升率之遲速有顯然可見者。

(三)土之傳熱性 土壤傳熱，前節論土層深淺溫度變移已畧言之，其傳導之緩，以日月計，故土壤非善傳熱，而太陽之熱不易深入土中也。雖然，不善傳熱，而傳熱度仍視其理化性質如何各有等差，大抵砂土傳熱較易，粘土次之，腐有機質土最劣。故砂土之熱比較深入，然受熱易，放熱亦易，故其冷亦較速，腐植質色黑吸熱多，然以不善傳熱，故受得之熱，祇在表層，表層下依然寒冷。又巖石礦物傳熱均易於水，而水又易於空氣，故土壤組織愈密，含氣愈少，而傳熱愈易；結構愈疏，含水愈少，而傳熱亦愈難。檢查土壤之傳熱性，可以炭烟塗黑金屬箱入土於其中，再插入寒暑表，與熱之來源相接觸，觀其達所定溫度需幾時間便得，或熱土壤，俾升若干溫度，再入此箱中，置諸冷處，觀其下降若干度需幾時間亦得。又或入土壤於長方箱中與熱源接觸，併插入寒暑表，檢其溫度，以測其傳熱速率，亦是一法。土壤吸熱速，放熱亦速，濕潤土壤較之乾燥土壤放熱緩，緊密者較之疏鬆者放熱緩，此因空氣較水導熱尤難，疏鬆土壤中所有空氣較多也。

(四)土面蒸發 土中水分蒸發時，則溫度下降，冰化為水時，每公分吸收80熱單位，水化為汽時吸收53.7熱單位。反之，汽化為水，水化為冰時，則放出同量之熱。水由土中蒸發時，大部分之熱耗于化水為汽，而溫度下降。土中含有多量水分時，溫度上升甚緩，稱為冷

土或晚土。反之砂土含水量少，溫度上升易，稱為暖土或早土。然經排水或多量蒸發後，冷者可變為暖。粘土腐植土或未經排水之濕土，溫度常低，不適宜於植物早期之發育，實由於蒸發作用者不少。茲再舉例以申明之，譬如每日由一方呎土中蒸發半磅之水，計需熱483.3單位，而此熱力大都取自土中，假使該項土壤為壤土，其假比重為1.25，含水分20%，則蒸發半磅水後，其溫度當降下15.5度（華氏）。但土中過剩水分既經蒸發或排洩後，土之比熱變小，溫度又易於上升。砂土因比熱小，且水分少，此所以溫度常高，傳熱亦易也。

(五)地勢之影響 土壤之溫度，亦受地勢之影響，舉凡傾斜之地，其傾斜度及傾斜方向均與其土溫有關係焉。考北半球之地，其傾斜南向之土每較北向者之溫度高，傾氏比較一紅粘土層深三呎其傾斜南向成十五度角之土，較在平原者溫度高華氏表三度。烏尼氏研究砂土之在小邱旁，向南傾斜成五十度角之土，較向北傾斜成十五度角同類之土，溫度高一.五。溫度之差如是其顯，試以附第三十二圖而說明其理由。



第三十二圖 地勢傾斜南向與北向對於光熱之關係

須知在北半球，北溫帶之地，時受日光之斜射；設如圖子丑二線爲一片日光射於平原，其所照臨之土幅員爲甲乙。假設甲乙之土，傾向南方十五度，則子丑之光照及甲丙惟甲丙小於甲乙之面積，以較小之面積，而受同等之太陽熱，其溫度自較高。又假設甲乙土傾向北方十五度，則其受熱之幅員爲甲丁，而面積大於甲乙，面積較大，而與受同等熱力之面積小者較，其溫度必較低。又向南之土在冬季時受日光之時晷較長於北向者，此又當注意者也。

距水平面愈高之地，其空氣土壤之溫度愈低，爲凍害每在山谷低下之地，深秋初春之際常有之，其故何也？蓋霜之降，每以夜間天清氣靜，反射熱大，表土忽變冷，而罩蓋其上之空氣亦受影響，但冷氣重而下降，積集於深谷低陷之處，冷氣積集愈多，低地之溫度愈降，而霜遂成，惟在高地，空氣流動易，冷氣降則有暖氣來以補之，故霜不易成，亦少凍害也。

(六)中耕 中耕後土面最初之蒸發速，及表面疎鬆部分乾燥後，蒸發銳減，故可保持多少溫度。又表土疎鬆，傳熱較難，故由日光而來之熱力，能聚蓄於表土，在春初可促植物早期發芽，但在秋冬則小；然耕鬆之土壤其溫度常較水耕者爲低也。

(七)有機質 土中有機質愈多，傳熱性愈弱，土壤可保持較高溫度。

第五節 土壤之空氣

土壤中除必須含有相當水分外，亦有相當之空氣，即土中空隙處，水分之外，必有空氣存在，二者之多寡，

影响土性不少,若各爲百分之五十時,稱爲最適合云。

(一)土中空氣之用處 土中有無數細菌之繁植,植物營養料之供給,有機質之分解,端賴細菌作用,而細菌賴空中之氧氣以生活,植物根部之呼吸,種子之發芽,亦需要氧氣,觀發芽時與土中二氧化碳之排出,可以知其於生理上有重大關係矣。在水分過多之土,空氣甚少,植物根部不能發達。種子腐爛,細菌作用不行,更足以証明其重要。

(二)土壤中空氣量 土中空氣之多寡以孔度與結構之如何爲轉移,大概孔度愈高之土壤,論理空氣存量愈大;但土壤孔竅多者,往往含水亦多,阻止空氣之流通,粘土與砂土卽其著例也。土粒之成團粒結構者,其孔竅大,故雖有充分之水量,而空氣之位置仍屬不少。是故疏鬆之土壤,較堅密者含空氣多,富於有機質之土壤空氣多,濕潤之土壤空氣少,此自然之理也。

(三)土中空氣之組織 土中空氣之組成,與地面空氣無大異,不過有多寡之別,碳酸氣較多,是其特性。今選錄布升高及李維氏(Boussingault and Lewy)分析土中空氣之結果表示如下。²

表(59)各土中之空氣重成分

土 質	容 積 百 分 率		
	二 氧 化 碳	氧	氮
砂土(森林地底土)	0.24	—	—
壤土(森林地底土)	0.79	19.66	79.55

2. 參看 Tohnson S. W. How Crops Leed. 1891. P. 219.

粘 土	0.66	19.66	79.35
栽石刁柏之土一年未施廐肥	0.74	19.02	80.24
栽石刁柏之土新施廐肥者	1.54	18.80	79.66
施廐肥六日後砂土	2.21	—	—
施廐肥後十日砂土又降雨三日	9.74	10.35	79.91
廢棄菜肥葉堆	3.64	16.45	79.91

觀上表成績，土中空氣在各種不同狀況下，碳酸氣量有多寡不同，氧氣量隨碳酸氣而變，氮氣則無甚增減。

(四) 土中空氣之流動 所謂流動者，指地面空氣與土中空氣互相交換之意，此種作用，最為重要，其理由有三：(a) 供給土中氧氣，(b) 供給氮氣，(c) 排去過剩碳酸氣。倘缺乏氧氣，植物之根與細菌不能遂其生活機能，缺乏氮氣，細菌固定空中游離氮氣之功能不著，有過剩之二氧化碳，則不適于植物細菌之生存，是故空氣流通關係甚重也。又考土中空氣流通與下列各項頗有關係：

(1) 擴散 (Diffusion) 採集某種氣體於瓶內，若不加以阻塞，雖其比重較空氣重，必漸次擴散與空氣混合均勻。如表土中雖含有較多二氧化碳，但常因擴散作用不致存量過多；土中空竅總面積愈大，則擴散愈速。故粘土之物理學性質良好者，其透氣性往往較砂土良好，但事實上砂土透氣性良好者，或由於其他關係，非僅孔竅之一端也。又在高溫度時，空氣分子之運動力增加，故流動較速。

(2) 排水 土中水分減少，則空氣進達之孔竅增多，如是新鮮空氣流入，以補排去水之位置，植物吸收水分時，亦有同樣現象，不過效力遠不如地下排水耳。

(3) 氣壓變遷 據波依氏 (Boyle) 定律，壓力減則氣體之容積增，壓力增則容積減。土中孔竅，若一立方呎內有百分之五十，其中 25% 為空氣充填，所佔容積當為 432 立方吋。若增空氣壓六十分之一時，能由空中逼入七立方吋空氣於土內。反之氣壓減少六十分之一時，土中空氣膨脹，驅出等量之空氣于空中。

(4) 溫度變遷 氣每因溫度上升而增大容積，據氣體定律，攝氏表每上升一度，其體積膨脹二百七十三分之一。若一立方呎土壤，含有空氣之容積為 432 立方吋，每上升一度，其空氣體積約增加一立方吋。在春夏季時，四吋深之土，其溫度差異平均約十二度，則每晝夜間每方呎內空氣容積可變換十二立方吋。如此，則晝間土中空氣散出，夜間溫度低時則空氣又必滲入矣。

(5) 耕種 耕種足以使土壤疏鬆，經一次犁後，土中空氣完全與地面空氣交換。

(6) 風 大風或微風吹過地面時，土中空氣隨之流動。

第十一章 土壤之有機物質

土壤爲岩石崩碎風化之遺留物，若無有機質之混入，純粹之岩石粉末，不得稱之爲土壤，有機質爲土壤必要成分，植物之生長，與細菌之繁殖，所需要之養分及能力 (Energy) 皆利賴之，藁稈中養分經分解後，即可供植物之需求。此外生出碳酸氣，與有機酸，若溶解於土壤溶液，土中礦物質遇之，可助其分解，使植物得多量之養分供給。至於物理方面，有機質可使土壤疏鬆，增加保水力。總之欲土壤出產力良好，並欲保持地力者，不可不使土壤有充分有機質之供給，而犁入前作物之藁稈，使之腐敗，尤爲要圖也。有機質之存在土壤中者，包括植物質，及動物質未經分解，與已經分解所生之各種物質而言。此中可分爲三種：(甲) 容易分解者。(乙) 不易分解者。前者分解易，可供植物之需用，後者因其分解過緩，頗難供植物之營養。(丙) 煤狀物質，此物質毫無營養價值，不過使土壤增其黑色程度而已。第一種爲土壤中有機質最要成分，普通由一切有機肥與綠肥供給之。在同一土地，若行連作制過久，容易分解之有機質，漸次氧化無遺，卒致土壤惡化，龜裂固結，作物既難盼其相當出產，土地亦漸變爲礮田，欲保持地力，當繼續供給容易分解之有機質。此外如分解遲緩之有機質，所應供給者，如藁稈等類是也。

第一節 土壤中有機質之分量

土壤中有機質之含量，隨地而異，卽在同一田地，亦

有彼此不同者。普通土壤中有機質由極微量以達百分之九十。低濕之地，水草豐富，含量最多，砂土最少，但土壤中究應含有機質若干，方為合宜，則不易斷言也。一種土壤含有百分之五之有機質，其生產力不及僅含百分之二者有之，蓋分解有難易，效率自有不同，未可拘於多寡也。惟土壤之有多量有機質者，生產常豐富，此常見之事實也。考土中有機質之多寡，依各種情形而有差異，茲舉其數端如次：

(一)水分 水分對於土中有機質之增加，可分兩方面言之：(a) 助植物之生長，(b) 多量水分，使有機質不易分解，積之既久，則變成泥礫，與土壤無機成分混合，遂變成泥礫土。即水分適量之時，土中有機質亦不易完全分解，砂土中水分極少，空氣甚易流通，氧化盛行，故有機質之存量甚少。

低濕之地，較之高原，常含較多之有機質，因植物容易生長，有機質分解較緩也。若洪水泛濫其地，更沖積若干之木葉草芥等物質，水分既多，不易完全分解，故使有機質愈積愈多之機會。

雨水稀少地方，土壤大都缺乏有機質，因水分過少，不易供多數植物之繁茂，即犁入土中之有機質，亦容易消失也。

(二)原生植物之種類 草原之地，古時較現在為多，新成之地最初往往無樹木生長，只有野草繁殖其間，細根密布，深達數尺，每年一部分腐敗分解，他一部殘留聚積，年復一年，土壤遂變黑色，而含有豐富之有機質量。據依里諾大學農科曾分析三百零二個供試土，¹ 其表土 6.75 英寸中含有有機質 4.53%，等於每英

畝四十五噸之量。此不過指丘陵地與草原地而言，低濕地未計及也。致於該供試土之底土 6.75—20 英寸間尚含有 2.8 % 有機質云。又考俄國黑土齊諾仍 (Tchernozem) 之成因，或即與上述者相同。茲將高士的夫 (Kosticheff) 研究該土中所含草根多寡，及腐植質存量之比較列表示之於下。² (以草根為標準其量作為 100)

表(60)俄國齊諾仍黑土中草根及腐植質存量之比較

土 深 度 (英 寸)	1		2		3	
	草 根	腐 植 質	草 根	腐 植 質	草 根	腐 植 質
0—6	100	5.42	100	8.11	100	9.64
6—12	89.1	4.83	63.9	5.19	80.3	7.77
12—18	66.9	3.62	48.3	3.92	70.0	6.71
18—24	47.3	2.56	35.0	2.84	58.4	5.81
24—30	47.3	2.5	26.0	2.11	38.2	3.57
30—36	34.6	1.88	18.1	1.47	33.0	3.18
36—42	23.9	1.29	6.3	0.51	16.2	1.56
42—48	14.4	0.78	—	0.70	—	—
48—54	6.7	0.36	—	—	—	—

以上之分析結果，可以代表半乾燥或亞潤境地之草原地。此種地方最適植物細根之深入，在潤濕境地，

1. Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management PP. 145

2. Hilgar—Soils PP. 130

可見同樣之現象，不過大部分之根聚積於表土耳。而樹蔭之下，原始野草逐漸滅跡，代野草而起之植物對於土壤有機質之貢獻甚少，落葉枯枝之在地面者，往往完全氧化腐敗，或被焚去。土壤中已經聚積之有機質，則漸次受硝化及氧化等作用，而漸次低減，土壤顏色終至由黑色變為灰白色。若土壤達到此種程度時，他種樹木起而代之。此種樹木喜灰白色或缺乏有機質之土壤也。如上所述森林之地，其有機質低減，比較原始之草原地，常相去在半數以上，是故原生植物之過程如何，與其土之有機質有密切關係也。

(三)石灰質 土壤之富於石灰質者，大都含有多量之有機質，石灰質，有助長植物生長之效能，而於豈科植物為尤著，若管理適當，尙能防止腐植質之流失，故土壤之富於石灰質者，亦富於有機質也。

(四)緯度 寒帶土壤通常含有較富之有機質。溫帶之地雖適宜植物之繁殖，但不適於有機質之保存。証之美國米西西比河流域風積土之分析結果，可以瞭然。據毛西亞氏 (mosier) 所述，在依里諾州內，沿米西西比河之風積土，其土質大致不差，但在南部者，所試之土，有八個平均含有機質 1.2%，而在北部者試驗之土，有四個平均含有機質 2.86%。又他種同樣土壤，在北部者往往比在南者富於有機質云。³ 據詹尼 (Jenney)⁴ 氏之定律，土壤中有機質及氮素之含量，在一定之雨量環境下，隨溫度及日照之增加而遞減。溫度在攝

3. Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management, PP. 145

4. D. W. Cutler and L. m. Crump—Problems in Soil microbiology—the Rothamstead monographs, PP. 28—29(1935)

氏二五度以上,有機質之分解較有機質之生成爲速,熱帶土壤常超過二五度,故有機質之存在土中者少。

第二節 有機質之變化

新鮮動植物質,混入土壤後,受細菌之作用,起物理的與化學的變化,漸次分解成爲一種褐黃色物,稱爲腐有機質 (Humus) 又名腐植質。此種分解作用,初時進行甚速,其後漸次遲緩,以至於完全停止。

土壤中氧氣之供給比較爲少,故有機質之氧化未易完全,而殘留物之組成頗不一致。普通言之,氧與氫之成分隨進行之程度而遞減,惟氮與碳之比率則遞增。腐有機質中之氮,因分解時外界情況不同,常比原來物質多三倍以至二十倍,碳氮比率 (Carbon-Nitrogen Ratio) 常爲 10:1 云。

當腐化進行之際,由複雜變爲簡單,其生成最終之物質,以碳酸氣及水爲最普通。炭,或泥炭與褐煤之狀態相似者,亦復不少。此外含氮化合物分解時,生成尿酸,氮氣硝化物,與硝酸鹽等最爲普通。茲將有機物分解之次序,與其生成物名稱表解如下:

植物肌體	腐植質	最終生成物
→	→	→
未分解之物質	中間物 (半經分解尙繼續分解者)	單簡物質 (完全分解)

此表示各種有機質,包括植物體內各種有機化合物,分解後生成之簡單或複雜物質,或分解後再結合而成之化合物。若將各種物體以化學的方法更詳爲分析,則其數不可勝舉,容另章再述(第十三章)。惟吾人須知凡植物所能利用者,概屬簡單之分解生成物,

雖中間生成物亦有能利用者,然不過少數耳。

第三節 腐有機物之氮質含量

土壤乾濕影響於腐有機物之氮質含量甚鉅,雨水稀少之地,腐有機質常較雨量多者含氮多。據希路吉氏⁵研究,加州之土,其中腐有機物隨所在雨水之多寡而各有不同。惟腐有機物中之氮質量,則與雨量適成反比例。茲選錄其分析如下:

表(61) 土中腐植質與降雨量之關係

土 別	乾旱地之土	乾旱地稍加灌溉之土	濕潤區土
腐有機物	0.91%	1.06%	2.45%
腐有機物中氮	15.23%	8.38%	5.29%
土中之氮	.135%	.099%	.135%

由此可見雨水少地方之土,雖含腐有機物量不多,然其中氮質成分較高,此由分解程序有不同云。

又據毛西亞氏⁶所述,濕潤區之土,其有機物所含之氮量殊不一致。據研究所得,草原之土壤經試二十六種平均含有機質 5.1%,內中氮質約 4.88%。森林地土壤經試者三十九種平均有機質 1.93%,內中氮質 5.09% 云。

考土中腐有機物之氮質量,與其原始物之性質有關,此經士乃打氏(Snyder)研究者。茲錄其結果⁷如下:

5. Hilgard—Soils PP. 136—137

6. Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management, p. 147

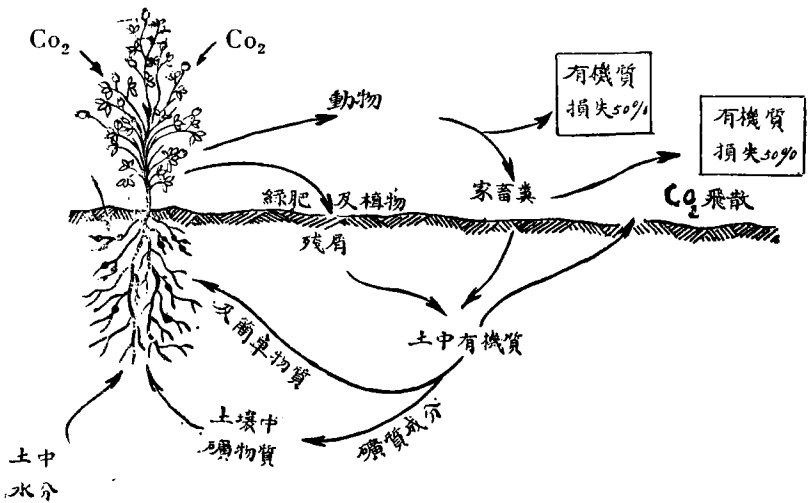
7. Snyder, Soils and fertilizers, PP. 105(1908)

- | | |
|-------------------|-----------|
| (1) 由肉屑而成之腐有機物 | 10.96% N. |
| (2) 由新鮮紫雲英而成之腐有機物 | 8.94% |
| (3) 由牛糞而成之腐有機物 | 6.16% |
| (4) 由燕麥稈而成之腐有機物 | 2.50% |
| (5) 由木屑而成之腐有機物 | 0.32% |

由此可見腐有機物中氮之含量，與其始原物之氮量，有密切關係也。

第四節 土層中有機質之來源與分布

土壤中有機質之給源，幾完全來自肥料，與作物之莖稈，及其殘留物。大概地面上之植物幹部犁入土中，成爲表土之有機物。考有機物之量，大抵土層愈深而數量愈少，三尺以下，其量甚微。惟乾旱之境，有機物之分布較深，以其地情形適宜植物根之發達而深入土層也。



第三十三圖 土壤有機質之來源及其循環變化

低濕之土,有機物往往聚於表層,稍下則其量驟減,界線判然。森林土壤中之有機物之分布,不若草原土之均勻。沖積土之有機質之分布常較任何土為深。此外作物根之深淺,田鼠之有無,其於有機質之分布,亦大有關係。今舉毛西亞氏所述⁸分析衣利諾州各土中有機物之成績以示其例:

表(62) 美國衣里諾州各種土壤及其深淺與有機質量之比較

土 別	試驗數目	表土0-6.75吋	6.75-20吋	20-40吋
棕色埴壤土	123	5.3%	3.1%	0.91%
黑色粘壤土	29	7.03%	3.58%	1.02%
黃灰色埴壤土	51	2.33%	0.89%	0.57%
黃色埴壤土	35	1.76%	0.69%	0.48%
灰色埴壤土 其下重粘底土	18	2.40%	1.31%	0.7%

上列成績表示土層愈深,有機物質量愈減,至為顯明也。

第五節 有機質之效用

有機質對於土壤之效用,非如氮,磷,鉀等之簡單,蓋有機質混入土中,直接或間接影響土壤之物理,化學,或生物等作用,其效用自必複雜而較高。但效用之高低以增加出產之多少為標準,而生產之豐歉,又以下列各端為轉移。

(一) 團粒結構 團粒結構,為壤土與粘土之重要

8. Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management, PP. 148—150

性質,水分與空氣之流通,受其影響甚鉅。粘土之缺乏有機物者,往往無團粒之結構,沃土可變為磽田。但有機質一經增加,則其效力立見。

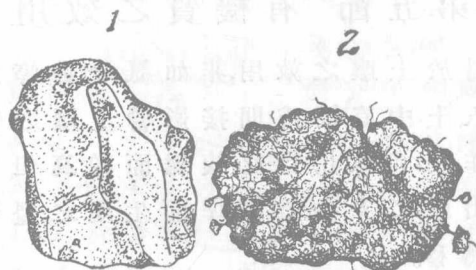
(二)保持水分 土壤中水分之保持,含增加有機質外,無較完善之法。此由於有機物質具有疏鬆之組織。若與土中無機部分混合,可以使土疏鬆,減緩毛細管水引力,並可以改善其他物理性質。砂土滲漏易而保水力甚弱,若加入相當有機質,則保水力立見增加,茲據毛西亞氏所經驗者表示其成績如下。

表(63)有機質多寡與保水力之關係

土壤一百公分	粗砂(無有機質)	粗砂含5%坭碳	粗砂含10%坭碳	粗砂含20%坭碳	坭 碳
含水(公分)	13.3	18.6	24.7	40.0	184.0
增加百分率		40.0	85.7	200.7	1283.4

(三)粘閉 (Puddling) 粘土之缺乏有機質者,其土粒不能團結,乾時易結成塊,且易龜裂,若再潤濕之,因水膜張力之關係,土粒之結合大有變動,氣孔閉塞,或

第三十四圖 有機質改良土壤粘性之效能



無有機質粘閉狀態

團粒結構

減少，使水分不易通過，此種現象名之曰粘閉，大凡粘土之缺乏有機質者，若過濕時，耕作最易膠結，須經長時期之天然力作用，漸漸形成團粘結構，方能恢復原狀也。

(四)增加地溫 有機質使土壤呈黑色，吸熱既多，溫度自高。大凡業經排水之土壤，較未排水者溫度為高，土色愈黑者溫度愈高，土色愈淡者，溫度愈低。此種土色之影響溫度，在表土四寸深，於晴明之日溫度之差可有華氏四至十度，故欲植物之早期成長者，黑色土壤為適宜也。

