

大學叢書

土 壤 學

卷 中

劉 和 著

商務印書館發行



大學叢書  
土壤學

卷中

劉和著

商務印書館發行

大學叢書

土 壤 學

卷 中



中華民國二十七年十月再版

(64472.3B平)

\*F四一九三

周

大學叢書  
（教本）土壤學卷一册

裝平每册實價國幣貳元伍角

外埠酌加運費匯費

版權所有  
翻印必究

著者 劉和

發行人 王雲五  
長沙南正路

印刷所 商務印書館  
長沙南正路

發行所 商務印書館  
各埠

（本書校對者王煊蕃）

# 大學叢書委員會

## 委 員

丁燮林君	王世杰君	王雲五君
任鴻雋君	朱家驊君	朱經農君
李四光君	李建勛君	李書華君
李書田君	李聖五君	李權時君
余青松君	何炳松君	辛樹幟君
吳經熊君	吳澤霖君	周 仁君
周昌壽君	秉 志君	竺可楨君
胡 適君	胡庶華君	姜立夫君
翁之龍君	翁文灝君	馬君武君
馬寅初君	孫貴定君	徐誦明君
唐 鈺君	郭任遠君	陶孟和君
陳可忠君	陳裕光君	曹惠羣君
張伯苓君	梅貽琦君	程