(五)防止由于侵蝕崩塌之損失 土壤因雨水逐年沖刷，以致崩壞，成為凸凹缺陷之地勢，完全失却農業價值。地面流水愈多者，洗刷愈甚。大概缺乏有機質與氮質之土壤，最易沖塌，蓋有機質助土粒之團結，水分之吸收，氮質助植物之繁茂，俾生成多量有機質，以犁入土中；如是則地面奔逸之水，可以減少，洗刷自減。雖不能盡行制止，然有機質之裨益亦不少也。

(六)對於生物之影響 有機質不但供給生物之營養料，且增進土壤物理性質，利於生物之有益作用。間接亦足以促進化學作用焉。

(七)供給氮氣于植物 除施用肥料與栽豆科植物外，有機質殆為唯一之氮氣給源。故土壤中若缺乏有機質，作物大都感氮氣之缺乏，生長不茂。作物之現黃綠色者，多屬此因。氮氣肥料價值較昂，普通農家限于經濟，不能多購。每畝作物所需之量，自數斤以至二十餘斤不等（參看第一章內之表）。惟豈科植物所需之氮素，可不仰給于有機質，而從空中攝取之。

(八)團結砂土粒 砂土之團結力弱，空氣易於流通，故保水力亦弱，腐植質有增進此團結土粒之功能。

第六節 有機質之消失

高原之土，其表層每英畝普通含有有機質自二噸至十噸不等。此種數量，需數千年之時間，方能聚積至此。但一經耕種，則有機質之消失甚速。茲舉數端足以消失有機質者分述如下：

(一)耕種 有機質之分解多賴好氣性之細菌與黴菌，故森林地一經改變為農地，增加空氣之流通，陽光與溫度，適於微生物繁殖。據毛西亞氏所述每年土壤中有機質之損失，在棕色埴質壤土，每年每英畝損失約一千五百磅至二千磅。此中大部分由于作物之栽培，其餘則屬於天然力。試將未經耕種之草原土壤，與已經耕種之同一土壤比較，則後者比前者每英畝約減少十五噸左右。他種土壤含有有機質較少，其損失量自然較少，未可共論也。有機質損失多寡，亦視所種作物之種類而有差異。作物之需要時常中耕者，需要較多之氮質，故有機質分解較多也。西北新墾諸地，往往不施肥料，而五谷豐登，數年後土性變惡，以至不能耕種，棄徙他處者，比比皆是，此或初年土中富于有機質，其後有機質消失殆盡，土壤由黑漸轉為淡白之故也。

(二)崩塌或侵蝕 土中之有機質，可因崩刷而損失，在平原之地，或保護週到之土壤，此種損失甚少，但在高低懸殊斜坡之地，因土面水之奔流，土壤隨之崩刷，挾帶有機質而俱去，現出一部分之底土者，致一般

作物栽植困難，補救之法，以維持其土之有機物為主。

(三)地下流失 有機質分解時一部分變為溶解性之物質，當露雨時期，其一部滲入底土而流失。此種現象在酸性土尤著。坭碳土之排出水每呈黃褐者，即溶解性有機酸有以致之也。土壤溶液中，倘含有少量之碳酸鈉，氨氣，或其他鹼性物質時，對於腐有機質之溶解為之增多云。

(四)燒土 我國農人收穫農作物時，每將一切藎稈盡充燃料，在兩廣當秋高氣燥之時，農民往往放火燒山，對於幼小樹木，與有機質之損失甚大。據士乃打氏研究，緬尼蘇打州 (Minnesota) 興加利 (Hinckly) 土壤，當一八九三年森林火災之前，土壤中含腐植質 1.69%，氮素 0.12%，火災之役，損失氮素計每英畝二千五百磅，約三十噸之有機質。由此可知不但地面之有機質，即土中之有機質亦多被燒失，其影響之大可見矣。

(五)由于氧化及硝化作用 土壤之肥沃者，由于細菌繁殖，氧化作用盛行。在適宜溫度，水分，與空氣流通狀況之下，有機質消失甚速，而于耕作頻繁之集約農業之土壤為尤甚。但有機質之消失，同時生出其他物質，為植物所必需者。考生產一百斤玉蜀黍需氮一斤，小麥需 1.86 斤，稻需 1.2 斤，而此等氮質皆從分解有機質而來。但土中無作物生長時，其氮質亦易隨水流失，不可不知也。

(六)由于施用燒石灰 若施用燒石灰 (Burnt lime)，土壤中有機質甚易消失。據美國平司溫尼亞州 (Pennsylvania) 農事試驗場之試驗，施用燒石灰，經二十五年，其土中有機質較施用未燒之石灰者，每英畝少氮質

37.5 磅。其數與三十七噸半之廐肥中所含氮素相當。則燒石灰，影響土中氮質與有機質之損失量亦足注意也。

(七) 由于休閒 休閒者，無農作物之栽培，使土地休閒一季，同時土地仍加以中耕除草之謂也。在歐美雨水稀少之地常行之，其目的在滅除雜草，儲蓄水分，增加硝酸鹽之積聚，改良土壤之物理性質等，如此可使下次作物生長較為良好。但此法一行，若該地雨水多降于冬季，春季土中，由有機質分解生成之可溶性營養料，有隨水流失之虞。據傾氏之試驗在一千九百年春季，其土壤經休閒者，較未休閒者，每英畝多含硝酸鹽 245.7 磅。在雨量不多，可溶性養分不易流失時，休閒實為有利。若降雨量太多則非所宜也。

第七節 有機質之定量

土壤有機質不能直接定量，故現行間接方法，無一可稱完善者。茲將現行各法述之如次：

(一) 燃燒損失法 此法於泥碳土及砂土內含有少量化合水時，求有機質之大約數用之。取五公分乾土壤，置磁杯內燒至赤熱，使有機質燒盡為止。俟冷以數滴濃碳酸銨溶液潤之，蒸發至乾，再燒至一百五十度，以排除過剩之氮氣。由此所失之重量，代表土中有機質，化合水，及揮發物質，故此法所得結果，常較氧化有機物之碳質法所得者高。

(二) 氧化法 此法有兩種：(a) 則將土置於氧氣中燃燒，(b) 則用鉻酸 (Chromic Acid) 以氧化土壤。土受氧化，其中有機物之碳質，變成二氧化碳。以氫氧化鉀吸收

之，求得碳酸氣之重量，乘以恒數0.471，則得有機質之重量。

第八節 土壤中有機質之保持及增加

保持土中有機質，為管理土壤保全土力之重要問題。蓋有機質與氮質有連帶關係，影響大多數土壤之生產力也。考增加有機質之法，在有適宜之輪栽，與作物之管理。購買飼料如穀實乾草之類，或施用有機肥料，固可增加一部份之有機質，但仍以選擇適宜該地之綠肥作物而栽植之為上策。豆科植物用作綠肥者，最為普通，紫苜蓿、紫雲英等，為豆科植物中之最好者。但需要多量之石灰、磷酸及其他礦物質亦較他項作物為多。茲分述增加有機質之法如下：

(一)施用石灰 多數豆科植物，或其他農作物，不能在酸性土中發育旺盛；欲改良此種土壤，非施多量之廐肥與石灰不可。據多數之試驗，以未燒之生石灰粉末為上選。石灰可以中和酸性，同時可供給植物需鈣之養分。降雨多之地，石灰流失量，每畝每年由十五至二十磅。故許多地方，土中石灰質幾完全流失，而成酸性。但鈣之成分缺乏，足使出產減少，而豆科植物頗難生長其間。施用石灰普通數年一次，或每年一次，應施用若干，宜酌量情形而檢定之。

(二)施用磷肥 大多數土壤，缺乏磷酸；施用磷酸肥料，足以增加出產，并適于豆科植物之生長。若用豆科植物作綠肥，更可得多量有機質犁入土中，腐敗後生出有機酸，可助長土壤磷酸及鉀質化合物之分解。

(三)牧草場有機物之聚集 農家以牧畜為主業

者，較諸以穀類爲主業者，其田土中之有機質易于保存增加。蓋以一部分之土地用爲牧草之生長，放牧其間，牲畜之糞尿，留存土中，植物之根，亦留存土內，積之累年，其量增加。若經犁起，再種他物，則其中之腐有機質，足以營養作物。若牧草爲豆科植物，則除供給有機質外，更添加土中氮質不少矣。

(四)施用綠肥 施用綠肥爲增加土中有機質量主要方法之一；無論何種作物，均可用作綠肥。但以豆科作物爲上選。然此亦應就地方情形而定，如生長期之長短，土壤之性狀，耕作之方針等，均爲選擇上應注意事項。大豆，豌豆，落花生，蠶豆等，爲一年生之良好豆科作物，用爲綠肥者亦最普通，其他如紫雲英，紫苜蓿等，在歐美用之最廣，在我國除江浙一部分外尙少栽培，此亦極宜介紹或推廣者也。

(五)栽培覆蓋作物 有時栽培一種綠肥作物，其目的在使冬季休閒期間，土中生成之硝酸鹽不致流失，此種方法行于砂土最爲普通。但他種土壤亦收良好效果。在北方收小麥之後，南方收稻之後，再種黃豆或蠶豆，或其他適宜作物，使地面無空間，待至此種正項作物之前，犁入土中，增加有機質，誠一舉兩得之法也。

(六)施用廐肥 廐肥亦爲土壤有機質來源之大宗，但普通農家不能以此爲唯一之供給，因有機質經動物消化後，僅留小部分遺存排泄物中，據何金氏 (Hopking) 關於此問題之研究結果，每噸之飼料，僅五六百磅之乾物質留存糞中，換言之不過百分之二十至三十而已。

(七)作物輪栽 作物中有須時加中耕者，如玉蜀黍，高粱，粟，馬鈴薯等。有不須時加中耕者，如大麥，小麥，燕麥之類。大概前者因時常中耕之關係，土之氧化作用盛行，有機質易於分解。後者分解較緩，故便於有機質之保存。輪栽之目的，第一在使二者互相更換，第二使深根與淺根者更換，第三使豆科植物，與非豆科植物更換。夫如是而後土壤之物理性質可以增進，出產力可保長遠。然究應如何輪轉，要視各地方情形，與所經營之農業屬於何種，土壤之性質，有機質之多寡而後定。富于有機質之土壤，與缺乏有機質者，處理方法自然不能相同。前者所產之藁稈等，可以賣去，後者則應以其大部分還歸土壤。又缺乏有機質之土壤，在一輪迴之中，宜多栽較富于有機質之豆科作物；且此項豆科作物，宜于可能範圍中，盡量犁入土中，以供有機質之量。若將全部作物收穫，只有有機質之減少，而無有機質之增加，則土性日益惡劣，影響所至，非淺鮮也。供給有機質之作物，以生長迅速，產量多者為上選。此應體察地方情形而定取舍也。

第十二章

土壤微生物及其作用

土壤不僅爲岩石或其他原始物質 (Mother materials) 受氣候的影響而變成,且因種種生物之作用而增進其風化力,或使空氣水分易於流通,或分解有機質直接或間接使土壤膨軟,改良其物性質,在討論微生物之先,畧就大生物言之:

第一節 大生物

(一) 蚯蚓 蚯蚓影響於農事甚大,達爾文謂每年每英畝地,其土壤爲蚯蚓所吞食而排泄者約十噸,蚯蚓吞食土壤以有機物爲養料,其餘礦質復排泄而出,由是土壤遂變爲膨軟,結成小粒結構,且土壤中穿無數之小穴,空氣及水分較易流通。又蚯蚓將下層土壤翻轉,至於地面,亦可使空氣流通。有時肥沃之地,如爲水浸淹多時,致將蚯蚓浸死,其地亦漸變爲瘠土。大抵粘密之沃土中,蚯蚓多,輕鬆之砂土甚少,可見沃土與蚯蚓相需甚殷也。

(二) 蟻及其他昆蟲 蟻之中以白蟻對於土壤之影響最大,熱帶及亞熱帶之土地中無處不有其踪跡,對於有機質及林木之腐朽有極大之功用。增加土壤之通氣,助微生物之繁殖。

昆蟲效用於土壤雖不如蚯蚓及蟻之大,亦不能全視爲無益。棲息於土中之昆蟲如地蠶,螻蛄等,在農作

物方面固損害幼根幼芽，在土壤之本身言，穿小孔於地，能使土壤性質改變。

(三)較大之動植物 田鼠或其他嚙齒動物往往穿地爲穴，帶入有機物，其影響于土壤之物理性不少。植物方面如菌之大者，每令植物之木質先行損壞，由是細菌隨而利用之。此種損壞多在林木，在農作物之土壤中不甚顯著，農作物之根部腐朽之後，不獨使土壤增加有機質，并使空氣水分等易于流通，以植物大根及幼根遺留無數之小孔也。¹

第二節 微生物

土壤微生物之種類甚多，其彼此之關係亦極複雜，最近十數年方得有相當之了解。關於土壤微生物之研究最著名者當推英國路典士得 (Rothamsted) 農事試驗場之各學者，美國之魏克士滿 (Waksman) 德國之威落格拉斯克 (Winogradsky) 等。然大多數之工作皆集中于適當方法之探求。

土壤爲一天然之培養基，含有各種之養料，然各種成份之多寡，水分，溫度，空氣之供給，反應之如何，稍一改變即可影響微生物種類上之消長，功能之效率等。故欲某種有益之微生物逞其作用，不能不研究其最適宜之環境而助其繁盛。欲避免某種微生物之活動亦不能不于土壤管理上而加注意也。

微生物之大者其直徑不過 0.05—0.001m.m. 小者即高倍之顯微鏡亦不能窺測其形跡。體積雖微而繁殖

1. Lyon and Buckman—The Nature and Properties of Soils, PP.

異常迅速，每公分土壤中平均有三四百萬，多者達數千萬。其數量之多寡，因土壤環境而有不同。大概輕鬆砂土與排水不良之重粘土中微生物之數少；水分適量及有機質豐富之土壤中多；直接受陽光之表土，與深達四五尺之底土少；而一尺內外最多。蓋表土具有較多之有機質，通氣良好，容易接受陽光之溫熱。除表面最上部二三寸較少外，大約隨深度而漸次增加，七八寸處為最多云。

因微生物生活作用，引起各種化學變化，影響所及，土中礦物質及有機質由複雜變為簡單，由不溶性變為可溶性，以便植物吸收利用；更因其種種之關係，土壤之肥瘠，農產之豐歉皆為之左右矣。

自微生物食料之來源言；可分為雜食與自食(Heterotrophic與Autotrophic)兩種，前者分解有機物以取得能力(Energy)，如蛋白質纖維質及其他碳水化合物之分解是也。後者利用二氧化碳氣體及無機物為養料，以取得構成細胞組織上所需之能力。例如空中氮素之固定作用，硝化作用是也。

自對於高等植物之關係言；有為活物寄生(Parasites)者，分解活物身體組織以取得養料，往往為高等植物之病原菌(Pathogenic)，如棉、麻、豆、西瓜、煙草、十字花科之作物等，或引起銹病或使根爛皮傷。此種微生物大抵為絲狀菌或分裂菌，依反應及其他環境而各逞其作用。如土壤施以石灰，反誘致馬鈴薯之疥疤病是也。有為死物寄生者(Saprophytes)專分解已死之動植物遺體，由複雜而為簡單。此於土中有機質之分解甚為重要。然此中有極難分別者，有時為活物寄生，有時為死物

寄生者,所謂 Facultative Saprophytes 者,多數土壤之絲狀菌具有此特性。

再以對於空氣之需要言:有好氣菌 (Aerobic) 與嫌氣菌 (Anaerobia) 之分,前者需要空氣之存在,後者雖無空氣亦可繁殖,但間接分解氧化物而取得所需要之氧氣云。

第三節 微生物之種類

土壤生物可大別為 (1) 絲狀菌或黴菌 (Molds or fungi) (2) 分殖菌或細菌 (Schezomycetes or bacteria) (3) 放射菌 (Ray fungi or actinomyces) (4) 原生虫 (Protozoa) (5) 藻類 (algae)。

(1) 絲狀菌 絲狀菌普通為多細胞植物,畧具根莖等特別器官之雛形,有時各具特別之機能。然無葉綠素,故不能不分解已構成之有機物以取得營養料。高等絲狀菌 (Acomycetes and Basidomycetes),其菌絲有段節可分,下等絲狀菌 (Phycomycetes),則成單細胞之菌絲,無段節之分別。

絲狀細菌在土壤中佔重要位置,尤其是熱帶及亞熱帶地方,其功用常超過於分殖菌,柯柏特氏 (A. Steven Cobert)¹ 謂有機質之分解及土中植物養料之供給,在馬來半島以絲狀菌之功特著云。蓋其比較的能適應於強酸性反應之土壤也。

(2) 細菌 細菌之形狀可分為球狀,螺旋狀,桿狀三種。桿狀菌平均長約 314 u 寬約 0.5 u (1u=1/1000 m. m.)。其細微可知。細菌體之大部分為水,平均約佔百分之

1. A. Steven Cobert—Biological processes in tropical Soils, PP. 59.
Cambridge, 1935.

八十以上,與高等植物同。據克藍麻 (Cramer)² 之研究桿狀菌之組成爲碳 50%, 氧 12.3%, 氫 6.0%, 灰分 9.16 % 云。細菌體內具有細胞核(Nuclens),係由半流動體之蛋白質而成,皮面有一層之薄膜,稱爲細胞膜,有時具有鞭毛司游動之用。

細菌如微菌不具有葉綠素,故除少數之自食菌 (Autotrophic bacteria) 外,均分解複雜有機物以資生長,其中一切化學的變化皆賴分泌之酵素 (Enzymes) 以誘致之。

土壤中水分之多寡,養料及空氣之供給,反應之如何,溫度之高低,均直接或間接影響其功能。普通以中性或微鹼性,最適合細菌之繁殖。

(3) 放射狀菌 放射狀菌具有特別之菌絲 (Hyphae and mycelium) 作放射狀,與高等微菌類 (Higher fungi) 相似以染色性言與真正細菌 (True bacteria) 之原形質相同,考土壤中微生物有百分之三十至五十爲放射狀菌,其主要之功用在分解有機質云。³

(4) 原生虫 土壤中雖有若干之原生虫,但其功用尙不十分明白,多數以細菌爲食料,亦有利用有機質及無機質爲食料者,大凡富于有機質之濕潤土地,原生虫最爲繁殖。而此種土壤一經蒞品或蒸汽消毒 (Partial Sterilization) 後,其繼續所種之農作物,往往比較豐收,路士氏等 (Russell and Hutchinson)⁴ 解釋此種現象,由于細菌與原生虫之消長。蓋原生虫對於蒞力及熱力

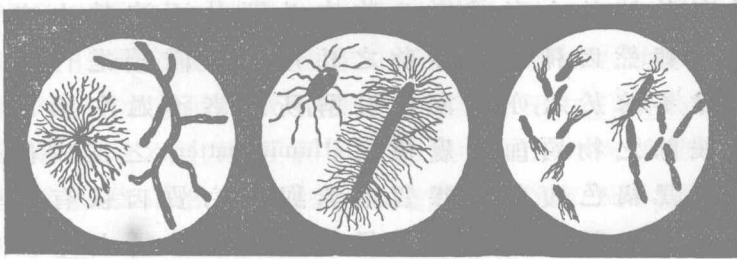
2. Cramer, Bul. 30, U. S. Bur. of Soils (1906)

3. Waksman, S. L. Principles of Soil Microbiology, PP. 572—573(1927)

4. Waksman, Principles of Soil Microbiology, PP. 757—763(1927)

之抵抗較細菌弱，經消毒後之土壤其中細菌數量，雖一時亦為減少，但妨害繁殖之敵既除，得較好之環境，較多之養料，故于短時間又復增加其數量，較原有數量而上之，影響所及，氮氣之生產量多，硝化菌更得製造多量硝酸鹽以供給植物，此生長之所以特茂，出產特豐也。此外學說尙多；加熱消毒之土壤其理化性質之改良，病虫害之驅除，毒質之消滅，亦其原因。現在溫室內常用蒸汽以消土中之毒，即能免除病害，得良好之收穫，即其例証也。

A B C D E F



第三十五圖 土中各種重要腐敗菌

- (A) Actinomyces. (B) Actinomyces, 之絲菌放大,
(C) 及 (D) Proctus, (E) B. Fluorescens, (F) B. Subtilis.

(5) 藻類 藻類含有葉綠素，故能行光化作用，造成炭水化物，可以供給固氮菌(Azotobacter)本體之能力燃料，故因藻類之存在而增進固氮菌之效能。日光為光化作用必要之條件，故藻類多生長於土壤之表面，或在表土內多少與他種生物混合生存。其營養料普通雖以無機物為主，亦有能利用有機物者。某種殆完全依賴有機物，分解蛋白質或其他有機氮質化合物。藻類亦有能利用空中氮氣者，如 Cystocus 及 Chlarella

Vulgaris⁵ 其著例也惟氮氣普通由土壤有機質化合物中得來,其餘營養物除炭氣外,亦來自土壤,因其由光化作用而生炭水化物等,故對於土壤之主要功能,在有機質之增加,至適於藻類生長之土壤必須有豐富之水份。

第四節 有機質之分解

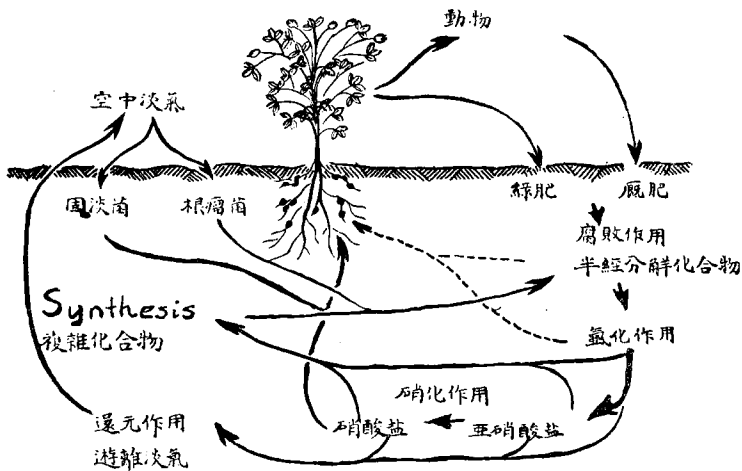
有機質在植物方面其主要者指纖維質,半纖維質,木素 (Lignin) 澱粉,糖類,脂肪,腊質,蛋白質等而言。某成分之多寡,依植物之種類及生長期而有不同。此等成分有易溶於水者,被微生物之分解易,不溶於水者,分解其難。然因種種微生物之作用,彼此繼續進行,纖維質雖不溶於水,亦可漸次分解,所餘者不過木素而已。此殘餘之物質即為腐植質 (Humic matter) 之主成份,係一種黑褐色複雜之膠質,木素與蛋白質因被有一層之脂肪及腊質物,故分解異常緩慢而存於土中云。有機質分解之快慢,普通以二氧化碳發生量而定,即分解速者,二氧化碳之產生亦多也。

有機分解之難易與其碳氮比率 (Carbon-Nitrogen ratio) 有大關係,如 c/n 比率大,氮素之供給量不足微生物之需要時,則有機質之分解停止,或從土中之他部分而奪取其必需之氮,則植物感受氮之缺乏。反之 c/n 比率小,氮之供給超過微生物所需要之量,則隨分解作用而生出氨氣硝酸鹽鹽類。不問土壤原來之 c/n 比率如何,腐植質之碳氮比率平均為 1:10,因其為陳腐之物質,比率雖小,其中之氮仍不易被植物之利用云。

有機質之分解,多賴好氣性之細菌與絲狀菌之力,森林地一經改變為農地,增加通氣及地面之陽光之輻射力(Radiation)與溫度,適於分解有機質之微生物之生長,無怪有機質之日益漸少也。

第五節 氮氣循環

氮以種種之形態而存在於土壤及植物體內,環境稍有變更,氮素化合物亦所在而有不同。氮之狀態最適於植物之利用者當以硝酸鹽類,其次為銨鹽類,據研究幼植物多攝取銨態,而在開花期硝酸態之攝取達於最高點,而二者在植物生長期中皆有攝取云,大約言之:土壤溶液中之氮素化合物被植物之幼根吸收,輸入植物體而構成複雜之植物性蛋白質,待種子及莖葉等翻入土壤,經種種微生物之作用,複雜化合物變為簡單化合物,最終生成氮氣、碳酸氣及水。氮氣

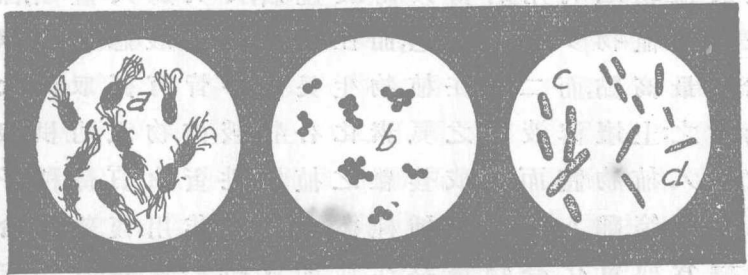


第三十六圖 氮氣循環

經微生物或化學的作用變為硝酸鹽類，或被植物利用，或由地下水而流失，或在某種情形再還原而為氮氣，或游離氮而飛散。

故一方動植物所構成之作用，他方却受微生物的功用而分解，使原有原素解離，可以供植物之需求。此二者之力使地球上各原素，循環變化不已，相生相養之道於是賴之。茲再分別畧述於次：

第三十七圖 氮氣循環重要細菌



(a) *Azotobacter Agilis*,

(b) Nitrate Bacteria

(c) *Urobacillus Miguellii*

(d) *Urobacillus leubil*

(一) 氮化作用 (Ammonification), 含氮之有機質腐敗分解，生成氮氣，此種變化稱為氮化作用。屬氮氣循環之一部，乃種種微生物及氮化菌生活作用之結果。考此種細菌有好氣與嫌氣性之別，而其効力大小快慢，自有不同，故細菌之種類，與被分解之蛋白質組成，或物理的與化學的情形，均足影響氮氣生成之多寡。下列各種細菌乃氮化作用之最著者。

B. Mycoids

B. Mesenteris

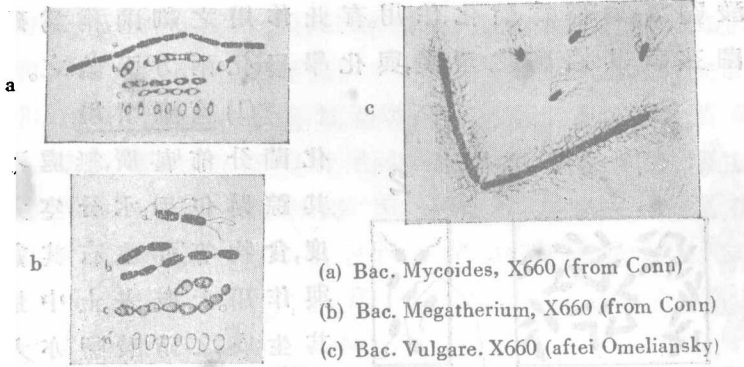
B. Subtilis

Sarsina lutea

B. Janthinus

Proteus Vulgaris

第三十八圖 各種氮化菌

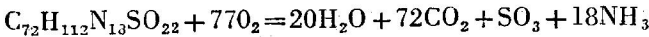
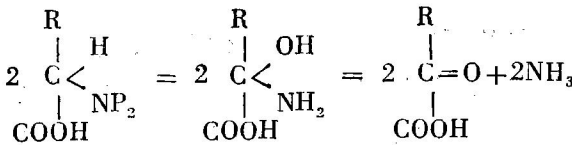


(a) *Bac. Mycooides*, X660 (from Conn)
 (b) *Bac. Megatherium*, X660 (from Conn)
 (c) *Bac. Vulgare*, X660 (aftei Omeliansky)

氮化菌在空氣、雨水、廐肥、及無論何種表土中。均存在甚多。有機質中氮質化合物變為氮氣，在農業上異常重要，蓋其多寡影響硝化作用之旺弱。農作物中雖有直接利用銨鹽者，但普通作物均以硝酸鹽為主。意夫侖氏 (Effnont) 曾論 Amino Acid 被土壤細菌變為氮氣之次序如下：⁶



但羅保白等 (Neubauber and Framberz) 謂 Amino Acid 在土中變化，非加水分解，而為氧化作用，其式如下：⁷



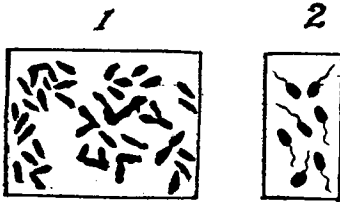
(二) 硝化作用 (Nitrification) 經細菌生活機能，由氮氣或亞硝酸鹽氧化而生成硝酸鹽者，稱為硝化作

6. Greaves—Agricultural bacteriology, pp. 531(1922)

7. Ditto pp. 293

用。但廣義言之，指有機氮素化合物，腐敗分解而成硝酸鹽者，均稱為硝化作用。有此作用之細菌，稱為硝化菌。茲就其適應之環境，與化學變化兩方面論之。

第三十九圖 硝化菌



1 *Nitrosomonas europaea* X660
2 *Nitrobacter* X240, Colonies on Washed agar

(1) 適應環境 硝

化菌分佈甚廣，無處不有其踪跡，但因水分，空氣，溫度，食物等，而左右其數量與作用。大概表土中最多，其生成之硝酸鹽亦大半聚集於此。肥沃之土較乾燥之砂土，所含有機質適當，并較含有機質過多

與過少之土佳良，而其硝化作用亦較盛。倘有氮氣之供給則雖完全無有機質之存在，而硝化亦可進行。又考酸性之土，絕對不適於硝化菌之生存，而石灰質為其生存不可缺少之物。亞硝化菌最適宜之反應為 $\text{PH}8.4-8.8$ ，硝化菌最適宜之反應為 $\text{PH}8.3-9.3$ 。⁸

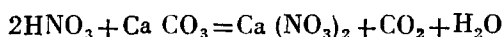
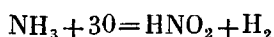
多量溶解性炭水化物，足以阻碍硝化菌之繁殖。但據經驗所得，普通土壤施用巨量廐肥，亦未見停止其生長，土中雖有豐富有機質，硝化作用却依然進行。且有機質之多寡，常為土壤肥瘠之標準。車士打氏 (Ches-ter) 關於硝化菌研究之結果，謂過量有機質如為溶解性炭水化物，必須經他種菌分解後，硝化作用乃能進行。門氏 (Muntz) 謂腐植質對於硝化菌無害，多量供給時且增硝化作用之速度云。⁹

8. Waksman—Principles of Soil Microbiology, pp. 801—814(1927)

9. Ditto, pp. 757—763

硝化作用最適宜之溫度，為攝氏十二度至三十七度，但最低限至三度時，亦緩緩生長。最高在四十九度，硝酸鹽之製造亦不停止。

(2) 化學變化 氮氣最初變為亞硝酸，再變為硝酸或硝酸鹽。此兩種變化由不同之細菌，各司其事。前者為 *Nitrosomonas* 後者為 *Nitrobacter*，均為一種氧化作用，示之如下：



生成之硝酸，若土中有充分石灰質，則迅速變為硝酸鈣，故良好土壤中無硝酸之存在，而盡變為硝酸鹽。又因其為一種氧化作用，故無相當之空氣，或排水不良時，亦難進行。

(三) 硝化還原作用 (Denitrification) 硝酸鹽類經細菌作用，再分解而成亞硝酸、氮氣，或游離氮氣者，稱為硝化還原作用。與硝化作用完全相反。在適當狀況之下，此等還元生成物可再變為硝酸鹽，利於硝化還原菌生長之環境；為(1)缺少空氣，(2)過多有機質，(3)有硝酸鹽之存在。

硝化還原菌，亦需要氮氣以營生活；無空氣以供給時，則將硝酸鹽還原為亞硝酸鹽、氮氣或氮氣，以取得氧氣。若土壤一經改良，而有相當空氣供給時，則再經硝化菌作用，變為硝酸鹽。至有機質則為分解硝酸時，供給細菌能力之泉源 (food for energy)。在普通情形，細菌之能力由氧化氮氣為亞硝酸鹽及硝酸鹽而取得。此時因有空氣之供給，不必再分解硝酸鹽以取得氧

氣也。

硝化還原菌，在土壤及廐肥之內甚多，尤以馬糞及乾草為最。是故硝酸鹽與馬糞或乾草共同施用時，必遭氮氣之損失。又巨量廐肥與硝酸鹽同時施用，或一時摻入過多之綠肥，亦不免氮氣之損失。然據最近研究，普通土壤，若有良好物理性質，與適當之排水，硝酸鹽之損失殆不甚重要，倘硝酸鹽與半經分解之廐肥共同施用，而土壤空氣充足者，則無甚過慮也。

硝化還原菌，普通土壤所有者，為 *B. Coli Commune* 及 *B. Nitrificans* I.，此等細菌不能單獨行動，必二種並生始顯其作用。藁稈中亦有一種細菌，名為 *B. Nitrificans* II.，此屬嫌氣性，於空氣不流通之地，則能還原硝酸，發生遊離氮氣。其形較大，還原亦較前者為強。

第六節 空中游離氮氣之固定

(Fixation of Atmospheric Nitrogen)

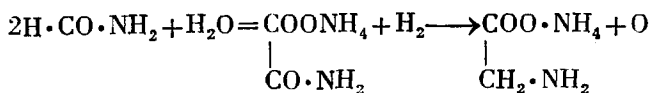
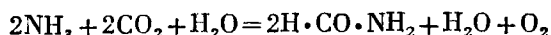
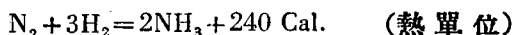
土中硝酸鹽還原成為游離氮氣，遂不能為植物利用而損失。若不能恢復其損失之氮，則氮氣循環便呈破綻。然造物之妙，另有別種途徑以補其缺憾。吾人知空氣中五分之四為氮氣；土中損失之氮，即由空中補償。司其事者有兩大類之細菌；即共生與獨生固氮菌是也。分述如下：

(一) 獨生的氮氣固定作用 (Non Symbiotic Nitrogen fixation)

未經耕種任其休閒，又無雜草繁植之土壤，經過一二年後，往往土中氮質成分為之增加；此種現象，曾經證明，由于某種細菌生息其間，能將空中氮氣固定，而

成化合物，加入土中固定氮氣之細菌至少有兩種，其一為好氣性，稱為 *Azotobacter*。大多數能生一種棕黑色，故稱 *Azotobacter Chroococcum*。其二為嫌氣性，稱為 *Clostridium Pasteurianum*。普通土壤皆有其存在，尤以沃土為多。培養液內若構成細菌體之材料俱備，又有糖類以供其體內之燃料，則此種細菌由空氣吸氮而成氮質化合物。前者消耗每公分之糖，能固定 0.01 至 0.02 公分氮，後者僅 0.002 公分而已。此種細菌皆獨立生活，其作用通稱獨生的氮氣固定作用。

氮氣固定作用，究以如何之變化而成化合物，殊不易解；但吾人可以想像其由氮氣與氫氣或氧氣結合而成。據華士滿氏 (Waksman) 之說，在平常溫度(二十至三十)百分之九十成為氨氣，溫度愈高，則氨氣之分解愈多，茲示其變化如次。¹⁰



氮氣固定作用可以增加土中氮質量，為植物營養最要之元素。幾經試驗，可以人工方法增殖土中之固氮菌，同時可以增高氮氣固定作用。但土中須有適當環境與有機質及鉀磷等之供給。

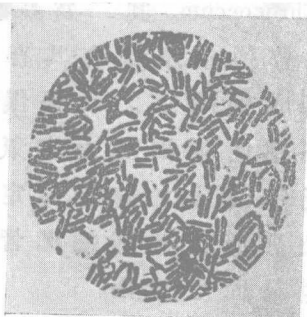
(二) 共生的氮氣固定作用

栽種非豆科植物，繼豆科植物之後，常得優良生長，較多出產，自古知之；但未有能道其故者。其後發見豆

10. Waksman-Principles of Soil Microbiology, pp. 562-573

第四十圖 非共生之固定氮素菌

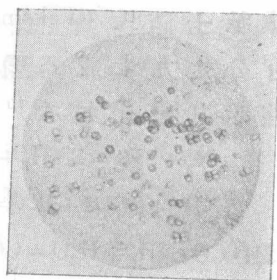
a



b



c



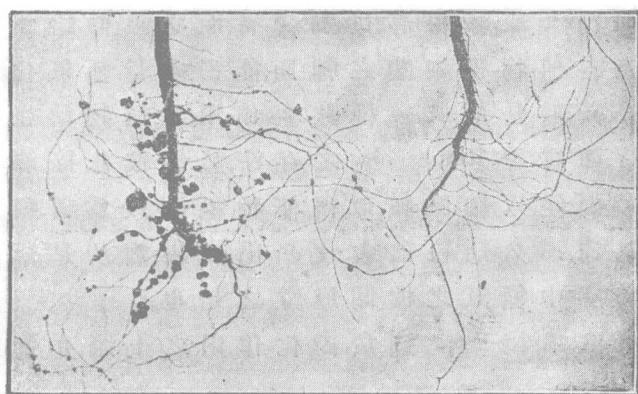
- (a) *Clostridium Parterianum* (Bac. Amlobacter) 芽胞生成期前形狀
 (b) *Azotobacter Chroococcum* (幼稚期)
 (c) *Azotobacter Chroococcum* (休眠期成雙球或田字形)

科植物內含有特多之氮氣，而土中氮質不獨不減少，且有增多之趨勢，連想氮氣之來源必自空氣。李壁氏 (Leibig) 初以為氮氣隨雨水而入土壤。經多數學者長時期之討論，最後德國學者耶路里高及威路化氏 (Hellriegel and Wilfarth)，于一八八六年發表一論文，謂在某種狀況之下，豆科植物可以在土中生長，不需氮氣

化合物之供給，而空中氮氣為唯一之給源，殺菌後之土壤，若無氮氣供給，則不久枯死；反之若有細菌存在，則生長完全。于是千古奧妙始行道破也。

(1) 根瘤及根瘤菌 試揭各種豆科植物幼根視之，則見生有無數小瘤，其形狀依豆科植物種類而不同，此即稱為根瘤。但自來均以為植物病害之變形；不知其為根瘤菌之居住所者，不過最近數十年事耳。無根瘤菌則無根瘤之生成，而空中氮氣亦無從固定。普通土壤常有豆科植物之種植者，均有各該種豆科植物之根瘤菌存在。新闢之地，或首次栽培豆科植物者，往往缺乏該種根瘤菌。蓋各有特別之嗜好，或特性，必有適宜之伴侶而後根瘤乃得生成，或易于生成也。布浩氏 (Buhert) 謂各種豆科植物之根瘤菌，皆屬 *B. rad-icicola* 類。羅比氏 (Nobbe) 亦以為根瘤菌係同類，不過與某種豆科植物長期共生，于性質上或伴侶上，不免各擇適云。¹¹ 根瘤菌之幼者普通均為桿狀，老者多變為

第四十一圖 大豆根及根瘤

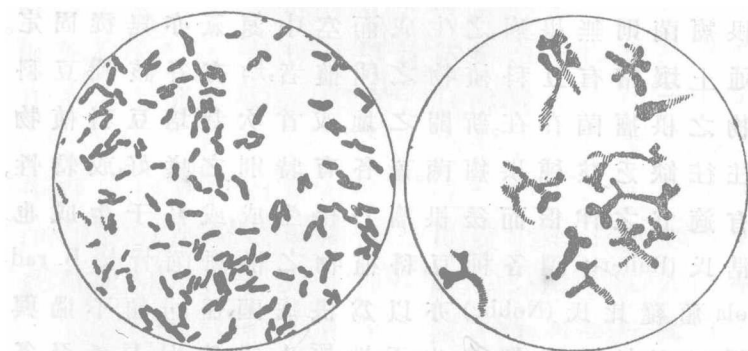


已種有根瘤菌而生根菌

未種根瘤菌者

Y 字形,此名假菌體 (Bacterioids)。食物缺乏或環境不頁,往往呈此形狀。培養數日之根瘤,普通無此變形。現于培養基之菌族,在表面者為灰白色凸出之粒;埋于培養內部者,呈紡錘狀,久之亦生出表面而凸出根瘤內之細菌,因根瘤之腐敗而仍入于土壤,遇適當機會再形成根瘤云。

第四十二圖 豆之根瘤菌狀



B. Radicicola

Bacteroid

(2) 根瘤菌與豆科植物 根瘤菌不能製造炭水化物如糖類或澱粉等,以為營養,而必須仰給于高等植物,豆科植物得細菌之輔助,能得多量氮氣化合物以為營養,於是形成一種共生作用。當植物幼根伸入土中時,如有 B. Radicicola 之存在,勢必彼此接觸。細菌沿根毛而侵入細胞膜,取得植物根液以為養料,繁殖異常迅速,不久幼根部表皮凸出,而根瘤於是形成,亦即固定空中氮氣之機關成立之始也。

(3) 適宜環境 適於硝化作用之土壤,亦適於根

瘤之生長；換言之即有多量石灰，有機質與適宜之排水，空氣流通是也。反之若土壤排水不其，缺乏有機質，或呈酸性反應，均難望有相當繁殖。又根瘤菌需要多量炭水化物，及溶解性之磷酸及鉀，但不宜有多量氮質化合物之存在，若有多量氮質之供給，則減少空中氮氣之固定，或完全停止其機能，或無根瘤之形成。如此則栽培豆科植物，殆與非豆科相等，有失吾人之初旨矣。如果有適當之環境栽培豆科植物一次，每英畝由空氣中加入氮質，約自一百至二百磅，然至少亦有數十磅，隨情形而有差異。¹²

(4) 根瘤菌之人工介紹 根瘤菌與豆科植物共生，既可增加土壤中氮質及生產額，為促進此種目的，如能以人工方法使二者之間形成共生作用，則於農業上自屬裨益匪鮮，考通行者有兩種方法：

(a) 移土法 欲於某地種某項豆科作物時，如患該地無相當之根瘤菌，可移某項豆科植物曾經生長，而有相當出產者之土壤若干，混合種子播下；或取該處土壤用水浸之，將欲播之種子與此浸出液接觸陰乾，再行播下。此法最為簡便易行，但播種面積若大，則需土壤甚多，或因道途遙遠，頗為不便，且有病虫害或雜草傳播之不利。

(b) 純種法 就豆科植物之不同，而培養特別適於該種之根瘤菌，最初以純種沽於市者，稱為 Nitragin，然因人工培養之純種根瘤菌，往往難於保存；經過一定時間，即失其健全力，不能達到良好結果。幾經研究改良，現在市上所售之純粹種，其效力殆與土中所存

12. Van Slyke—Fertilizers and Crops, pp. 219(1927)

者無甚軒輊。然最可靠者，仍推移土法，欲得良好結果，當注意下列各點：

1. 該地某種豆科植物已經生長繁茂者，勿再以人工介紹；
2. 土壤中須有豐富石灰質，酸性土決非所宜；
3. 有多量可溶性之磷酸及鉀，而缺乏氮氣化合物者；
4. 土壤有良好物理性質，及適當通氣與排水者；
5. 有良好之溫度（約在攝氏十八度至二十度）者。

第七節 土壤中有機質之分解

有機質之存在土中者，經細菌作用而腐敗，大都氧化而為各種氧化物，生出碳酸氣，水，硫酸，硝酸等，與空氣中之燃燒作用相似，不過較緩而已。若空氣缺乏，或不通空氣，則所生成者大都為氫氣化合物，如沼氣，水，硫化氫，氫氣等。此因環境不同，及細菌之種類，而所分解之物質與生成物質各異。然一種細菌，其作用常限於一部分，并非完全者，某種作用停止時，他種繼之以起，於是複雜之化合物，終變為簡單，不溶性變為可溶性，以便植物之吸收利用也。大凡耕種增進，足以改善土壤物性理質，使細菌繁殖，而有機質易於分解也。

第八節 土壤中礦物質之變化

考細菌生活作用，與土壤礦質成分，及施入土中之無機質肥料，起種種化學變化，而生成硝酸，硫酸，碳酸，及其他有機酸。對於礦物質成分之作用。有如下列幾種：（一）鈣及其他不溶性碳酸鹽變為溶解性。（二）碳

土中不溶性磷酸化合物，及施入土中之磷酸石灰變為溶解性，其餘如廐肥，骨粉，魚肥等，亦受同樣之變化。(三) 有時土壤細菌，利用可溶性磷酸化合物，變為不溶性之有機體，但此種細菌死後，其細胞再經腐化，所含成分仍變為可溶性，而還之土壤，便於植物之吸收利用。(四) 不溶性之鉀質化合物，變為可溶，而硫黃可變為硫酸，或其化合物，如硫酸鈣或變為硫化氫。此在空氣隔絕之池沼中，或排水不良之土中，為最普通之現象也。由此可見細菌作用之宏，而引起化學變化之多矣。須知土壤物理性質愈良，環境愈好，則細菌之繁殖及有益之作用可得進行無阻焉。

第十三章

土壤中之膠質腐有機質及吸收作用

第一節 土壤膠質 (Soil Colloids)

土壤中許多化學變化,或物理現象,皆因膠質或腐有機質而起;其中關係非常複雜,現在多未明瞭,亦多待解決者,所謂膠質(Colloids)指某種具有特別之粘性,能成如膠狀或糊狀之物質而言,例如澱粉共水加熱,則成糊狀,水玻璃(Water glass)之水溶液,加鹽酸則生白色膠狀物。凡此所得之物,與普通溶液性質不同,雖能通過濾紙,但不能通過半透性之膀胱膜,往時以爲膠質,係一種特別物質,其實不過某物質之一種變態,所謂膠質態(Colloidal State)而已。茲舉膠質之重要特性如下:

(一) 膠質特性

(1) 粒徑 通常高倍顯微鏡所能窺測者,大約爲粒徑 0.0001 公厘,而限外顯微鏡(Ultra-microscope)所能及者以 0.000005 公厘爲限,膠質通常在 0.0001 至 0.000001 公厘之間。大凡粒徑在 0.0001 公厘者成爲普通懸浮液(Ordinary Suspension),小於 0.000005 公厘者卽爲膠質懸浮液(Colloidal Suspension)。粒徑愈微,則比重愈輕而沉澱之機會愈少矣。

(2) 布里安運動 (Brownian Movement) 微渺之物質在水中游動不息,其運動極不規則,亦無一定方向。大凡粒徑小於 0.01 公厘時,則漸顯此種運動,愈微而愈

著，且隨溫度而增其速率。

(3) 隔膜分析 (Dialysis) 真正溶液 (True Solution) 或稱晶質溶液 (Crystalloidal Solution) 其溶質能滲透半透性之隔膜。此種作用，稱為隔膜分析。據之試驗，膠質不能通過，或異常緩慢。此與晶質不同之點，可得而分別者。

(4) 擴散作用 (Diffusion) 數種晶質在溶液中彼此擴散，極易混合而成均一狀態，膠質無此等作用，既佔有之位置，他種膠質不能侵入。又因缺乏擴散之能力，故所具之滲透壓力 (Osmotic pressure) 亦甚微。據費佛 (Pfeffer) 之研究，1% 糖液所具之滲透壓能使水銀柱高達 51.8 cm.，而 1% 之膠液 (Gum) 僅達 6.9 c.m. 云。

(5) 沸點與冰點 加食鹽於水中，則沸點上昇，結冰點下降，此晶質溶液之通性，而上昇與下降之程度與溶液濃度成正比例，膠質對於沸點與結冰點，殆無甚關係。四十五公分之蛋白質物溶於水，對於冰點之下降，不過攝氏表 0.07 度云。¹

(6) 電解 膠質溶液為電之不良導體，而晶質溶液導電之速度隨膠質之增加而減其速度。大多數物質，在水溶液中帶陰電離子 (Negative ions)，其所帶之電，因加入電解質之不同可以改變，或因適當濃度，而失其陰陽電而成為中和者有之。若電流通過膠質溶液，其中物質或附集於陽極或陰極；附於陽極者為陰離子，附於陰極者為陽離子。膠質溶液具有陰陽相等之離子；如增加具有陽離子之物質，則膠質不成為懸浮之狀態而下沉。如兩種膠質具相反之電離子，二者相遇則起沉澱。

1—2. Mosier and Gustafson—Soil Physics and Management, pp. 130—132

(7) 吸收與附着 (Absorption and adsorption) 附着乃一種表面作用 (Surface Phenomenon), 故面積增, 而附着亦隨之而增。膠質粒徑既微, 又具有極大之表面積, 與氣體接觸時, 則有一部分之氣體附着; 與液體接觸, 則液體聚集於粒子間之表面。此稱為附着作用 (adsorption), 與吸收作用不同, 蓋前者為表面的, 後者為內部的。兩者俱同時進行, 實際上不易分別。膠質對於各種物質或電離子, 具不同之吸收或附着力, 例如氯化鉀溶液通過一層之土壤, 鉀離子被吸收者常較氯離子為多是也。

(8) 收縮 (Shrinkage) 粘土吸收多量之水分則膨脹, 而增大其容積, 遇乾燥則收縮而龜裂, 此無他富於膠質有以使然。富有機質之土壤, 亦具同樣性質, 蓋腐有機質之一部亦係膠質。據毛西亞 (Mosier)²之研究, 粘土之收縮為 26.9%, 泥礫之收縮為 32.6%, 故粘土而富於有機質者, 收縮與膨脹均甚顯著也。

(二) 土壤膠質及其特性

溫秉美連氏 (Van Bemmelen) 最初倡言粘土及腐植土中有膠質物, 故其含量多時, 則土壤之性質亦必類似膠質, 在土壤中通常有兩種膠質物: (a) 具粘性, 如精膠 (gelatin), 有可逆性 (Reversible); (b) 無粘性 (Non-viscous), 易凝結, 無可逆性。腐植質及巖石之分解物中之膠質屬於此二者。對於土壤之物理性質, 化學性質, 均有莫大之關係。腐植質中之膠質, 為有機性膠質, 佔土中膠質之大部分, 乃細菌, 腐敗諸作用之結果。一部分之有機質分解而成渺微之膠質, 在土中變化莫測, 異常複雜。又春季土壤團粒結構較之其他時期進行為速而完

善,由此可以推知春季土中之生成較多,無機膠質亦同。有機性膠質對於水分之附着力甚大,據士羅成氏(Schlösing) 1% 腐植酸鈣(膠質)其粘着力較之重粘土強 11% 云。

無機性膠質存在於粘土或粘質壤土甚多;此種膠質大部分為氧化第二鐵,氫氧化第二鐵,矽酸,及含水矽酸鋁。長石風化時,有矽酸,及矽酸鋁生成,但非為膠質。沸石(Zeolites)亦易變為膠質。膠質生成雖多,而存在土中者據華陵吞(Warrington)不過百分之二云。無機性膠質的組織亦頗複雜,且因風化程度不同,隨處而異。例如純粹之石英砂,或膠質之矽酸,或含水矽酸鋁等皆含砂之主要成分是也。

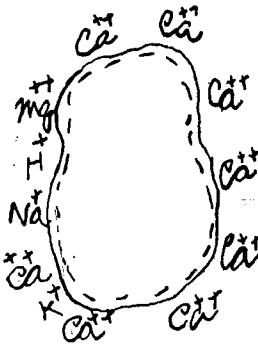
(三) 對於土壤團粒結構之作用 (Effect on Crumb Structure)

土壤之團粒結構,賴膠質及碳酸鈣之力甚多。考土壤經酸之作用,繼受鹼之作用,則團粒崩散而為粘土,埴土等。施以沉澱方法,甚易使之分離。吾人可取同樣土壤二份,作機械分析;其一使受酸,或鹼之作用,可見團粒結構完全破壞。其二不加酸或鹼,則團粒之崩散不過一部分而已。團粒之功用,影響土壤及植物之生長。若粘土犁之過濕,石灰有機質等缺少,則粘性特別顯著,失去團粒之結構,濕潤時粘重異常,乾燥時生龜裂而成硬塊,植物幼根受害不淺。遇此情形,非經長久時間,審慎耕種,多施有機肥料,及石灰,不能改善而恢復原狀。

(四) 沉凝作用 (Flocculation)

許多膠質因加電解物質而凝結,在土壤學中稱為沉凝作用。例如粘土粒之浮游水中,若加少許石灰水,

則漸漸澄清，微粒之粘土，沉降器底。若施用石灰於土壤，亦有同樣現象，不過無如此速耳。既經沉凝之膠質，遇適當機會時，再恢復原狀，土壤學中稱如是作用為反凝作用 (Deflocculation)。大凡土壤有此情形時，每因排水不良所致。據武可夫氏 (Wolkoff)³ 之研究，粘土通常具一種性質，與帶陰電離子之膠質相似，水溶液中通以電流，則沉澱於陽極。加入帶陽電離子之電解質，則生沉澱之現象。通常鹼性物質，或有 OH^- 離子存在時，阻碍粘土沉凝的沈凝作用，而氫氧化鈣則具強力的沉凝作用，使粘土粒下降。此種現象頗費解釋，然據金布氏 (Comber)⁴ 之解釋，從膠質之現象觀之不難明瞭膠質物如砂，腐植質等之液膠質 (Sol)，由鹼性溶液中可因鈣及其他鹼土金屬化合物而沈澱，但在中性或酸性溶液中則否。膠質物包被土粒之周圍，吸收水分而



第四十三圖

理想的負有陰電荷之土粒

甚小。粘土粒非常細微，故此核心亦極微細，因之被覆之膠質物多；埴土 (Silt) 粒較大，

為液膠質，加入中性鈣鹽，對於此液膠質不生如何之影響，但有鹼性物之存在，可以使液膠質沉澱，石灰施入土中而成氫氧化鈣，使成團之膠質物纏繞土粒而下沉。氫氧化鈣雖能沉澱包被土粒表面上之液膠質，而沉凝此核心之土粒的功用

甚小。粘土粒非常細微，故此核

3. Soil science, 1916, Vol 1. p. 585—601

4. Comber, N. The flocculation of Soils, Jour. Agri. Sci. 1920, Vol. X,

其被覆之膠質物亦較少，故氫氧化鈣對粘土之沉凝作用較大云。

土壤中具有陽離子之膠質，有氫氧化鐵，氫氧化鋁等，具陰離子者有矽酸，腐植質等。陰陽離子彼此獨立存在而維持其平衡時，則各保持其膠質原有之性狀，反之則起沉凝作用。

(五) 土中硬層之生成

在某種情況之下，土中有一層硬土層生成，不但阻隔水分之上升或下降，且碍植物根部之伸長，養分之供給。若在雨量多之地方，往往積水而成卑濕之區；在降雨量少之地方，使植物感受雨水缺乏之害，有此情形非除去此硬層不可，否則不便農事。⁵ 茲述硬層生成之原因於次：⁶

據化學的分析，硬層含有較多量之有機質，鐵，鋁等，故所謂硬層乃此種物質聚積凝固而成，其故如下：

(a) 每年降雨滲入土壤中，則表面細微之粘質，溶解性之鐵鋁等，隨之滲入底土，若降雨量有一定，滲透之深度，每年約畧相等時，則所積物當在此處聚積。

(b) 米爾氏 (Mayer) 謂排水不良或不通氣之土壤中，鐵質受腐植酸之作用，化爲第一鐵。而腐植酸鐵 (Ferrous Humate) 係可溶性，能滲入底土，即矽酸亦可變爲溶解性。此等物質停止於一定深度之土層中，久之遂成牢不可破之硬層。

(c) 何氏 (Hall) 謂鐵質被碳酸水溶解，經有機質之還

5. Lyon and Buckman—The nature and properties of Soils, Chapter 6.
(1912)

6. Russell, E. J. Soil Conditions and plant growth, p. 122—174(1921)

原作用，變為酸性碳酸第一鐵，降至土之下層時，其碳酸氣之一部逸去，遂變為碳酸鐵，復經氧化而為氧化鐵云。

(d) 又門氏等(Muntz, Ramaun, Marison)最近主張純係一種膠質作用蓋液膠質(Sol)因少量電解物(Electrolytes)而變為凝膠質(Gel)。若將電解物除去時，則凝膠質變為液膠質。普通土壤適於凝膠質之形成。但表土中溶解物質不斷的經雨水洗滌下降，則生成液膠質之氫氧化第二鐵，或腐植酸第二鐵(Sol of ferric hydroxide and ferric humate)液膠質降於一定之土層而聚積，因乾燥變為凝膠質。或一部分因地下水中電解物之關係，變為凝膠質。氣候由乾而轉為濕潤時，雖一部分能回復液膠質原狀，然大部分仍不能變。

(e) 在重粘土，若每年耕入深度在同一位置，久之亦成硬層。但此純為物理的，可變更犁土深度逐漸改良之。

(六) 對於其他土壤性質之關係

(1) 膠質使土壤有強大吸收力，以吸收水分，氣體，及溶液中物質。乾燥之土粒，在濕潤空氣中，對於水分之吸收力亦以膠質多寡為轉移。溶液中物質之被吸收者，鹽基常多於酸根，此於土壤反應上，及施肥上有絕大關係。

(2) 膠質與溶液中物質濃度，彼此間有一定之平衡作用。

(3) 水分及空氣之流通，亦因土中膠質多寡而轉移。粘土含有多量膠質，故不利水分及空氣之流通。

(4) 土壤之粘着力，隨膠質之量而益增，過多固為不

利,在砂土則裨益匪鮮。

(5) 土中水分蒸發至某程度時,則損失量大為減少,在燒過之土壤,則蒸發損失量頗合乎正常之擴散定律 (Law of diffusion),可見土中有某種物質能阻土中水分之蒸發也。而此等物質即膠質是矣。

第二節 腐有機質

腐有機質或腐植質,其名稱頗廣泛,向無一定界說,普通以半經分解有機質者即為腐有機質。有以其中黃褐色膠質物為腐植質者。在化學上之解釋,則將土壤或堆肥等先以鹼液浸漬若干時,所得溶液,加酸至變酸性,即得沉澱,此沉澱物稱為腐有機質或稱腐植質 (Humus)。通常其主要成分,為未經分解植物質中之木素 (Lignin),殘餘之脂質,微生物之細胞物質等。

(一) 腐有機質之特性 據保文氏 (Baumann) 之研究。

加酸沉澱之腐有機質,具有下列各性質:

- (1) 保水力甚強,乾燥則收縮,濕潤則膨脹。
- (2) 因酸,鹽基,凍,等關係而凝結沉澱。
- (3) 新沉澱之腐植質,若將所加沉澱劑洗去時,則仍回復其原狀。
- (4) 能分解碳酸鈣,磷酸鈣等鹽類。
- (5) 生成一種不易溶解,而易於分解之複雜膠質物。
- (6) 因其存在而某種伊洪不起反應,例如第二鐵不因硫氰化鉀而表現其紅色反應。
- (7) 生成吸收性化合物。

以上各種性質,對於土壤之排水力,保水力,粘着力,有極大關係。而影響於土壤之生產,植物之繁殖均甚

重要,在有機質章中,曾經詳述,於茲不贅,僅就其化學成分上言之。

(二)腐有機質之組成 考腐有機質性質,異常複雜,絕非一簡單物質。就其反應上言,可分中性與酸性兩種,前者多生成於空氣流通,溫度適宜之地方,乃腐植酸之鈣鹽,此物可由浸漬腐植質於鹽酸,再以稀鹼液浸之,取其浸出液加酸,即得一種棕黑色膠質物之腐植酸(Humic acid),後者多生成於停滯水中,空氣絕不流通,呈酸性,乃腐植酸之本身,色暗褐或黑褐,有害植物生育。

從化學溶劑言,可為四部分:(6)

- (1) 水可溶之黃色至褐色酸性物,稱為 Fulvic acid, 有鉀,鈉,銨,之可溶性鹽生成時,其溶質更成黑色。
- (2) 酒精可溶而不溶於水者,係黑色酸性物,稱為 Hy-matolanic acid, 在水中為一種安定的液膠質。
- (3) 不溶於酒精及水,但生成鉀,鈉,銨之鹽類能溶於水鈣鎂之鹽類一經沈澱之後,不易溶解,亦不易分散。
- (4) 黑色酸性物不溶於水,亦無可溶性鹽類之生成者,稱為 Humin, 與膠質粘土相似,決不能成為真正溶液。

此四者之多寡,依有機質之來源而不同,但腐植酸(Humic acid)在普通土壤及坭礫土常為最多量,皆係非晶質。

達摩氏(Detmer)以腐有機成分對於鹼之作用而分為二種:一為不溶於鹼性溶液,而漸變為腐植酸者,謂

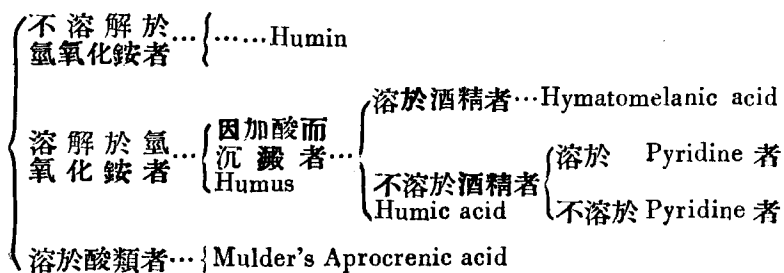
(6) Marshall, C. E.—Colloids in Agriculture, Edward Arnold and Co.

London, 1936, p, 102—110, 79—94

之腐植質物 (Humus substance)。一為不溶於鹼性溶液, 加強酸而沈澱者, 謂之腐植酸。依此分類則 Humin 及 Ulmin 等屬於腐植質物, Ulmic acid, Humic acid, Crenic acid, Aprocronic acid 等, 皆屬於腐植酸。

上列任何部分, 皆非一簡單化合物, 就腐植酸而言, 研究者從二方面進行: (a) 化合之取得: 製造人工腐植質而研究其組成, 以推知天然腐植質之組成, 實際上甚難得同樣之產物, 雖有不少之化合物分離辨証, 亦多屬揣測, 難於臆合。 (b) 分析腐植酸所含之元素: 此法似較直接了當, 現經証明土中腐植酸為一種蛋白質與不含氮物質之混合物, pH 值約為 3.87-4.5, 含有 C 56-58%, H 4.3-5.1%, N. 1-5.4%, O 33.5-36.5% 云。

研究腐植質大多就坭碳土之鹼性浸出液中加酸, 以提取 humats-melanic 及 humic acid 部分。凝集之腐植酸或腐植酸鈣鹽, 係液膠質 (Sol) 與粘土液膠質相似, 但對於凝集劑之反應較為緩慢。如將水從凝集之腐植酸除去, 到某程度時, 即成為黑色而無彈力之凝膠質 (gel)。乾燥時大為收縮而粉碎, 遇水不能再復黑色液膠質之狀態。但未至乾燥而尚柔軟之時, 加水則迅速恢復其原有容積而為液膠質云。今將各種腐植質物依其對於溶劑之反應, 簡單分別如下, 俾一目了然。



(三)腐有機質之定量 腐有機質之定量，當推固蘭杜氏(Grandeau)法，即一定量之土壤，置有孔瓷杯中，墊以石綿一層，先以1% 氫氯酸洗淨鹽基性物，待無鈣之反應時，以蒸溜水洗去過多之酸性，再用4% 氫氧化銨液浸二十四小時，振盪靜置至少十二小時濾過，蒸乾，權其重量，燒灰；以失去之重量為腐有機質之量。

第三節 土壤吸收作用

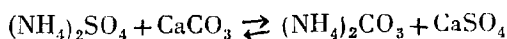
不潔之水，通過砂濾以後，則品質增進，有色之液，通過一層土壤後，則排出清澈，此由於土壤之吸收作用。據維氏(Way)解釋，初以為純係一種化學變化，被吸收之部分，不過與某種成分依化學原則起複雜分解或反應而已。後更追求此種變化之原因，知非由於砂，石灰，有機質，乃由於粘土作用。但粘土經火燒後，則完全失其效力。李璧氏(Leibig)則以為係一種物理的作用。溫秉美連氏(Van Bemmelen)經長期之研究，謂土壤之吸收作用，完全為膠質關係云。據唐蒲生氏(H. S. Thompson)之試驗，土壤具有吸收硫酸銨中之氮氣之力，而硫酸根又與土中鈣化合，被摒棄而入於排水中，此種吸收稱為選擇吸收。在論理上，與實際上均甚重要。茲將土壤對於成分之吸收分別言之：

(一)氮氣之吸收 氮遊離為氣體，如遇雨水則溶解入土，依其接觸時期之長短，其一部或全部為土壤所吸收，此種作用或為化學的變化或為物理的變化。

凡溶液之鹽類，為土壤所吸收時行化學的鹽基交換。(Base exchange) 據維氏等(Way及Voelcker)⁷之試驗，

7. Russell—Soil Conditions and plant growth, p. 151 (1921)

凡氨之硫酸鹽,硝酸鹽,或氯化物等溶液,加入土壤時,其鹽基雖被吸收而酸根與土壤中之石灰質等化合,仍保存於溶液中。如為硫酸銨,其化學的變化如下,但此反應為可逆反應,依碳酸鈣量之多少而得左右之。



其生成之碳酸銨為粘土及腐有機質吸收。考和奇氏之研究,以硫酸或氯化銨試驗時,其與土壤及水之混合量為1:400:1000之比例混合後靜置片時,復行濾過,然後檢定其液中所含之鹽類,計算土壤所吸收之氯化物及硫酸鹽數量其結果如下:

表(64)各程土壤對氨氣之吸收量

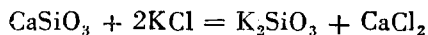
土 別	石 灰 質 粘 土	肥 沃 砂 質 壤 土	粘 土	砂 土	牧 草 地 (腐 植 質)
氯化銨	48%	54%	56%	11%	45%
硫酸銨	53%	56%	50%	22%	40%

(二)鉀之吸收 鉀之吸收與銨氣之吸收相似,苛性鉀及碳酸鉀,直接可以吸收。惟其硫酸鹽,硝酸鹽氯化物等,與土壤中之碳酸鈣行交換,鉀被吸收,而鈣化合成為硫酸鈣硝酸鈣等,溶解於水,即行流失。據和奇氏之試驗,謂鉀之碳酸鹽,較硫酸鹽尤易吸收,如粘土,白堊土,牧草地之土壤,其吸收力尤著。其他之土壤吸收力,因溶液之濃度及鹽種類而異,觀下表可比較之:

表(65)溶液濃度及鉀鹽種類與吸收量之關係

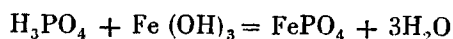
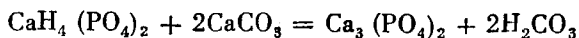
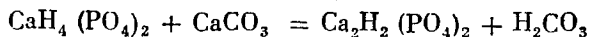
	氯化鉀	硫酸鉀	碳酸鉀
$\frac{1}{10}$ 規定液吸收之一氧化二鉀	.314公分	.3362公分	.5747公分
$\frac{1}{20}$ 規定液吸收之一氧化二鉀	.199公分	.2098公分	.3154公分

由上表觀之，凡溶液之濃度愈小，則吸收之鉀量亦大。餘如溶液之量，接觸時之溫度，及時間，皆於吸收有影響云。鉍與鉀及其他鹽基之吸收，乃藉土中次生礦物沸石類之力為多。此係陶土狀之含水矽酸鹽，其成分中之鹽基，易於分離，苟接觸鉀之鹽類，即起交換反應之作用如下：



此種作用，凡鹼土金族之鹽類因之溶解以去，鉀之矽酸鹽仍留存土中。土壤中之腐有機質亦得吸收鉍金及鉍等而成腐植酸鹽，又氫氧化鐵及氫氧化鋁，皆有吸收鉀與鉍之性云。

(三) 磷酸之吸收 溶解性磷酸鹽施于土壤，由兩種方式而保持土中，即被膠質物吸收或與土中碳酸鈣反應，生磷酸二鈣或磷酸三鈣等，其方程式如下：

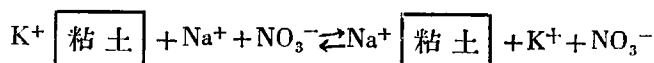
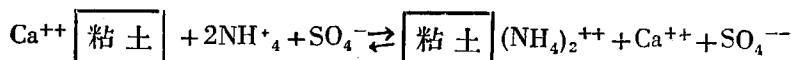


由此以觀，凡形成之磷酸二鈣，或磷酸三鈣，及磷酸鐵，或磷酸鋁等，皆為不溶解性，故土中磷酸流失之機會甚少。然則對於植物之利用，將為不利乎？是又不然。蓋磷酸二鈣易溶解於弱有機酸與碳酸水中，故土壤施用過磷酸石灰後，溶解性磷酸因土壤吸收作用，能分佈土中；倘土中含石灰質過少，則變為鐵鋁等之不溶解性化合物，此則較磷酸鈣難于溶解。欲免除此弊，宜預施適量之石灰，則變為磷酸三鈣，不為磷酸鐵矣。土壤膠質物之磷酸鹽類固定力與矽鋁比率成反比例，即比率小者固定力變大，酸性土之矽鋁比率常小，

故因固定力大而減少有效磷酸，以供給量云。

石英，長石之矽酸鹽缺乏吸收磷酸之性，即普通土壤一經氫氯酸浸過後，亦無吸收能力也。硝酸根及氫氯酸根，土壤不能吸收前已言之，硫酸鹽或碳酸鹽，如係鉀鈉鈣鎂之化合物，遇水即溶，故不能吸收固定。此所以排水中碳酸，硝酸，氫氯酸，鎂，鈣，鈉等離子最多也。有機化合物亦常由溶液中而被吸收，但無相當之交換物，是又不同耳。

(四)鹽基交換 (Base Exchange) 施用硫酸銨之肥料時，土中石灰質變為溶解性而流失，已如前述。硫酸鉀亦起同樣變化，鉀被吸收而鈣趨入水溶液。又鉀因鈉之存在而交換流出，例如土中硫酸鈉之量增，可溶性之鉀離子亦增，其作用與施鉀肥相似。鎂亦與鈉有同樣功用，使鉀被植物之利用。關於此點，有羅素氏等施用鈉與鎂之硫酸鹽類對小麥吸收一氧化二鉀量而行試驗，經過二十年之成績觀之，加硫酸鈉或鎂之區，與不加者比較，其吸用之量增加百分之四十至五十，⁷ 鈉鎂之影響於鉀之供給量可云大矣。



土壤中加以鹽類之溶液，土粒與溶液間，所含之鹽基常呈平衡狀態 (Equilibrium)，如濾過，反覆加入某種之鹽類溶液，則土中原有之鹽基，可以完全被交換，而成為具有某種陽離子之土壤。因此鈣粘土 (Calcium clay) 鈉粘土 (Sodium clay) 氫粘土 (Hydrogen clay) 等可隨意

得之。如上第四十三圖代表一土粒，其本身為負有陰電荷者，而與各種負有陽電荷之離子相結合，如繼續施以石灰，則可成為鈣粘土是也。

交換作用，僅限於陽離子，且為可逆反應，各種離子彼此交換力或其速度互有不同，據研究二價較一價者為強，同價之離子又因加水分解之不同而異。依次列之為：



由此可知二價的鈣鎂其交換力強於一價的鉀鈉，且鈣較易於鎂，鉀易於鈉，但氫之交換力屬於例外，不但遠勝於鉀鈉，且超過鈣鎂，故欲以鈉換氫，甚至以鈣換氫，而欲測土壤中之可交換氫 (Exchangeable Hydrogen)，每感困難。鹽基交換量常依粘土中原有之離子及加入溶液中之離子而不同，通常易被粘土吸收者，即最難交換而出者。肥沃之土壤其所含之可換鹽基以鈣為主，約佔全鹽基百分之八十，鎂次之，鉀鈉又次之。

(五) 吸收力與土壤物理性質之關係 土壤之吸收無論氣體、液體，或液中之鹽類，在任何情形之下，依時間及土壤物理性質而定其吸收力之大小。此種試驗，可以一定濃度之溶液，通過一層之土壤，或加供試土於一定量溶液中，振盪濾過，而求其被吸收物質之量。下表係根據柏克氏 (Parker) 之試驗，用三十五公分土壤，置於含有六十五公分氯化鉀溶液中，振盪二日所得之結果。

表 (66) 土壤物理性質對於鉀之吸收關係^a

土 別	粘 土 Cecil Clay	砂質壤土 Decatur Sandyloam	壤 土 Carrington loam	砂質壤土 Norbolks Sandyloam
鉀之吸收量 m.gr.	325	240	225	148

由此可見土壤吸收力，隨土粒愈細而愈增，換言之，即粘質土有多量膠質，故有較大之吸收力也。又吸收之多寡，隨溶液濃度愈減而愈增。換言之即稀薄之溶液，通過土壤時，被吸收鹽類，常較濃厚溶液之比率為高，但其總量則較少。同樣之鹽類，又依土壤性質不同，而吸量有差。某土對於鉀之吸收力強，而對於銨或磷酸之吸收或弱。強於此者，往往弱於彼。此可於排水成分多寡而推知各肥料成分被吸收率也。

(六) 養分吸收作用之效果 土壤之有吸收養分力，關係農業至為重要。蓋施用肥料以供給植物之吸收，若土壤缺此保持養分之力，則肥料之有效成分，徒為雨水所洗失耳。不獨此也，植物之根於土液過濃時，不能為正常之發育，而施用可溶性肥料，若即溶於土液中，則濃度增高，難保不妨礙植物生長。若大部或全部受土壤暫時吸收，然後徐徐溶出，以保持一有益之濃度，則裨益植物不鮮也。又某種成分易被吸收，某種易被流失，則於施肥上依肥料土壤之不同，有所憑藉矣。然吸收力過強，換言之，即土壤之吸收力超過植物根之吸收力，則不易供給於植物，農人亦感其苦。

8. Lyon and Buckman—The Nature and Properties of Soils, P. 267

第十四章 土壤化學成分及土壤溶液

土壤受自然界之種種力量，其中足以營養植物之物質，如磷，鉀，鈣，鎂，有機物等，與土壤溶液常互相作用，變化無窮，影響所及，植物之吸收，生產之豐穡，土性之良否，均受其轉移。今分述之如下：

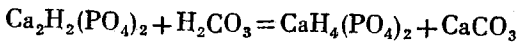
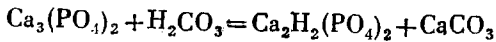
第一節 土壤之化學成分

土壤之物質大別之可分爲無機與有機之兩種。前者大都來自岩石分解之礦物，而後者得自生長其間之生物，植物營養既仰給乎此，則此中營養植物之物質豐富與否，自與植物之生長有密切關係，研究之法，常採用化學分析以檢定之。土壤經化學分析後，其中所有各營養物質可以明瞭。然是否可根據分析之結果而判定其地力之厚薄乎？乃一重要之問題也。考地力之厚薄，雖與土中所含有之植物營養分量有關，然祇以分析求定各種重要質量，卽定某土肥，而某土瘠者，則未盡可信也。譬如北方高亢之地，雨水稀少，土壤無地下漏失之弊，故有效養分，每較南方雨多之地爲高，而一般作物生於前者，常有不及後者之活潑或收穫。此乃氣溫雨量二者之限制，非營養成分足以補救者，此則應由物理方面研究之。前美國西北各州曾以小麥之不豐登，試驗研究十餘年，考其土中營養原料甚富，惟其間小麥受有菌病，若依法治之，收穫甚佳，此則土壤健全之情形不可不講也。以是而知土之肥瘠，植物竟生育之功，不祇在土中所含某要素多，而

某要素少也。雖然非化學分析不足以確定土壤之價值，但善用之以作比較，及為施肥之管理南針，其效用亦不鮮也。

土中所含營養原料，若缺乏或稀少，植物固不能達其化育之功，若其所藏甚富而不適用，或適用量極微，亦無大濟，故研究土壤之植物營養原料，可分為有效或未有效二種。茲分別而申論之：

(一)有效養料 (Available plant food) 所謂有效者何？易溶於水及土液，植物根能吸用而同化之謂。例如氮之物質為硝酸鹽，易溶於水，植物能直接吸用，即為有效。倘屬有機複雜物，不溶於土液，植物不能吸用，即為未有效也。又如磷之物質若為磷酸鈣易受土液或碳酸水之溶解，可供植物之吸收，如下方程式：



上式中之磷酸二鈣易溶於弱酸(例如碳酸)液中，其磷酸一鈣則溶於水。市上所售之過磷酸肥料，亦即此物。均屬有效之養料，以與磷酸鐵或磷酸鋁之不易溶於弱酸或水中者比較，則後二者為未有效也。倘土中磷酸物質是與鐵或鋁化合，即數量甚多，而其效用亦不著，此當注意者也。此種情形，大概發見於土壤之缺乏石灰質者，倘鈣質豐富則不易觀焉。

(二)未有效養料 此種養料以其不溶於水或土液不能供給植物之吸收同化，故對於植物之營養，視為未有效。但與地力之厚薄亦有關係，蓋有效與否之謂者，以時日言之耳。雖未有效于今日今年，將可變為有效於將來。故此種養料又名之曰貯備養料(Reserved

plant food), 以其將適用於異日之謂也。故分析土壤, 知各要質之全量, 復試驗檢查其有效分量, 并體察其物理性質良否, 則地力如何可占七八矣。

有效養分低微, 其土固不能成爲沃壤, 然太高亦有可慮之處。蓋以土中可溶性之物質多, 則在多雨之地易於流失, 而在乾燥之境, 亦易形成鹼土, 致植物不易吸用其養分, 甚至發生妨害, 終於枯萎, 而土地變爲不毛, 鹽土鹼土之不能利用有如此者。故有效養分以適可爲度, 而能繼續有效者, 源源變化而來爲佳也。土中植物養分既可分別爲有效及貯備之二種, 故分析方法亦可依此而計劃研究之。考分析方法, 大畧可區爲全量 (Complete Analysis) 與部分 (Partial Analysis) 之檢定。茲分別約畧言之:

(1) 全量分析 土壤分析其需要檢定者, 厥爲有機物, 氮, 磷, 鉀, 鈣, 鎂, 鐵, 硫等質, 而碳酸化合物鈣, 鋁, 鉍, 氣, 錳等亦常旁及之, 以其間有影響也。全量分析對於有機質之檢定, 普通由檢定碳質成分以推算, 前章曾述之。而氮之檢定, 則常根據卡耳多法 (Kjeldahl Method), 至其餘磷鉀各質, 可用碳酸鹼融熔 (Fusion With Alkali Carbonates) 法, 或氟酸法, 使各質化成可溶於水或酸液中, 然後分別檢定其全量。至其詳細手續, 以非本篇範圍, 茲不具論。但一般土壤究含有各要質量若干, 能供給普通作物至若干年代, 係一重要問題。美國土壤學者何金氏 (Hopkins) 曾研究之, 茲錄其推算結果如下表。¹ 表內地殼一項, 係指一般地面至 6.7 吋深而言, 其各物質量乃平均數也。

1. Hopkins—Soil Fertility and Permanent Agriculture (1910) P. 59

表 (67) 地殼內植物營養料存貯量

重要植物養分	地殼二百萬磅中	玉蜀黍一百英斗需要量	可供給年代
磷	2200磅	17.0磅	130年
鉀	49200	19.0	2,600
鎂	48000	7.0	7,000
鈣	68800	1.3	55,000
鐵	88600	0.5	200,000
硫	2200	0.25	10,000
氮(在空中)	每七英畝上磅	100.0	700,000

由上表觀之，磷鉀等養分不過佔地殼 13%，其餘物質大抵為矽氧鋁等質，再比較其中分量，即知一般土壤所含磷硫極微，而鉀鎂次之，鈣鐵較多。但普通作物，每造需用磷鉀之量較大，故結果磷鉀兩質較為重要。施用肥料均注重之。至於氮之一物，在空中為量本甚大，但不能直接採用，須經固定為有機物質，然後逐漸化作有效養分。故一般土壤氮之成分常感缺乏，以作物需用之量大，而來源有限也。

(2) 部分分析 部分之分析，係對於土壤之礦物質成分行之，蓋以全量分析祇知其質之總數量，其有效程度如何，未可測定，因而施肥無得根據以為標準。故一般先進學者，因而規劃各種提取土壤中礦質方法，以探其微，考其提取方法甚多，總括言之可分為三種：(a) 強酸溶解法，(b) 弱酸溶解法，(c) 水之浸漬法。茲分別申述其大畧如下：

(a) 强酸溶解法 此法有用硫酸,硝酸,及氫氯酸之三種,但以最後者爲最普通。氫氯酸法創自希路吉氏,後經美國農藝化學師會修訂,推行極爲普遍。在此法之目的,以爲提取所得之各要質量,可以代表目前,及將來百十年間之有效養分總量。但是否絕對準確尙屬疑問。蓋以實驗室中之情形,不能與自然界中變化適相符合也。雖然,但以之比較爲相對之論,則爲用甚有意義者,故此法亦自有其價值存焉。茲節錄各種土壤之分析結果列表於下而比較之:

表 (68) 各種土壤所含植物營養料量

成 分	土 別	砂質 土	砂質 壤土	中等 壤土	粘質 壤土	重粘 土	石質 灰土	腐植 土	腐植 土
K ₂ O		0.17	0.32	0.53	0.45	1.58	0.97	0.01	0.16
Na ₂ O		0.03	0.26	0.74	0.39	0.97	0.16	—	0.14
MgO		0.09	0.26	1.24	0.65	0.01	—	0.20	0.67
CaO		0.12	0.45	2.41	0.95	0.05	30.55	1.01	1.40
Fe ₂ O ₃		3.24	2.75	4.72	3.47	6.42	3.36	6.30	5.67
Al ₂ O ₃		2.56	2.91	3.06	4.12	8.72	6.00	9.30	3.29
P ₂ O ₅		0.08	.06	0.21	0.09	0.11	0.01	0.13	0.31
CO ₂		—	—	1.28	—	0.13	23.91	—	—
SO ₃		—	—	0.09	0.10	0.06	0.01	0.17	0.19
Cl		—	0.13	0.03	0.02	0.96	—	—	—
不溶解物		91.02	86.35	77.63	83.44	72.15	28.77	72.80	64.71
有機質(註)		2.21	5.14	6.65	5.83	8.78	6.33	10.08	23.03

(註) 有機質係用普通全量分析法檢定之

考不溶解物中,多屬矽鋁與有機物,而鉀,磷,鈣,鎂等質極少,尤其是磷質幾全數溶解也。茲再搜集各國土壤之營養分量,與我國之現經考察者,作下列之表以資參考。比較各數均為%。

表(69) 中外土壤肥沃度比較

成分	國別	中國	日本	英國	法國	德國	美國
平均	P ₂ O ₅	0.278	0.108	0.23	0.106	0.090	0.174
	K ₂ O	0.349	0.188	0.441	0.259	0.181	0.405
	CaO	2.200	0.629	3.833	4.065	0.181	0.405
最多	MgO	1.395	0.866	0.392	0.103	0.241	0.719
	P ₂ O ₅	4.90	0.511	1.240	1.28	0.814	2.61
	K ₂ O	2.108	1.037	1.580	1.30	3.230	3.34
	CaO	14.94	4.762	41.00	52.27	47.00	36.10
最少	MgO	6.315	6.307	2.81	1.657	2.16	16.10
	P ₂ O ₅	痕跡	痕跡	0.038	痕跡	痕跡	痕跡
	K ₂ O	∥	.004	0.03	.02	.03	∥
	CaO	∥	痕跡	0.001	痕跡	痕跡	∥
調查	MgO	∥	.004	痕跡	.001	痕跡	∥
	P ₂ O ₅	130	200	286	1553	440	1851
土壤數	K ₂ O	142	200	273	1555	431	1829
	CaO	142	200	273	1550	447	1786
	MgO	93	200	156	1060	263	1470

從上表可見我國土壤中磷酸較英、美、德、法諸國者均特爲豐富，鉀則平均雖不如英美之多。而最多量，又不及德、美。然與日本較，則超過約半數。至於石灰含量，以搜集所得結果，最多量固不及歐美各國土中石灰含量三分之一，以平均量言，亦不及英、法。然南北各地石灰岩原生土所在不少，其石灰質含量超過百分之十四者必不少，南部因降雨量多，土壤多呈酸性，石灰質多祇僅存痕跡，爲各國所不免。又氧化鎂之含量，我國及日本土壤中最爲豐富，從來歐美各國土壤學者一般承認之石灰率(CaO/mgo)與農作生產量，或植物生理上，有重要關係，此亦大可注意者。據盧氏(Loew)謂土壤中可給態石灰與氧化鎂成一定之比例，則於諸種植物最易令其繁茂。但其比例依植物之種類而異，計算時以氧化鎂爲一，而定石灰之比例，謂之石灰率(Lime factor or lime—magnesa ratio)。石灰率在禾本科植物爲一，椰菜、洋蔥、甘蔗爲二，蕎麥、豆、桑爲三。但有比率大至七者。若土壤中石灰之量過於氧化鎂時，則施鎂之化合物以調劑之，若氧化鎂之量過於石灰時，則施石灰化合物以矯正之。庶幾各該目的植物得以完全長育，無枯槁黃落之病矣。²

綜觀搜羅所得，我國土壤化學成分，雖未足確實代表全國土壤。而一般的肥沃，可以無疑。得天獨厚，人事何如？

(b) 弱酸溶解法 植物生理學者，研究植物根鬚，知其分泌碳酸及他有機酸以溶解土中礦物而吸用；因

2. Loew—The Physiological Role of Mineral Nutrients of plants, U. S.

D. A. Buf. Plant. Ind. Bul. 1, P. 53 (1901)

而研究土壤化學者，模仿其作用而用弱性之碳酸，檸檬酸，硝酸等以提取土中之現成有效養分，就中以百分一檸檬酸法，及五分一當量硝酸法為普通。前者多行於英，後者普及於美。前者由路典士的試驗場化學師戴雅氏 (Dyer) 研究一般植物根汁之酸度，而訂定者。此種方法幾專用於檢查磷鉀二質之有效分量。據夫立氏 (Fraps) 云，五分一當量硝酸法祇能溶解磷酸鈣，不能溶解磷酸鐵或鋁，故可用以分別磷酸物質。又云此法不能提取正長石之鉀，祇能溶解黑白雲母，白榴石，霞石之鉀，其溶度仍各有不同。由此亦可以辨別各鉀礦矣。戴雅氏搜集各種土壤研究，而對於其試驗場之土壤研究尤詳。茲錄其比較強氫氯酸與百分一檸檬酸對於溶解磷鉀成分之成績列表於下：

表 (70) 弱酸與強酸浸出液磷鉀量之比較

繼續施肥	磷酸含量 %		一氧化二鉀含量 %		
	強氫氯酸	1%檸檬酸	全量	強氫氯酸	1%檸檬酸
三十八年 無廐肥	.0099	.0055	1.448	0.183	.0036
磷肥	0.128	0.0436	1.500	0.204	.0065
鉀肥	0.121	0.0100	1.695	0.318	.0366
磷鉀肥	0.189	0.0538	1.718	0.300	0.0340

戴雅氏謂凡土壤中有效磷酸在 0.01% 以下者，多為需要磷酸肥料之証，一氧化二鉀在 0.01% 以下者，亦為需要鉀肥無疑。此種方法利用甚廣，所得結果較用強氫氯酸者為可靠，與實際情形頗相似。但亦不能

視爲絕對標準,不過一比較數而已。因植物根各有強弱,百分一之檸檬酸液豈能代表一切耶。

(c) 水之浸漬法 用漏斗載一定重量之土,灌一定量之水於其上,任其自然下流通過土壤,則土內可溶於水之物質,自溶解而流出,以器盛之可供化驗研究考哀士汗氏 (Eichorn) 與孟打氏 (Munder) 氏用水浸漬兩種土壤,一來自邦 (Bonn),一來自甘尼士 (Chemnitz),浸凡十日與二十八日,其用水量爲土壤重量三分之一,將濾得液分析,茲節錄其成績如下表,其數爲每百萬分溶液中之分量。³

表 (71) 沃土與瘠土中水溶物性質分量之比較

	SiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	NaCl
邦 土	48.	25.4	38	38.4	痕跡	?	31.0	100.2	58.6
甘 尼 士 土	25.7	7.5	83.6	37.4	11.7	?	痕跡		47.6

二土相較,哀士汗氏推測邦土所含溶解適用養料,可供一造豐穫小麥之吸收,而甘尼士土則不足一小造收成小麥之吸用云。但此種實驗限於時日,限於水量,其溶解之量,亦因而有限。簡氏研究土中溶解養分量,而用此水溶法偵知土中可溶物質之量無窮,祇有差云耳。

許次氏 (Schultz) 實驗一沃壤,用蒸溜水連續灌洗凡六日,每廿四小時內,用一公升水,其成績如下表(其數爲百萬分溶液中含有之分量)。

3. Hilgard Soils P. 326—329

表 (72) 六日間水溶物浸出量

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	共數
溶解質全量	535	120	261	203	260	200	1579
有機揮發物	340	57	101	83	82	77	740
無機物	195	63	160	120	178	123	839
P ₂ O ₅	5.6	8.2	8.8	7.5	6.9	4.4	41.4

由上表觀之，有機物之第一次溶解者成分甚高，而無機物則逐漸溶解，似無甚大增減，至五氧化二磷則接續溶解焉。

烏布力希氏 (Ulbricht) 實驗一瘠土三十日，每三日用水四十倍於土之重量，其成績表列後：(其數為百萬分溶液中含有分量)。³

表 (73) 三十日間由瘠土水溶物浸出量

物質 \ 次數	第一	第二	第三	第四	第五	第六
K ₂ O	7	6	7	7		3
Na ₂ O	41	11	26	17		8
CaO	96	70	55	48	62	
MgO	14	10	9	7	8	
P ₂ O ₅	痕跡	2	痕跡	1		
共 數	158	99	97	80	70	11

以此表與前表相較，其溶解物質共數，及五氧化二磷溶解數，相差甚遠，兩土力之厚薄可斷言矣。

化學分析方法有種種,所得結果亦各有所代表,但祇以分析所得,每不能決定該土壤之生產力,或需要某種肥料,氮,磷,鉀,三質之含量約畧相等者,其生產力亦間有不同。如此情形,其左右出產之條件,或在石灰及有機質之含量。如此五者數量不相上下,而生產仍懸殊者,則土壤之物理性質,與健全情形,須注意考察之,自可明瞭其原因矣。土壤之呈酸性與否,須施石灰與否,不難由分析而定。又缺少氮質者,必為缺少有機物之証,蓋二者互相關連也。氮質少之土,應施用氮肥,及有機物以補救之。考土壤之有機物,其中氮之成分,往往高低不一,而氮之成分高者,其土每較肥沃,故可根據以作比較,而定土之肥瘠。茲列表於下以備參攷。⁴

表 (74) 各種土壤所含有機質平均量

	瘠瘠土	中等土	沃 土	極沃土
有機質 %	0—3.0	3.0—6.0	6.0—10.0	10.0 以上
氮 %	.00—0.100	0.10—0.25	0.25—0.40	0.4 以上

第二節 土壤溶液

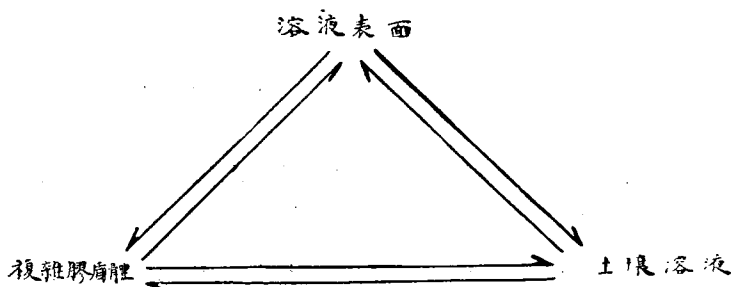
存於土壤中之水分,除化合水外,由吸着水,毛細管水,地下水,三種而成。吸着水之全部,及毛細管水之一部,不能為植物利用。又地下水近於毛細管水之一部,亦不能利用。蓋前者因土壤膠質物吸着力超過於植物根之吸收力,後者對於植物為有害,或存在地表下

4. Lyon and Buckman—The Nature and Properties of Soils. Chapters 14, 15. (1922)

甚深，為根之吸收力所不及；因此對於植物之生活上有效之水分，只有毛細管水之大部分屬之。土壤溶液主由毛細管水而成。土中可溶成分即在其中。濕潤境之土壤溶液非常稀薄，易電解反應或酸，或鹼，或中性，依地方情形而定；大約降雨量多之地為酸性，雨量少之地為鹼性。土壤溶液內普通均溶有多量之碳酸氣體及多少之膠體物質。

土壤溶液成分，一方面關係土壤生成，他方面對於植物如營養分之供給，有重要之意義，其反應如何，及有效營養分之種類與分量，不僅影響植物之生長，即於微生物之繁殖上，關係亦甚大。又土壤溶液乃極複雜之液體，其中成分與濃度，時常變化，以吸着水及毛細管水為營養物之聚散場。其水膜之厚薄，因吸着力愈大而愈厚。某種成分少時，則膠質物與溶液間之平衡有所變動，立時因吸引關係超於平衡，以保持原來狀態。今示土壤溶液，膠質與溶液間之關係如第四十四圖。

第四十四圖



表示溶液表面膠質體及土壤溶液間之相互平衡作用

(一) 土壤溶液之研究法 研究土壤溶液甚為困難

因無確實可靠之方法以採集土壤溶液也。所用方

法不同，結果自彼此互異。今就較為可靠，且得純粹溶液之方法約畧述之：

(1) 離心力法 布力及黑倫氏 (Briggs and Mc Lane) 用一種離心機，其力約當地心吸力之三千倍，以抽取土液。若土壤中含有複雜之膠質物，及多量毛細管水時，可採得少許之溶液。

(2) 土壤浸出法 布力氏更用陶製加壓濾過器 (Pasteur-Chamberland filter)，將一定量之土壤用純水浸漬（一與五之比），搖盪加壓濾過，或以普通濾紙濾之。所得之溶液，可採集分析，此法美國土壤局用之。

(3) 排水法 排水乃地下水與重力水共同通過土壤而排出者；此法採取甚易。但其溶液異常稀薄，除氮素與石灰外，其他植物營養分排出水中，不過僅存痕跡。且土壤對於各成分之吸收力不同，某成分多，而他成分則含量甚少。故以排水而分析，對於每年由土中流失成分，可得相當之了解。但欲得土壤溶液之確實知識，則頗難也。

(4) 置換法 置一定量土壤於筒內，在未裝入土壤之先，筒之下部墊有一層細砂，筒須直立，然後注入一層（二至三寸）酒精，酒精緩緩浸入土中，土壤溶液即被置換物而由筒之下端流出，直至有酒精氣味時為止。此法無濾過之必要，可得土壤溶液百分之三十五以上。但仍依土中水分之多寡，而各有差異。

此外採取土壤溶液之法尚多，不能枚舉，但所取得之溶液，均與原來濃度上，成分上，不免有多少改變，不能代表原來土壤溶液。故以此所得研究結果，而斷定土壤之生產力，亦不過比較的，而非絕對的，關於濃度

方面，波于可氏 (Bouyoucos) 用冰點下降法以求之，由下降之度數；得推知濃度，換言之，即溶液內含有若干之可溶性鹽類也。此法雖不能視為滿意，然許多土壤的，及土壤溶液的問題，可以得不少參攷。

(二) 土壤溶液之成分 土壤溶液既甚複雜，變化莫測，故吾人欲研究之問題甚多，茲括其要者有三：(1) 土壤溶液之組成及其濃度，(2) 每種成分之力量，(3) 影響土壤溶液之外界情形。茲分別言之：

(1) 土壤溶液 除鹼性土或乾旱區域之土壤外，大都非常稀薄，所含礦物質，或有機化合物每百萬分中極少超過三萬分者；且大部分溶質為電解物，在水溶液概得電解 (Electrolytic dissociation) 為“離子” (ion) 形態。由分析土壤溶液之經驗，可知凡普通之酸根，與鹽基，均有存在。例如 K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Fe^{+++} , Fe^{++} , Al^{+++} , NH_4^+ , H^+ , SO_4^- , SO_3^- , Cl^- , PO_4^- , NO_2^- , NO_3^- , CO_3^- , OH^- 等是也。不過因土壤及施肥種類有多寡之別耳。土壤溶液有酸性，中性，或鹼性者，但多數為微酸性反應。⁴ 此或由於二氧化碳溶於水有以致之也。

(2) 每種成分之含量 關於土壤溶液中各成分含量之研究，不但甚少，且確實可靠者亦鮮。據摩巾氏 (Morgan)⁵ 之研究，以乾燥土壤為標準，土壤溶液中所含鉀量約百萬分中之 17-586； PO_3 , 3-25；Ca, 18-3671；Mg, 60-2053；又傾氏對於土壤浸出液之研究，同種土壤硝酸鹽之量，隨時而異，由百萬分之一或 2-150，不

5. Morgan—The solution obtained by the oil Pressure Method, Mich Agri. Expt. Sta. Tech. Bul. 23, 1926

6. J. Alan Murry—The Science of Soils and Manures. P. 77-103

過其他成分無相差如是之甚者，因土中氮素成分，依微生物之關係而隨時變遷也。美國土壤局用離心力法而得之土壤溶液，其中鉀量平均百萬分之28；鈣32；磷僅百萬分之八云⁶

(3) 影響土壤溶液之外界情形 土壤溶液隨時變遷，已如前述，而變遷之影響，不但及於化學或生物的作用，而於植物之生長關係亦甚鉅也，考外界情形之影響於土液者，以作物及季候為重要。某種土地不論其休閒或耕植，其土液受季候之影響甚大，據何連氏 (Hoagland) 之研究結果，對於休閒與耕植地之土液成分含量，按月不同。茲節錄之如下表，⁷ 其中數目為每百萬分土液中之物質分量。而各土中水分大致不差云。

表 (75) 休閒與耕植對於土液成分之關係

時 期	沃 土		礫 土	
	休 閒	耕 植 大 麥	休 閒	耕 植 大 麥
七 月 十 日	2000 P.P.M.	1200 P.P.M.	1100 P.P.M.	600 P.P.M.
七月二十四日	1700	500	800	200
八月二十一日	1800	700	1300	400
十二月十三日	4300	1900	2900	900
十二月十八日	3400	1500	1800	1000
二月十二日	4200	1900	2700	1800
五 月 七 日	6700	3800	6300	3700

7. Lyon and Buckman—The Nature and Properties of Soils, Chapters 14, 15. 1922

由此可見休閒地之土壤溶液所含物質分量，較耕種者為高。且土壤間不同之點亦頗顯著。良好土壤之溶液較濃。土之種有作物者，則沃土溶液之濃度常較礫土者低。各種土壤溶液之濃度，即其肥礫之表徵，可於作物生長之狀態得之。此外土壤之物理性質，與土液亦有關係，蓋土中所含膠質有多寡，而膠質又因氣候之關係而變遷也。

溫度高則土壤中之一切作用為之增進，土壤溶液之濃度亦隨之而增加；降雨之後，則土壤溶液為之稀薄。倘植物吸用某成分特多，則原有之濃度，因平衡作用而亦改變。中耕及施肥於土壤，溶液之成分亦有顯著之影響，尤以溫暖之季候為甚。蓋耕種施肥，不但助土壤空氣流通，而細菌生活作用，亦大為促進。故硝酸鹽能於短少時間增進，即其他礦物質，因而變為可溶性者亦不少也。此外土壤中水分多寡，亦不足以影響土液之濃度。波于可氏對此問題，亦曾研究。茲節錄其成績於下：⁸ 其中濃度為每百萬分土液中之物質分量。

表 (76) 土中水分量與土液濃度之關係

土 別	水 分 %	濃 度 P.P.M.	水 分 %	濃 度 P.P.M.
砂 土	2.60	3939	21.98	303
砂 質 土 壤	3.30	13639	21.35	606
壤 土	11.18	13780	20.97	848
埴 質 壤 土	17.40	20153	34.76	1061
粘 土	18.80	28940	36.50	1030

由此可見土壤水分超過保水力量最高限度後，由排水而流失之物質分量必增加，而土之水分亦同時增高，故土液之濃度變低也。

(三) 土液與出產之關係 作物既由土液吸收營養料，則土壤之肥礫，應與土液之成分及濃度有一定之關係。據何連氏之研究，沃土之土液濃度較高云。何氏等研究路典士的試驗場之土壤浸出液，其結果證明土液中磷鉀濃度，與生產量成正比。茲節錄之如下表(其浸出液項內之數係每百萬分量)。

表 (77) 土液中磷鉀濃度與生產量之關係

施肥種類	每英畝 產量 (磅)	全 量 分 析		水 浸 液 P.P.M	
		P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	P ₂ O ₅	K ₂ O
未 施 肥	1276	.099	.183	.525	3.40
氮 鉀	2985	.102	.257	.808	30.33
氮 磷	3972	.173	.248	3.900	3.88
氮 磷 鉀	5087	.182	.326	4.025	24.03
廩 肥	6184	.176	.167	4.463	26.45

3. Lyon and Buckman—The Nature and Properties of Soils, Chapters 14, 15. (1922)

第十五章

土壤酸性及石灰需要量

土壤之化學性質，常有呈酸性反應者，此種土壤通常名之曰酸土。大抵於雨量多之地方發見。而乾燥之境較少。酸性強時，每妨害一般作物之完全發育。救正之方，以施用石灰為唯一良法。茲分別論之：

第一節 土壤酸性之原因及其普通檢定法

土壤發現酸性，乃土力瘠瘠或變劣之一種表徵。低窪之濕地，如堆植土，腐有機質土，以有機質豐富，常受水淹，空氣缺乏，有機物腐化而發生之有機酸，無能氧化，留存土中，而土遂現酸性。又如砂岩之原生土，蘊藏之石灰及鹼金屬物質，本不豐富，若受雨水洗溶，流失過多，亦常發生酸性。如廣州市一帶高地之土是也。甚至石灰岩原生土，亦有發生酸性者。此於廣西柳州城附近發見之。大抵由於原有石灰流失過甚所致。又或施用無機肥料，如硫酸銨，硫酸鉀，氯化鉀等。若不提防其酸根，累年施用，其酸根與土中之鈣鉀鈉等質，化合而流失，則土中鹼金屬物質短少，亦足發生酸性。是故酸性之由來，大概因遊離溶解質之存在，或鹼金屬物質之缺乏，或二者兼而有之。前者屬於顯明之酸性，以其可用藍紙以試驗之。而後者屬於不顯明之酸性，以其不能用試紙以明証之也。

(一)土酸之學說 考解釋土酸之學說有三：一曰

腐植酸學說(Humic acid theory)。二曰膠體物質吸收性學說(Colloidal absorption theory)。三曰真酸性物質學說。所謂腐植酸學說者，其理解以爲土壤之發生酸性，乃不飽和之學說(Unsaturation theory)，因有機物質方面，發生腐植酸所致。而第二學說乃根據試驗酸土吸收各鹹性物之鹽基(bases)數量，不如其化學之當量爲理由而主張者，其理解以爲若使確因酸物質存在，則吸收之鹽基數量，應如其各化學當量之比例。如一份子重量之氫氯酸，與一分子重量之氫氧化鈉相化合，而成中性之氯化鈉。或與半分子重量之氫氧化鈣化合，而成氯化鈣。其吸用之鈉與鈣之數量，爲其當量之比。惟膠體物質吸收鹽基之數量，則不必與其化學當量發生關係，故有此主張。第三學說，爲徐魯乙氏(Truog)近年來所主張者。蓋以第一說太籠統，而又不能解釋無機礦質方面之酸性。而第二說對於研究方面採用之方法手續，有未盡精微之處，故未試得吸收各鹽基之量，爲其當量之比。經將試驗之法改善，結果可得吸收鹽基之量，幾爲其當量之比云。¹ 徐魯乙氏主張以爲土壤之中，有機無機之物質，均有發生酸質之可能；而土之酸性，實因有機酸或無機酸之存在。或兩者同時存在，至於土中膠體物質，吸收鹽基之量極微，實不能與土酸比較也。據徐魯乙之見解，有機物方面有各種有機酸，而無機方面大概以矽酸或鋁矽酸(Alumino-silicic acid)最爲普通云。

土壤中所含之可交換鹽基(Exchangeable base)，大部

1. Truog F.—Soil Acidity: I. Its Relation to the Growth of Plants, Soil Science Vol. 5, pp. 169--195

爲鈣,鎂,鈉,鉀;而在中性土壤,鈣約佔可變換鹽基百分之八十。大凡土壤之吸收力完全被 Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ 等滿足時,稱爲飽和 (Saturated) 的土壤,如中性或鹽基性之土壤是也。如金屬離子被洗去,而 H^+ 離子加入時, H^+ 離子愈多土壤酸性愈強,故此種土壤稱爲不飽和土壤 (Unsaturated Soil),欲知土酸之強弱,通常測定氫離子之濃度 (Hydrogen ion Concentration) 而以 pH 表示之, pH 7.0 爲中性,7 以上爲鹼性,隨數字而鹼性遞增。7 以下爲酸性,隨數字下降而酸性遞增。普通土壤酸性之最強烈者,約爲 pH 3.5 至 4.0, 鹼性土之 pH 最高者約 9—10 云。

(二) 土酸檢定法 檢定土質酸性,其涵養有兩種:一則檢查其是否有酸性,二則檢定其酸性之程度,以作施用石灰數量之標準也。考檢定方法甚多,其最簡易者則用平常藍試紙法 (Blue Limus paper)。但此法祇能辨酸性之有無,而酸性微弱時,每不易檢查,是其缺點。其他檢查法則多注重於酸性程度之檢定,而同時亦可用以檢查酸性之有無,茲舉其中通行者,分別畧述如下:

(1) 氫離子濃度之測定 測定土壤之氫離子濃度有比色法,及電極法 (Electrode method) 兩種,而後者又有氫電極 (Hydrogen electrode), 玻璃電極 (Glass electrode Quinhydrone), 鋁電極等種種,各有其優劣,最近似傾向於玻璃電極之使用。由測定之 pH 再加一定量之石灰水於該土壤懸濁液 (Soil Suspension) 內,以達 pH 7.0 而計算每一單位面積所需要之石灰量。

(2) 域治氏法 (Veitch Method) 此法用已知濃度之石灰水,和勻土壤,蒸乾後檢定其土吸用石灰數量。

(3) 何金氏法 (Hopkings' Method) 此法用已知濃度氯化鉀液，浸漬土壤搖動若干時，隨以標準釅液，滴定其液中酸之數量，而推定其需要石灰量大工原法亦大畧相同。

(4) 徐魯乙 (Truog) 氏法² 此法以硫化鋅及含水氯化鈣或含水氯化鋇加入土中，煮之以水，俟其反應放出硫化氫，以醋酸鉛紙試之。因其試紙所得顏色之深淺，比較標準表而定其石灰需要量。

(5) 奄麥臣氏法 (Emersons' Method)³ 此法創始於金布氏 (Comber) 後經奄麥臣修訂者，其法根據試驗所得之理想，以為酸土中之鐵為第二鐵，而酸性強弱與第二鐵多寡有關。以硫氰化鉀 (KCNS)溶於丙酮 (Acetone)及醚 (ether)中，試之可現血紅色。其色澤深淺，亦可據以比較標準表，而推定其石灰需量。

第二節 土酸影响植物生長

農用植物之中雖有宜于酸土者，但以不宜者居多。然其不宜之程度，仍有差等。茲就酸土影響植物生育之各種情形而研究之，大概可分間接與直接之兩方面說法，茲分別而述之如次：

(一)間接影響農用植物生長之情形，舉其重要者有三：(1)關於地力者 (2)關於生物方面 (3)關於植物病之流行。

(1) 關於地力方面 酸性影響地力，可分物理化

2. Truog, E. Testing Soils for Acidity, Agri. Exp. Sta. Uni. of Wisconsin. Bul. 321. 1924

3. Emerson—Soil Characteristics, pp. 89—91

學及生物三方面討論之在物理方面，土壤變酸，石灰缺乏，則土之物理性受多少之轉移。例如粘重之土，石灰缺乏，土粒難以結合小團，而耕犁困難。砂土缺乏石灰，其粘性更自薄弱，易受狂風吹捲，其保蓄水力減低，植物易受旱病。

在化學方面，土壤中之變化，每產生有妨害植物之毒質，土中之石灰常能沉澱之，或調和之，使不至發生危險。若酸性土石灰缺乏，則此種作用欠缺，對於植物生長方面不其善之情形發生矣。又就土中之磷質而言之，土中磷酸，本以磷酸鈣為最適于植物之吸收，土壤變酸，則土中之磷，每變成難于適用。原因有二：（一）由於土液中之鐵與鋁濃度增加，磷酸多與化合，而成磷酸鐵或鋁。二者均較磷酸鈣難溶解於土液中，植物無能吸用之。（二）與酸性有機物混合，或化合成為一複雜之磷酸物質，難溶於土液。故亦不能供給植物之吸收。

不特磷酸化合物，在土液中之濃度有變更，即鎂、鈣、鉀、鈉、鐵、鋁、錳、銅、鋅，及其他重金屬之化合物亦然。茲就純粹化學變化上討論之：將鈣、鎂、鉀、鈉，分為第一類。鐵、鋁、鋅、錳、銅、鉛為第二類。土壤變酸時，第一類原質所化成之化合物之適用度變少。其故有二：（a）因土中石灰缺乏，土中不溶解之酸物質多，有吸收鈣、鎂、鉀，而成中和性物質者，則土液之中第一類原質，所成之化合物之濃度變少矣。（b）土壤中之生物變化，受土酸之影響，而進行常生障礙，則凡生物變化發生之物質，足以溶解第一類原質所成之物質者，亦自減少。即土液中此種物質適應植物吸收之程度亦較低矣。土液內所含

第一類原質所成化合物減少，濃度薄弱，即予第二類原質所成化合物以多量溶解之好機會。蓋第一類所成之物質，多屬碳酸物，在土液之中可以沉澱第二類之化合物。今若第一類之化合物減少，則第二類鮮受沉澱之虞，而濃度自是增加，土液富含其物質矣。試舉鐵而言之：其溶於土液之濃度，視石灰之增減而為進退，石灰施用愈多，土液中之鐵質減少，如波羅，青花羽扇豆(Blue lupine)，每因石灰施用過多，發生一種缺乏鐵質之病曰 Chlorosis，此足見鐵之受石灰影響也。錳質亦然，凡土壤富有錳質，其土液中錳質亦多，植物吸收致生病者，可用石灰以救正之。

據毛氏(E. W. Morse)笠布列氏(R. W. Ruprecht)等之研究，砂質土或腐有機質土，每因多施硫酸銨而生酸性，同時在土液中發現有毒性之鋁質化合物，每致植物不能生長，若施石灰以調和土酸，以沉澱其毒性鋁質，則妨害之物去，而植物可生矣。若在壤土或粘土，其中含有多量之膠體物質足以緩和其毒性者，則弊害稍殺云。其他銅，鋅，錳等質，土壤之中，常有存在，則土性變酸。此等金屬化合物均有溶解之可能，而有毒於植物；救正之法以石灰為良。

(2) 生物方面 土質變酸，有益於生物否。如硝化菌及固定空中氮氣等菌，其繁殖不易，則其作用停滯。而土中有機物受其作用而變化者，因以遲緩，植物營養料之製造即受影響。不特此也，有機物積而不化，每發生妨害之物焉。在一定之鹼性或酸性反應之範圍內，最適於某種農作物或其共生之微生物的生長，超過此限度則防礙其生長或減少其產量，或害其品質。

茲示各種農作物最適宜之pH如次：

農作物	最適	農作物	最適
小麥	6.5—7.5	水稻	5.5—6.5
甘蔗	7.0—7.5	馬鈴薯	5.0—6.0
甜菜	7.0—7.8	棉花	6.0—7.5

愛利休士 (Prof. Arrhesius) ⁴ 經過實驗四萬種土壤之結果,判斷甜菜優越收穫在pH 7.0至7.5之間,苟pH值稍低,降至6.5,則收穫必減少百分之十云。又愛氏考驗千餘種農地所得之統計如下：

土壤反應 (pH)	甘蔗收穫量 (最高為 100%)	
酸性 {	6.0	93.5%
	6.4—6.5	96.0
	6.5—6.7	95.5
	6.8—6.9	97.0
中性	7.0—7.1	98.5
鹼性 {	7.2—7.3	10.0
	7.4—7.5	93.5
	7.6—7.7	91.0
	7.8—7.9	88.5

(3) 關於植物病害之流行 農用植物之中,雖有蕎麥,黑麥,豌豆,馬鈴薯,甘薯,西瓜等,能生長或宜於酸土。然而其他作物,每因酸土之菌病甚多,而不生長者。

(二) 直接影響農用植物生長之要點亦有二:(1) 關於鈣質之供給,(2) 關於豆科植物根瘤菌方面。

(1) 關於鈣質之供給 鈣質在植物體中,除供作肌體之構造外,其餘大抵用以中和有機酸,以協助生機之進行。惟此種中和作用,以碳酸鈣為最適宜。其他

鈣之化合質，不能有相當之效用。若土性變酸，鈣質缺乏，給養不足，植物難免發生鈣質缺少之病態矣。

(2) 關於豆科植物與根瘤菌 豆科植物根瘤菌之微菌，本有固定空中氮氣之能而多數豆科植物，每因土壤石灰成分豐富而生長易根瘤多。一般見解以爲此種豆科植物，感覺土酸之性極靈敏，當土變酸時，此種豆科植物抵抗酸之能力薄弱，在此環境之中，根瘤菌不能積極工作，以固定氮氣。但據徐魯乙氏及夫列氏 (Fred) 等之研究結果與推論，以爲植物體中之巡迴液 (Circulatory) 本屬酸性，而根瘤與植物肌體直接連合，則瘤中之液自有酸性根瘤菌能生存於根瘤之中，自應能在酸性環境中生活。惟此種微菌，當未入植物根，而在土中生活時，一切養料均仰給于土中。然養料之中，以磷質爲重要，若在酸土，磷質適應給養程度甚低，則磷之養料短少，難資繁殖。故豆科植物栽於酸土中，每有不起根瘤，而生育不壯旺者，蓋在此環境，此種微菌不甚活潑，不易入豆科植物之根，又或因石灰缺乏，毒物滋生，致妨害其生存或繁殖云。

第三節 石灰需要量

土壤酸度達某程度時，抗酸弱之農作物，往往難得健全之生長，施以石灰則常得正常之發育，此種土壤爲需要石灰之証。故普通改良酸性土，救正其酸性，必先檢查其酸性程度如何，計算每畝之表土，需要施石灰若干斤，適足以中和其酸性，此謂之石灰需要量。

求石灰需要量之方法甚多而無完善可靠之方法，對於同一土壤所得之結果，因所用方法而迥然不同。

欲知石灰需要量之大概，則任何方法皆可，各有其特點。

研究石灰需要量，通常係就土壤而言，近年來經赫爾威氏 (B. L. Hartwell) 及典門氏 (S. C. Damon) 之試驗，各種農作物抵抗酸土之力，至為參差故使用酸土不問所種者何物，但注重于中和土酸似欠妥當。且實際視察有種農作物確宜于酸土，或能生于酸土者，故施用石灰，以調和土酸，不問作物情形，是未妥善。故徐魯乙氏主張以為石灰需要量，應對植物而言，不能對土壤而言。雖檢定之手續較繁，而為用較切實。其所謂植物之石灰需要量釋義如下：「植物之石灰需要量，乃指植物得完善之生育，其本身需要石灰之數量，而特別注重其採用之易否與速率」。然則植物之石灰需要量如何，以檢定計算之，其檢定之法依下列之三種標準以推定之：

- (一)植物體之石灰成分，
- (二)植物生長之速率，
- (三)植物採用石灰之能力。

植物體之石灰成分，可由化驗以檢定之。植物生長之速率，乃指植物生長時製成一單位重量乾物質之速率。此速率可用估計比較而得之。雖不十分準確，但亦無大錯誤焉。

植物採用石灰能力之大小，由下列之四種情形以推定之：(1)根部擴張之度，(2)根部之特性(3)根內之酸性(4)碳酸之分泌。此四種情形之中，以前二者尤為重要。根部擴張之度，乃指根部所達到之面積，及深度而言。面積廣深度大者，其採用石灰之能力自彰。若是直

根而又淺者，則其採用石灰之能力自必薄弱。例如燕麥之根，較大麥之根尤為擴張，故其採用之能力較大。又如直根之苜蓿，與橫根極發達之苜蓿相較，其採用力亦遠遜之。採用石灰固如是，即採用其他各種營養料亦莫不然。故根部短弱之植物，不易生長於礮瘠之土也。根部固以擴張大者，則其採養料能力强。但其根部是否活潑，新根鬚多否，均屬重要之點。此根部之特性也。植物吸收養料，大概賴新根或鬚根以工作。即使根部擴張極大，但老根太多，則吸收養料之能力未必甚大焉。

根內之酸性程度愈高，則其採用養料之能力愈大，例如蕎麥，其根部雖不甚擴張，但其根內之酸強，故能生長於劣土。大抵根內之酸性强，則石灰之吸進較易也。至碳酸之分泌，植物之根常有之，所差者多寡耳。數量多者，其採用石灰之能力强，反之則弱。

徐魯乙氏根據以上之三種標準為原則，檢查各植物之石灰成分生長速率，及採用石灰之能力，分別等差，製成下列之植物石灰需要量表，并載入各該植物對於施用石灰于酸土所負責任之程度，以資比証焉。

(a) 該表多是利用路島 (Rhode Island) 試驗場赫威爾 (Hartwell) 及典門氏 (Damon) 等之試驗成績，⁴ 與烏爾夫 (E. Wolff) 之灰分分析表以製成者。

(b) 表內所用之 1, 2, 3, 4, 5, 等數目字，其指示之意如下：

1 指示極低，2 指示低，3 指示中等，4 指示高，5 指示極高。

4. O. Arrhenius—Ses travaux sur la Reaction des Sols a Java. Revue Generale des Science T, XVI Nr. 1 (1030)

若介乎兩者之間,則用 0.5 之數目以表示之。

徐魯乙 (Truog) 研究六十二種不同之農作物,在酸性土其石灰需要量與所得結果之實際情形頗為近似,尤以紫苜蓿,甜菜,烟草,椰菜等為然云。茲畧示徐魯乙 (Truog) 製定之植物石灰需要量,與其施石灰於酸土負責程度關係如下表:

表 (78) 植物需用石灰量及石灰對酸土負責程度

植物類別	植物體之石灰分析比較數	植物生長之比較率	植物採用石灰能力	植物之石灰需要量	植物對施石灰於酸土負責程度
紫苜蓿	4.5	4.5	2.0	5.0	5.0
落花生	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
大豆	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0
小麥	1.0	3.0	2.5	2.5	2.0
玉蜀黍	1.5	5.0	3.5	3.0	2.5
稻	1.0	2.0	2.5	2.0	2.0
棉	1.5	3.0	3.5	2.5	1.5
甘蔗	1.0	4.0	3.5	2.0	2.0
烟草	5.0	3.0	2.0	5.0	4.0

摩巾氏 (Morgan) 之石灰需要量求法更為進步,不但依土壤之酸度植物種類,而土壤之化學成分及物理性質亦注意及之。摩巾氏 (Morgan)⁵ 將各種農作物依抗酸之程度而列為 A. B. C. D. 之四大類如下:

5. Morgan-The Universal Soil Testing System Connecticut Agri. Expt. Sta. Bul

A (pH 6.2—7.6)	B (pH 5—7.2)	C (pH 5—5.6)	D (pH 4.6—5.4)
紫苜蓿	大麥	豆類	黑麥
甜菜	椰菜	胡蘿蔔	馬鈴薯
菜花	紅三葉草	瑞士三葉草	番薯
芹菜	茄子	玉蜀黍	西瓜
葱	南瓜	大豆	
豌豆	黃瓜	烟草	
甜三葉草 (Sweet Clover)		小麥	

在某一定作物與 pH 關於石灰之施用量尙有宜注意者，即為土壤之質地及有機質之多寡，可分為四種：

甲 砂土及灰白色土壤。

乙 中等棕色土或棕色砂質壤土。

丙 暗黑色砂質壤土，中等棕色或灰棕色壤土，淺色埴質壤土。

丁 暗黑色壤土，中等棕色或灰棕色埴質壤土，淺色粘質壤土。

上列係以乾燥土壤之色澤為標準，含有機多者愈濕，其色愈黑，故宜斟酌定之。如土壤中石灰質高，鋁之含量低，則石灰需要量可依某作物遞減一級。

例如 pH 為 5.6，石灰多鋁少，則 B 種作物之石灰需要量可減為 C 種，如鋁多，石灰少，則可改為 pH 5.2

由 pH 之試驗，如土壤需要施用石灰，又缺乏鎂質者，應施含鎂石灰 (Dolomitic lime Stone)，如 pH 不太低，不需要若何之石灰者，鎂之補給，最好以石膏充之，如鈣之含量特少，而鎂多者，當用最上等之石灰。

下表係根據 pH 在春季或秋末之測驗，如在夏季測

驗之 pH 應減 0.4, 以適合標準。

表 (79) 石灰施用表

以碳酸鈣每英畝噸數計

(如用氫氧化鈣僅用標準量三分之一)

井 此類作物在此 pH 不必施用石灰者。

米 施用酸性肥料時宜用石灰。

O 最好用中性肥料。

X 宜施用鹼性肥料或少量石灰者。

甲種土壤(砂土及灰白色土壤)

乙種土壤(中等棕色土等)

pH	A	B	C	D		A	B	C	D
7.2	O	米	井	井		O	米	井	井
6.8	O	O	井	井		O	O	井	井
6.4	X	O	米	井		X	O	米	井
6.0	.5	X	O	米		.9	X	O	米
5.6	1.0	.5	O	米		1.7	.9	O	米
5.2	1.4	1.0	.5	O		2.5	1.7	.9	O
4.8	1.8	1.4	1.0	.5		3.1	2.5	1.7	.9
4.4	2.1	1.8	1.4	1.0		3.5	3.1	2.5	1.7
4.0	2.3	2.1	1.8	1.4		3.8	3.5	3.1	2.5

丙種土壤

丁種土壤

pH	A	B	C	D		A	B	C	D
7.2	O	※	井	井		O	※	井	井
6.8	O	O	井	井		O	O	井	井
6.4	X	O	※	井		X	O	※	井
6.0	1.2	X	O	※		1.7	X	O	※
5.6	2.4	1.2	O	※		3.3	1.7	O	※
5.2	3.5	2.4	1.2	O		4.7	3.3	1.7	O
4.8	4.4	3.5	2.4	1.2		5.8	4.7	3.3	1.7
4.4	5.0	4.4	3.5	2.4		6.5	5.8	4.7	3.3
4.0	5.4	5.0	4.4	3.5		7.0	6.5	5.8	4.7

以上方法雖甚合乎科學原理，且兼籌並顧，然頗繁難，不甚合乎實用，且每畝面積之土地，雖多施數十斤，對於土壤與作物并不發生多大之影響。奄麥臣氏 (Emerson) 法最簡單，頗適合田間之用，即將供試土於試管中加以硫氰化鉀液 (KCNS) 後猛搖數次，靜置沉清。依其表現紅色之深淺而知石灰需要之大概。其標準如下表：

表(80) 土壤酸度及其石灰需要量

酸 度	約等於pH	顏色	石灰需要量 每英畝(噸)	每四年每市 畝(公斤)	每年每市 畝(公斤)
0 無 酸	pH 7.0	無色			
1 微 酸	6.5—7.0	微紅	$\frac{1}{2}$ —1	75—150	20—40
2 最弱酸	6.5—6.0	稍紅	1—2	150—300	40—80
3 弱 酸	6.0—5.5	淺紅	2—2 $\frac{1}{2}$	300—350	80—90
4 中 酸	5.5—5.0	紅	2 $\frac{1}{2}$ —3	350—450	90—110
5 强 酸	5.0—4.5	深紅	3—4	450—500	110—120
6 最强酸	4.5—4.0	黑紅	4—5	500—650	120—160

大凡豆科作物及蔬菜作物需要較多之石灰,粘土較砂土需較多之石灰,故在同一酸度亦應斟酌土質與作物而增減也。

第十六章 鹼性土

第一節 鹼性土之分類及其生成

氫離子濃度 (Hydrogen-ion Concentration) 在七以上之土壤可稱為鹼性土 (Saline-Alkali Soils), 為雨量稀少氣候乾燥地方之產物, 我國黃河流域及西北地方甚為普遍。海濱土地受鹽水之浸漬, 或卑窪之地受納高地之排水而成內陸湖泊, 倘一經排水或蒸發過量時, 即現白色之鹼團 (Alkali Spot), 秋冬天氣乾燥, 華北土壤表面常現一層白色物, 稱為白鹼土 (White Alkali), 即與俄國所謂 Solonchak 相當, 所含可溶性鹽類為中性反應之氯化鈉鈣或硫酸鈉鈣, 故白鹼土不一定具有強鹼性, 含氯化鈉特高之土壤, 可稱為鹽土 (Saline or Salted Soil), 或鈉鹽土, 氯化鹽土, 含硫酸鹽類或鈣成分獨多者, 可稱為硫酸鹽土或鈣鹽土。

如鈉之成分特高, 雨水或灌溉水過度, 土壤複合體 (Soil Complex) 內他種鹽基被鈉交換流失, 所遺留之鈉土 (Sodium Clay), 復因加水分解而生氫氧化鈉, 再與碳酸氣體相遇變為碳酸鈉, 則呈強鹼性反應, 能腐蝕有機質, 使土壤呈黑色, 故有黑鹼土之名。黑鹼土 (Black Alkali) 妨害植物之生長較白鹼土為烈, 土粒散漫, 失去團粒之結構, 空氣水分皆不易流通。繼續被水洗刷, 膠質向下移動, 沉澱為膠坭層, 是為柱狀鹼土 (Solonetz)。呈菱柱狀 (Prismatic) 或柱狀結構 (Columnas)。有時盤層之結核。

柱狀鹼土既經生成之後，其中膠質變為流動體，滲入土層之下部。土壤之鹽基交換力低降，可交換氫增高 pH 亦為之低減。B 層常蓋一層片狀，而輕鬆之 A 層，B 層完全變異之後，即再無柱狀結構之殘留，而其本身之反應亦漸趨於酸性，此種作用，稱為復原作用 (Solotization)，土壤稱為變質鹼土 (Soloti)。^{1,3}

真正之鹼土為含有碳酸鈉或碳酸鉀者，在中國可列為此種土壤者尚不多。熊毅氏分中國鹼性土為鹽土與鹼土，並有中鹽漬土之分佈圖。江蘇北部海濱，及山東河北之海濱若干地方為鹽土，東三省察哈爾，寧夏，新疆等地鹽土與鹼土共存云。²

鹼土多發現於雨量在二十英寸以下之區，故五洲各處都有，而以歐洲為最少。其著者為北美之美國西北部，與墨西哥南美之秘魯智利，及巴西西部等處。非洲之埃及，與其他附近撒哈拉 (Sahara)，及加拉哈里 (Kalahari) 沙漠之地，亞洲之小亞細亞，波斯印度之西北，與中國之西北部等處。澳洲除東部雨量較多外，其他多發見鹼土。至歐洲則祇沿地中海之一小部，及匈牙利有少許而已。鹼土分布如是其廣，所佔面積自屬不少。且一般鹼土，若經改良得法，土力饒富，故利用鹼土將成世界農業之重要問題也。

1. be' Sigmoid, A. A. J.: The Classification of alkali land and salty Soils. Proceeding and Papers of the Bt International congress of soil science, Vol. 1, 1927.
2. 梭頗熊毅察哈爾張北縣一幼年柱狀鹼土之性質，實業部地質調查所土壤專報第十五號，民廿五年。
3. G. W. Robinson Soils, Their Origin, constintion and classification 2nd Ec. 1936 P. 298

第二節 鹼鹽蓄積與妨害植物

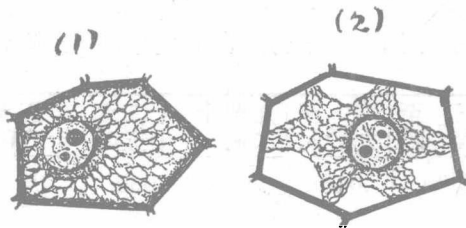
鹼土對於植物之有害與否依鹼質之種類及其含量而定。普通以土中含有之百分數(無水物)為標準,白鹼鹽(Whitealkali Salts)超過 0.5% 僅少數抵抗鹼性強之植物可以生長。而碳酸鈉(黑鹼)約 0.05%, 已足妨礙一般農作物云。⁵ 此外水分之多寡亦大有關係,同量之鹼質在具有較多水分之土壤其害輕,反之其害大。故單就鹼質之百分數而言,未足以知妨害植物之程度。粘土能保含較多之水分,故某種鹽類有百分一時,在粘土未見若何之害,在砂土則受影響。今有粘質壤土與砂土二者均各含百分一之鹼質,加水使其飽和,則前者之土壤溶液其濃度僅當後者之四分之一,其影響於植物生長之不同可以想見。土壤水分之多寡,依氣候為轉移,降雨量及蒸發量尤為重要。黃河流域雨期多在七八月,亦為植物生長最盛之期。土壤溶液不致過於濃厚,夏作物(Summer Crops)較之冬作物自必受害較少,蓋冬季乾燥鹼質水分上升,水去鹼留,表土往往聚有甚多之鹽類也。灌溉地則稀釋與蒸發相繼併行,土壤溶液隨時不同,土下水位距離地面不遠,則地面蒸發必大,最易使鹼鹽聚積,然一經有排水之設備,則鹼鹽可借排水之力引而下降,表土即無過於濃厚之虞,然仍應注意於土壤之管理法也。

由上之說,則無論何境,何種土壤,苟經變化生成之可溶鹽質,作物難以吸收而同化之者;或土之排水力,又不能逐漸將其排出而流入附近水道者,積之有年,其整理土壤之法又不注意,即有發生鹼地之危險。嚴

密耕作之地(intensive farming),土壤中各種變化尤速,則鹼鹽之蓄積愈多,灌溉之地亦然。故嚴密耕作及灌溉之地,仍不能不注意于排水焉。

當土液所含鹼鹽成分甚高之時,其周繞作物根之部分,足使根之細胞滲透壓力(Osmotic pressure)改變,細胞之內容物分出而收縮,如第四十六圖,作物遂現枯萎之狀,有如藏

第四十六圖 鹼性土對植物細胞收縮作用



植物細胞常態 細胞液向外吸出而現收縮之形

萎之狀,有如藏櫻或葡萄于濃糖液中,行見其果體收縮,以果中之水分滲出故也。肉食料之藏于濃鹽液中

亦然。鹼土之鹽質過多,妨害作物,亦同此理也,故用過濃之可溶肥料,不惟無益,常反有害。其他原因有未能確証之者,則鹽質之中不無毒性存在也。

土中鹽鹼積蓄至如何程度,始妨害植物生長,據士滔羅氏(Storer)之經驗及研究,在法國之南部,地當乾燥之時,發現有鹼團者,若非特別注意耕作,以防過度之蒸發者,此等土壤即不宜于普通一切作物,據普勒尼奧氏(Plagniol)之說,凡土壤含有百分之二溶解鹽質者,祇鹽草等(Saltwort, Samphire etc.)能繁殖,其他普通作物即不能長育,及至含有百分之五時,即鹽草等亦不能生,地希蘭氏(Deherain)研究法國土壤,其結論則曰土壤若濕潤適宜,雖含百分之二鹽類,仍能令作物長育而至成熟。若異常乾燥,則雖含有百分之一,作物亦不能生。嘉士巴連氏(Gasparin)研究小麥與鹼地之關係,其

結果若含有萬分之二溶解鹽收穫甚豐,若多至千分之二,則小麥即受損害,不能竟其長育之功云。⁴

乾燥境之鹹地,希路吉氏在美國加利福尼亞省研究甚為精詳,據其條拉(Tulare)試驗場報告,兩農場之地,土壤十八吋深,所含之溶解鹽類成分,其一大麥長高至四呎,其二則溶解鹽分太高,大麥不能生長。今將其分析各鹽質列表于下:

表(81)其(一)大麥長高四呎土壤含鹼鹽百分數

土之深度 (英寸)	零至 三吋	三至 六吋	六至 九吋	九至十 二吋	十二至 十五吋	十五至 十八吋
碳酸鈉	.008%	.009	.018	.024	.038	.04
硫酸鈉	.08%	.26	.01	.057	.307	.02
氯化鈉	.36%	.07	.03	.02	.02	.02
溶解鹽總量	1.20%	.34	.168	.143	.119	.09

表(82)其(二)大麥不能生長之土壤含鹼鹽百分數

土之深度 (英寸)	零至 三吋	三至 六吋	六至 九吋	九至十 二吋	十二至 十五吋	十五至 十八吋
硫酸鈉	.07%	.10	.099	.099	.14	.18
碳酸鈉	1.22%	.16	.11	.143	.10	.06
氯化鈉	.68%	.10	.05	.06	.04	.02
溶解鹽總量	2.44%	.38	.28	.334	.29	.263

4. King, F. H. Irrigation and Drainage, P. 275--278

5. Farmers' Bul. No. 446, U. S. D. A. The Choice of crops for Alkali Lands.

分析之溶解鹽類中有硝酸鈉,以其可作植物養料,故未列入表中。細察兩表之成績而比較其上層三吋深之土,其大麥能長育之土,溶解鹽量不過大麥不能生之土之一半(1.2與2.44之比也),至其黑礫鹽量之相差則更大,爲八與七十之比也。

據地夫里氏(De Vries)之研究,植物細胞與硝酸鉀溶液濃度之關係,其結果則在百分之四溶液浸入植物細胞,即起收縮之現狀,若濃度增加至百分之六,則收縮更顯著,迨溶液濃度增加至百分之十,則細胞液收縮過半,而植物現枯萎狀矣。據此推之,實際上譬如土壤之水分是佔土壤百分之十五,而溶解鹽佔百分之一.五,若此溶解鹽盡溶于土液中,則土液含有百分之十溶解鹽質,而作物即不能生,是與前表之成績相符也。

柳力氏(Loughridge)⁶經多年之試驗,與研究,各普通農業植物抵抗各種礫鹽之力量頗爲精詳,茲節錄其所結果之一部分如下表,表中數目係每英畝四呎深所含有之磅數。至表中祇列鈉鹽者,以其爲礫鹽中之最普通而數量常較高者。

6. Loughridge, R. H. Tolerance of Alkali by various cultures, Calif Agri. Expt. Sta. Bul 133 (1901)

表 (83) 每英畝四呎深所含鹼質磅數

	硫 酸 鈉	碳 酸 鈉	氯 化 鈉	鹼 鹽 總 量
橙	18600	3840	3360	21840
梨	17800	1760	1360	20920
萍果	14240	640	1240	16120
桃	9600	680	1000	11200
杏	8640	480	960	10080
檸檬	4480	480	800	5760
桑	3360	160	2240	5760
大麥	12020	12170	5100	25520
小麥	15120	1480	1160	17280
高粱	61840	9840	9680	81360
紫苜蓿	02480	2360	5760	110320
鹹草	125640	18560	12520	156720

觀上表可知各植物抵抗各鹼鹽能力有差異，而三種鹽中以碳酸鈉之量較少，其妨害植物生長之力較強也。

美國土壤局陶西氏⁶調查鹼土研究各植物之抵抗鹼鹽性，與鹼土所含鹽質之關係，依土中含有可溶鹽類與黑鹼之多寡，分別等差製成一表，茲節錄於次以資參考：

表 (84) 作物對於鹼質量之抵抗力

作物	一切作物 如常生長	除感應性 最靈者外 其餘均生	紫苜蓿 高粱等 可生	甜菜 大生	抵抗力最 強者可生	無植物可生
土中可 溶鹽全 量%	.00至.20	.20至.40	.40至.60	.60至1.00	1.00至3.00	
土中黑 鹼量%	.00至.05	.05至.10	.10至.20	.20至.30	.38以上	

第三節 鹼土之改良

鹼土之分布如其廣，尤其是在我國黃河流域及蒙古等處，已墾之鹼土所在皆有。改良利用以盡天然之利，實我國北方農業之重要問題也。考利用鹼土之法，一方面固應選擇抵抗鹼力強之作物以爲基本或作起點，而他方面亦須設法以制裁或減免鹼鹽妨害之弊，然後始得相當之收穫，或完滿之效果，而經營方有利益，考改良鹼土之方法現行之最普通者，大略可分爲兩類：一曰制裁法，二曰減免法。茲分別約論於次：

(一) 制裁法 此法之原則，在注重土壤之管理，利用覆土以制止土面之蒸發，使鹼鹽不至積聚表土而爲害也。

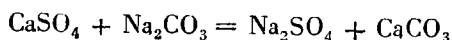
鹼土之鹽每由下層土上昇積聚於土面及表土，故表土之可溶鹽，常較下層土爲多。倘於土面常作成一層鬆浮覆土，減少或制止水分之上昇，使鹽質勻分於各層土中。則縱能爲害，其程度亦較淺少。一方面種植抵抗力較強之作物。以爲起點，逐漸而改良之，此法簡而易行效力亦甚大也。

(二) 減免法 此類方法之用意在剷除全部或一

部分之鹹鹽。以免其妨害也。因環境情形各殊，此法之通行者有下列四種：

(1) 地下排除法 此法安置瓦管於地下適當深度，將土中過量鹹鹽隨土液排去，免使鹹質上昇於表土而為害，其效甚大。尤以乾燥之區，施行灌溉之地行之為最宜焉。

(2) 石膏改良法 希路吉氏發見地下排出之水，若含有硫酸鈣，則碳酸鈉甚少，或至全無，由此推知硫酸鈣可將黑鹹之碳酸鈉化為白鹹，如下方程式：



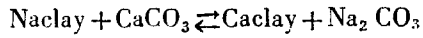
硫酸鈉之害遠遜於碳酸鈉，故黑鹹之土施用石膏以調節之，其鹹害可以減輕。但硫酸鈉積聚過多，亦足發生妨害。考石膏之效，不僅在改變黑鹹，且能改良土性，使粘重之土易於耕作。黑鹹有溶解土中腐有機質，及難溶之磷酸鹽至生流失之弊者，石膏亦足以防止之。故施用石膏利益甚大，但收效之宏，仍不及地下排水與灌溉並行也。

(3) 削除法 此法將土面積聚之鹹以人工削除之，但以施工太多，不便於廣闊之地，且削除之後，又復可以再生。惟遇鹹團或小面積之地，行之則甚宜焉。

(4) 洗除法 鹹土之地勢畧傾斜者，可利用流水流過土面，洗去其土面之積鹽而排除之。但此法須用多量之水，且難免一部分水挾帶鹽質浸入土中，將來蒸發仍復積諸土面之虞。

(5) 施用石灰 土壤含有多量可交換性鈉鹽時，非特難於洗除改良，反使鈉粘土(Sodium clay)及鈉腐植質(Sodium humate)水化結果，而增高其散團作用，并使

土壤益增其鹼性,改良方法在施用石灰使其變為鈣土(Calcium Clay)但所生成之碳酸鈉,如不排去而達於潛水中亦難收效。示其反應如次:



第十七章 地力之維持

土壤之能力有限，人類之賴以生產者無窮，為將來之農業計，地力固應保持以垂久遠；即就目前而論，土壤管理或改良得法，生產自可豐饒，利益人羣不鮮。前章討論土壤與植物之種種關係，已明瞭，則吾人之耕作之施用肥料，與輪栽等法，無非以維持地力為主旨，使剝者得復原而已。雖善用地力者，各因其環境之情形，計劃其維持之方，要不外因地利人事之宜，以費廉而效大為主。考輪栽為保持地力最上之策，已成公論，我國各處間有行之者，惟推行尚不廣，或編配未盡得法耳。茲將輪栽之意義，與通行法及管理各種土壤原則，約畧分別言之於次：

第一節 輪栽

輪栽者何，將數種植物輪流播植於一田土之謂。例如第一年於此田種玉蜀黍，第二年則種小麥，第三年燕麥，第四年紫雲英，至第五年又復種玉蜀黍。如是四年一來復，而曰四年輪栽法。與累年同種一作物，繼易以他種，又繼以別種無一定之年限次序者不同，施行輪栽須視土壤之種類，地力之厚薄，及所栽種植物之性質，而慎為編配，始得最大之利益。輪栽之利可約之為十，而條舉於下：

(一)變易植物吸收養料之地位 所謂適當輪栽法者，其每年所植之物，根苗長短大小之度不同，使土壤內各層之養料輪流効用於植物，而無偏枯之患，則

購用肥料可減。有等土壤鉀與鈣之物質多聚於底土，而氮磷等質蓄於表土。然植物吸收之性亦異，小麥根淺仰給其養料於表土層，而紫雲英根長，可深入土層以求養料，是可知輪栽之妙矣。

(二)植物要求有異 某種作物要氮質多，而他種需鉀或磷質之量大，其性質不同，要求之量有異。若連種一用氮質多者過久，則土中之有效氮質，漸不敷求，而他有效之要質，如鉀與磷等反多，至有不勻稱不適宜之情形發生，而收穫不豐。

(三)利用前植物之遺餘 豆科植物能與土中細菌固定氮質，前已論之，近代歐美諸邦之研究治理土田規訂輪栽法以保地力者，靡不利用豆科植物之最適宜於該地情形者，使維持土中有機物與氮質。譬若去歲種紫雲英，今春宜植玉蜀黍，或其他須要中耕之作物，使硝化易進行，而氮質之效用大，明年種小麥以吸收遺餘之硝酸鹽，後年則栽燕麥以其吸收能力於小麥，雖遺餘之有效養分量少，而猶得豐收也。

(四)補助氮質 豆科植物若用作綠肥，當其莖葉幼嫩時，犁入土中，可增長土中氮質。歐美農人用人糞肥田者較少，故輪栽植豆科植物，旋施以廐肥以備下年須要中耕植物之用（如玉蜀黍馬鈴薯烟棉之屬）。如是則土中之氮質不至減少，而無須市購智利硝等氮質肥料，其費節省多矣（紫雲英每年可兩穫，通常用其晚穫作綠肥）。

(五)維持有機物質 若受中耕之植物，與他禾木植物連種無間，將見土中有機物缺乏，以此等作物所遺餘於土中根莖，不足補有機物頻年腐化散失之量

也。若不補救之，則理化生物之作用，均有窒碍焉。故綠肥、廐肥，匪特供給植物以養料，且維持土中之有機物，此所以優勝於市購之無機肥料也。

(六)改善土壤物理情形 每種植物，自有其影響土壤物理情形之能力。例如草類及他作物，其根幼微者易令土質變密；根長大而須中耕者，易使土質疏鬆。善用輪栽者視土質之性兼用二者之長，以改善土性。如砂土過疏鬆，宜令之變密；粘土過密，應使之稍疏鬆也。

(七)無曠土 輪栽既有秩序，則田地常有植物蓋被之，以吸收適用養料不使流失。譬如大麥與紫雲英同播種，大麥易長，收穫後則紫雲英補其位。若地居溫帶氣候宜於兩穫者更善。

(八)消除災害毒物 土中有時含有物質足以妨害作物者；此物之由來不一，其說有謂其由作物根分泌者，有謂由於有機物腐化生出者。然物質之有害於此作物者，未必能害於彼，輪栽之法，輪流播種作物，故有害之物，亦可化為無害。近年來美國土壤局研究肥料之作用，謂其有吸收土中物質之有害者，而變化之，使無害作物之健全而竟其化育之功云。

(九)制裁有害之生物 每種作物常有一特別之野草與之並行生長，若使此作物連年栽種，則此特別野草將必為害。若行輪栽，加入須要中耕之作物，除去野蔓不至延害。又病虫之能為害於此植物者，未必能害於彼，故害亦可減免。

(十)節省人力 此問題於人工難覓之地影響尤大；小麥或大麥或燕麥與紫雲英同播，一舉而兩得，可

節省一半之人力。輪栽不過就一處田地言之，若大農場之內，廣萬千畝，田地塊數以百十計，易於分配，而平均若專植一物，則收穫時過忙，人力難求，工價變高，穫利以減，甚至發生困難焉。輪栽法規定後，則每年某田當栽某物已預定，而管理之法較簡單矣。

輪栽之秩序，隨土壤情形與人事而異，無一定之規則，然既知其利益與其意義，則其方法自易酌定。茲將輪栽法內應包括之條件列下：

(1) 淺根與深根植物輪流栽種。

(2) 每輪之中須有一豆科植物以增加氮之養料。

(3) 豆科植物之明年當繼植一須要中耕之作物。

(4) 各植物之需要養分數量，根之性質，播種收穫時期等，以不同為貴。

(5) 若不得已而購用田料，則此肥料宜施於植物之弱於吸力而根淺者如小麥，然茲舉美國普通所用之輪栽法列後以資參攷：

(a) 馬鈴薯農場所用三年輪栽法；

第一年 馬鈴薯

第二年 大麥或燕麥

第三年 紫雲英，或紫雲英兼添勿肥草 (Timothy)，

此草非豆科，本無固定氮質之能，然馬嗜之，而又易乾，較省人力，可與紫雲英同播種。

(b) 玉蜀黍農場四年輪栽法：

第一年 玉蜀黍

第二年 玉蜀黍

第三年 小麥或大麥或燕麥

第四年 紫雲英或兼添勿肥草

(c) 五年玉蜀黍輪栽法

第一年 玉蜀黍

第二年 小麥或大麥

第三年 燕麥

第四年 紫雲英或兼添勿肥草

第五年 紫雲英或兼添勿肥草

(d) 棉花農場三年法輪栽法

第一年 棉花

第二年 玉蜀黍

第三年 燕麥雜以豆科植物

(e) 乳牛農場五年輪栽法

第一年 玉蜀黍

第二年 玉蜀黍

第三年 燕麥

第四年 紫雲英或兼添勿肥草

第五年 牧場(是年牛馬糞散布地上爲增加有機物之善法)

第二節 土壤管理與改良

輪栽意義與利益既已明瞭，則管理改良之策自易籌劃，節用地力自無曠土之虞，茲將各種土壤應如何管理及改良約畧言之：

(一) 砂土 土粒粗而粘性缺乏，保蓄水力薄弱。雖然亦視乎所含粘土成分，土之位置及底土之性質而有差。倘其表土含有適量粘土，而少粗砂石礫，底土深厚，而含細微土粒，則保水量常足敷植物之需。反之則否。若其地居卑下，受納由高處下流之水，倘不過多，不

致氾溢土面，則甚爲有益。此種土易於耕作，而宜早熟之作物。雖收量未必甚豐，惟所產物質常優美，對於果類尤然。普通作物如玉蜀黍，馬鈴薯，大麥，及一般蔬菜多宜此土。其管理法宜注意下列各事：

(1) 土質疏鬆有機物易於腐化而散失，管理砂土當以維持其有機物質量爲先，蓋有機物能增加土之保蓄水量，施用廐肥或綠肥均宜。若收穫後變之爲牧場，則有機物自無缺乏之虞。

(2) 此土宜早耕早種，以防有效養分之散失，當植物幼稚時，根苗小弱，不能直達下層土以吸收養料，故勤於耕耘，去有害之蔓，使不侵奪有效之水量與養料爲佳。

(3) 土宜常有植物被蓋，以免流失有效之養分。

(4) 此土常缺乏石灰質，間施以磨細之石灰石收效不鮮。

(5) 鉀質如硝酸鉀，或氯化鉀，均有裨益此土。

(6) 施用智利硝氯化肥料，常收奇效，惟所值過昂，用者宜斟酌之。

(7) 此土疎鬆，便根苗之發展。磷質若敷用，自無須仰給於市購田料。苟適用之質過低，須施磷質田料；或以磷礦粉勻雜於廐肥而施用，最爲經濟。蓋以廐肥腐化發生之硝酸或他種酸時，可將不溶性磷酸鈣一變爲易溶解之物質故也。

考東美各州砂土，多以地力竭乏而磯瘠，不宜稼穡，其原因雖複雜，而其主要者大概以累年購用無機肥料，而未顧及維持土中之有機物所致。故改良救正之法，須先試驗其土是否有酸性，有則施以石灰，否則可

直接施用鉀磷田料。栽種豆科植物用爲綠肥，繼以合宜輪栽法，使其土有機物逐漸恢復，而地力可以維持；或將其土變作牧場數年，使有機物積聚至合度時，始耕作之。

砂土之下若遇有石或小石礫一層，土中之水不能受毛細管引力由下而上升，以供給植物之用，作物有受旱之危險者，其改良之法有二：(1)若其石或礫層薄，而距土表面不遠，且石之下乃幼砂粘土，或粘土者，可將其石層掘去，使表土與底土相接，而耕植無虞。英國之律定噶土(Loddington Soil)其例也。若其石層距地面太遠，開掘所費不資，則宜常施綠肥，與鉀肥，石灰等。德國蘇士立皮地(Sohnltz-Lupitzestate)曾試行之而有效，然此種土亦難於耕作也。

(二)壤土 此土之土粒粗細適中，水與空氣二者之保蓄通流，常得其當，故無旱濕之患，土中之理化生物作用，順時而行，無過不及之慮，若所含石灰成分充足，自無變酸之虞。故於植物生長最宜，雖有等植物特別宜於他類土，而移植於此土，亦可竟其生育之功，因而此土適宜於各種作物，改良管理亦易爲力，而臻於至善焉。管理此土之法，亦無一定，隨人而施，因作物之性而異。但不外乎維持植物之養料，及使空氣流通也。

(三)粘土 此土之土質細密，水氣不易流通，而耕作困難。惟植物養料大概豐富，若水有停滯之患，宜用明渠或地下瓦管排水。此土以粘性物質高，故保蓄水力大；雖至乾燥之季，其水分亦不少，吸收溶解鹽質與有機物質之量亦宏。雖乾燥之時，土粒收縮，至有土面析裂之現象，而成大罅，常廣至數寸，深則數尺。此數

特性，均黏性物質有以致之。濕時易於膠結，乾時則成硬塊，均不宜於耕作。救正之法，宜用石灰。若多施鹼性肥料，其弊尤甚，故智利硝不宜多施用於此土，以其鈉將化為碳酸鹽，有擴散土中團粒結構之弊，而耕作更難也。此土宜小麥與豆，多栽禾木與豆科植物，可令其土變疏鬆，易於耕耘也。

通常此土含鉀之成分高，而石灰及磷質，或有缺乏，施以磷礦粉、廐肥，及石灰等為有利，至有機物質可於輪栽法致意之。

(四)坭礫土及腐坭礫土 二者性質相類，所異者在無機物之成分耳。位置多低窪，或底土性質過細密，至水停滯於土面。改良之法，以排水為第一要義，水既排去，宜施以石灰，及無機磷鉀等肥，以此二質常缺乏也。其氮質雖不大適用，而所藏甚富，故氮質肥料可不施用。

若氣候不嚴寒，無夏令飛霜之患者，此土可用以栽玉蜀黍。至馬鈴薯及各種蘿蔔、白菜，均宜此土。然大小麥則不宜，以其土質過鬆也。

(五)石灰土 此土所含石灰量大，其石灰成分有高至百分十或以上者。石灰之成分高，是宜於動植物之生長，土菌之蕃殖，而有機物質易於變化。惟水分為此土重要之問題。然水分之多寡，恒視其土層深淺之位置而有差。若其土層深，又居深谷水源有賴，土力較為富足，此土之有機物易於腐化而消耗；復受雨水之沖洗，常至過於輕鬆，而土質變粗，此二者管理改良當注意焉。糞肥或綠肥均宜此土。牧羊於此土最宜，以其乾濕合度，宜於綿羊，且賴羊糞以肥其土，英之牧羊場

多在此類土，即其例也。此土所宜之植物甚多，豆類，塊莖，根類，果類如櫻桃等，爲此土之特宜者云。管理此土於耕作之術最當注意，以熟練而精巧者耕之，使土至乾燥之時無變成硬塊或粉碎之患。且此土以石灰分高，而宜動植物之生長，野蔓田鼠昆虫之屬較多焉。

(六)新土 森林之地，墾作農田，我國東北各部多行之。考森林之地，積年累月，林木自生自謝，土中之植物養料，受林木吸收凋謝後，復還於土，一經開墾，無不謂所藏甚富，此就其無機物質方面言之甚是。然自其有機物方面觀之則非也，土面殘葉疊積，有機物似甚豐富，殊不知殘葉之積於土面，發酵腐化，曾無補於土內之有用腐有機物，若掘土深數寸，常缺乏此物質也。管理新土，宜注意其有機物量，開墾後植豆科植物，或變作牧場數年，使青草與積聚之牲畜糞犁入田中，逐漸變化而爲有用之腐有機物，再施行合宜之輪栽法，則地力自有增無減矣。

第十八章 旱農制 (Dry-farming)

第一節 旱農制概念

旱農非旱地與水地農之對待名詞，而為雨水稀少之地，既少降雨又無灌溉，不欲棄諸荒蕪而求有利農作物之生產，于是不能不因乾旱情形，講求栽培農作物所需要之智識及方法，此即所謂旱農制也。旱農制之實行，多在每年降雨量十至二十英寸(250 - 500m.m.)之地方，雨量稍多之地，因分佈不均，雖每年降雨量達二十至三十英寸，若非行灌溉以調濟，旱農之採取亦不可少，故此等地亦得稱之為旱農區域。

(一)旱農與潤農 在雨量較豐之區，最堪注意者，為土中肥分之保持，現在農業發達之區大多屬於此種境域。對於農學上之研究，及耕種方法，亦莫不以此為嚆矢。惟於雨水稀少之地，則忽焉而不講，譬如雨水之利用，水分之保持，作物之選擇等重要問題均無深切之研究。

(二)旱農制中之重要問題 在雨水稀少地方之農民，當知該地每年大概降水量及土壤之性質，不但土地之肥瘠由此而定，其對於雨雪之吸收力亦有關。故於雨水之分佈，土壤之性質，當三致意焉。乾旱之區，水分缺少，成為通例。既然如此，凡有降水即當貯藏土中使其能達植物之根部，隨時供給植物之需求。當植物生長期間，需要水分最多，而土中隨下降與蒸發以致流失者亦屬不鮮。故研究雨水之貯藏於土壤者，如何流失，以如何之方法而後可以減少或防止，務使土

中大部分水分實際上供植物之吸收，由葉之表面而蒸發，如此方法乃旱農制中重要問題之一也。

至於適應環境的作物品種之選擇，亦為旱農學中之最重要者，作物中有需要水分較少，而成熟期較旱者，為乾燥地方最相當之品種。更有種作物種雨水豐富之區，移於旱農之鄉，不數年因環境之變遷而成耐旱性者，此種作物宜分別考究之。

作物品種既經選定，宜進而講求耕耘種穫之術，蓋旱農區域之耕種方法迥異，稍不注意遂有失敗之虞。

第二節 旱農制在學理上之根據

按植物非水分不足以遂生長，而水分之來源厥為雨雪。其吸收水分經根毛而達諸枝葉，如蒸發空際繼續不絕，在適當方法之下，植物由土中吸收之水量，得以計算。此外水分由地面直接蒸發以致流失者有之，但水之浸入地中或由溝渠而流失者實不多見。因乾旱地方雨水甚少，非潤澤地方大雨滂沱之可比也。

(一) 水之需要量 生產乾燥植物質 (Dry Organic Matter) 一磅所需之水一若干，Wallny, Hellrigel, Sarauer 等在德國，傾氏 (F. H. King) 在美國之威士綱臣 (Wisconsin) 皆有試驗其平均結果在德國生產每磅植物質需水由二百三十三至七百七十四磅。平均為四百一十九磅。在美國威士綱臣之結果，平均為四百四十六磅，約畧相符。因二者皆在潤澤之區舉行，氣候無甚差異也。爰空氣之乾濕，氣溫之高低，足以左右蒸發量。在乾旱區域多風少雨，空氣既較乾燥，蒸發量亦隨之而增，故生產植物質一磅，在旱農地方較雨澤豐富之地，所需

水分爲多也。証之威曹氏 (Widt-ose) 在于它 (Utah) 試驗之結果而益信示之如次：

小 麥	一〇四八磅	碗 豆	一一一八磅
玉蜀黍	五八九磅	糖蘿蔔	六三〇磅

據此可見同種作物之需水量，隨地方乾旱之度而增。然吾人於此有不可不注意者。按此種試驗所需之水分係由人工供給，既未擲節水量，其結果不免類於灌溉，而有過高之嫌。若以適當之耕耘手續在自然情形下，決不需此巨量水分。但亦不能置若無稽，毫無借鏡之點。吾人于此可以斷言：在平常乾燥情形之下，加以適當之管理及栽培方法，生產乾燥植物質一磅，需水七百至五百磅，當不爲過。若在雨量極少地方，所需水量當不只此。若在稍潤區域不免稍高，以之作爲旱農地方最高平均未爲過也。

(二) 雨水與生產力 若以生產乾燥植物質 (Dry organic matter) 每磅需水七百五十磅作爲標準，雨量對於作物生產力得以計算之，譬如每英斗 (Bushel) 小麥重六十磅，則所要水當爲四萬五千磅，但此尙未計及麥稈。今假定麥稈與麥實相等，則生一斗之小麥，需水九萬磅或四十五噸。此種計算似乎太高，然與降雨量比較，亦未見其多也。按每英畝寸 (acre-inch) 之水，約重二二六八七五五磅，或一一三噸。若能儲此全量於土中爲植物用，以每四十五噸生產小麥一斗計，當穫小麥 2.5 斗，故有雨水十英寸地方，每年當收穫小麥 2.5 斗，若有雨水二十英寸，當可產生五十斗。改算爲每英畝等於六市畝，則每市畝當產五百磅或三百六十斤之小麥。

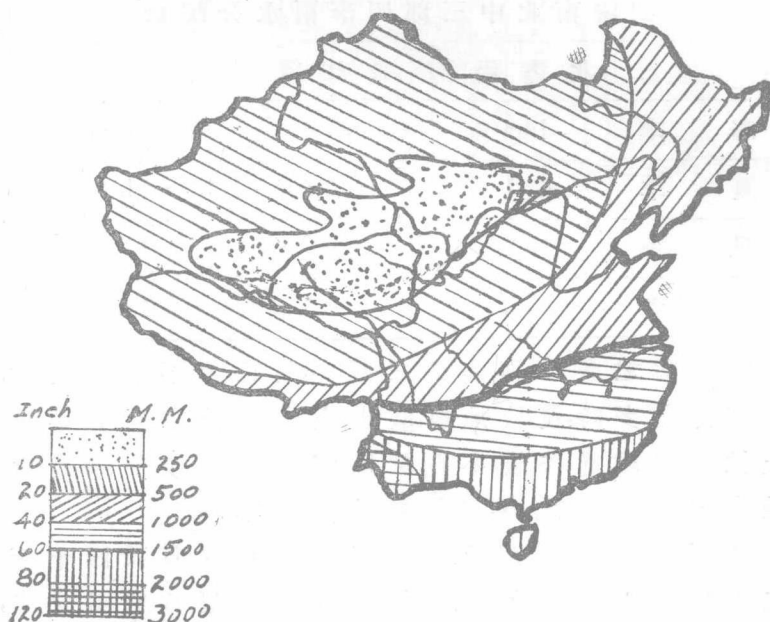
惟所有降水量至今尙無完善方法使貯藏土中，概供植物之需求。蓋無論何如，不免有一部分水分之因蒸發而流失也。但假定全年降雨量爲十二英寸，僅六英寸能歸於植物之需求，加以適當耕種方法，於每二年中亦可產生小麥三十斗準。此以推，雖沙漠之地，亦得以旱農方法而開墾之。故根本問題不患雨水之足否，而患能否保持雨水在土中不致流失以供作物之生產而已。

第三節 氣候與旱農制

(一)旱農區域及其一般之氣候 旱農區域以雨水之多少爲耕種管理方法之轉移，此外如雨雪之分佈，土壤之保水力，與乎氣溫之高低，風之乾潤，于旱農之成敗大有關係。據之經驗，若耕種得法，管理適當，每年有雨水十五英寸者，作物可保無決水之虞。即雨水在十至十五英寸者，旱魃爲災亦屬鮮見。雨水在十英寸以下者，以今日科學方法經營，尙未能視爲安全。將來舍灌溉而欲開闢沙漠以供農用，其法如何，正待學者研究。

(二)我國氣候概要 (1)我國雨水由南而北，自東徂西，逐漸減少，查甘肅，陝西，新疆，蒙古，青海，西藏，及東三省之一部分，均屬於旱農範圍。以面積言，約佔全國三分之一。其餘尙約有百分之十，每年雨量自二十至三十英寸者，因氣候關係，亦宜講求旱農方法，以謀農業之進展。

第四十六圖 中國之雨水分佈畧圖



(註)綫之北為我國雨水稀少地方,欲求增加農產,免除旱災,對於灌溉之講求,鹹土之研究,旱農之實行,不可不三致意焉。

表(85) 全球地面之降水量

全球地面之降水量比較 %					
0-10"	10-20"	20-40"	40-60"	60-80"	80-160"
25.0	30.0	20.0	11.0	9.0	5.0

可見全球地面之大部分缺少雨水,比較計之,天公對我華胃并不薄也。

表 (86) 本國南北中三部四季雨水分配表

我國南北中三部四季雨水分配表			
	北方沿海	長江流域	閩粵沿海
春 季	14.4 %	27.4 %	27.4 %
夏 季	62.1	42.2	41.9
秋 季	18.2	20.9	17.5
冬 季	5.3	9.5	13.2

(2) 降雪之多少,與農業之關係,其重要不讓於雨量,冬季降雪多時,覆於地表,減少土中水分之蒸發,不但土性得以增進,冬麥亦免於凍害。在我國北部除高山峻嶺終年積雪之外,其餘類皆降雪不多。

(3) 氣溫在我國西北,每年溫度平均在華氏四十至五十度,除新疆南部外,類皆氣候較寒,溫度高低之差,在沿海岸甚微,在崇山峻嶺之間則甚大。以每日溫度變遷言,在旱農區域相差由華氏三十至卅五度,而南部潤澤地方,至多不過二十度。其原因由於西北雨水既少,河流不多,而植物亦未得繁茂。按水與植物為不良導體,所有光熱,一經吸收不易發散,故潤澤地方,晝夜溫度無劇變化。反之沙粒為良導體,吸熱易,放熱亦易,故晝夜之溫度甚懸殊也。

吾人於此不無疑問,究竟我國西北各地之生長期足以使主要作物成熟否;生長期之長短,以早霜晚霜相距之月日標準,而地方氣候之早遲,又以地面之高低為轉移。大概論之,在我國旱農區域,晚霜多在陽歷四月上旬,至五月下旬。而早霜在八月中旬至十一月

中旬其間相距之日，普通作物皆得成熟。至於新疆天山南路氣候之溫和，無異江南故棉花之栽培，成爲大宗，可見我國西北并非太冷不足以言耕種也。

(4) 溫度空氣不能再容納水蒸氣時稱之爲飽和，在空氣未飽和以前，可以百分率計之。

(a) 西南諸省之空氣，含有濕度較高，全年平均爲百分之七十五至八十。

(b) 長江以北，內興安嶺以東，空氣所含水分，當在百分之七十至七十五。

(c) 長城以北，內興安嶺及橫斷山脈以西，每年降雨量不及二十英寸，空氣濕度亦不過百分之五十。

好在我國西北部，降雨期在夏季，雖在蒸發甚盛之時，亦不致降至百分之五十以下。

(5) 日光在旱農區域，既少降雨，故晴明之日較多，日光可以助植物之生長，同時增加土中水分之蒸發。全年日光之多少與降雨成正比例。據此旱農區，全年日光直射之日，數當在百分之七十以上云。

(6) 暴風無論在何處，皆爲保持水分之勁敵，而於旱農區域爲尤甚大。吾國沿海常有一種颶風，常起於Yap及Guam兩島，西北行入印度支那，東北行則入中國與日本。其起源由于一處氣壓特低，四周之冷空氣爭來彌補，遂激成漩渦。其速度每點鐘由五十至一百十英里不等，而其旋繞中心點，移動則僅八哩至五十哩之距離。其在中國北部者，則常爲九哩。但在蒙古新疆諸地，入秋後因沿海岸之氣溫較高，西北風乘隙侵入，常起暴風沙，表土與植物隨風俱颶者有之。風之多少觀查地方情形可以知其大概，而耕種應採之方法亦當

因地制宜也。

表(87) 中國各種暴風分配

月 份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
滿蒙類	12	9	20	28	26	17	6	1	7	11	18	16	171
黃河流域類	3	7	4	7	11	5	6	5	2	5	4	5	64
長江類	23	16	21	25	19	26	8	2	5	11	9	12	117
沿海颶風	0	0	0	0	0	4	14	20	13	8	1	0	60

(7) 旱災為雨水稀少地方之大不幸。旱災在旱農上可稱為因水分之供給不足，以致收成無望之一種名辭。照以上定義，即或該年雨水稍少，若能使之盡供作物之需求，亦不至旱魃為災，其所以為災者，實由於(一)土壤之未能耕耜適宜；(二)天然降水未能保持土中；(三)種植方法未能盡合旱農情形，使土中水分貯蓄待用；(四)播種過多，有限之水分難於供給。

由此觀之，旱災之成，不能歸罪於天，應罪於人。雖旱農區域不免霜雹風雪而成災者，然因水分之缺乏而收成無望者，人實不能辭其咎。故雨水稀少，地方之農民，若能隨地方情形而應用適當之旱農方法，未見旱魃之易為災也。

第四節 旱農制之其他事項

(一) 旱農與土壤 旱農地方，最重要者除雨水之外，莫如土壤。若土層不深，數尺之下遂有石礫，或其他障碍物，雖有充量雨亦不免於荒歉。

反之若土壤中有均勻之組織，及深厚之土層，植物

之根易於發達，有較寬較深之地位以吸收養料與水分，縱或雨量稍少，亦不致枯萎，毫無收成。因此之故，凡欲墾殖西北旱農地方者，對於土壤須有相當之知識，即(1)土層之深淺(2)緻密之組織(3)土壤之肥瘠，如此而後可以應地方情形，施以適當栽培管理方法。

(二)維持有機質 作牧場，使牲畜糞肥散布田土，以增其有機質而保蓄水力自然增高，若能施綠肥則更佳。

(三)揀選作物 作物之中有能抵抗久旱者，如無鬚大麥 (Bearless Barley)，墨加郎尼小麥 (Macaronic Wheat)，土耳其紅冬小麥 (Turkey red)，冬春兩種小麥黑麥 (Rye)，燕麥，及豆科紫苜蓿等，皆旱農區域之主要作物。

(四)慎訂輪栽 輪栽法可使土中有機物增加，而需要水分最少者，為必要。

(完)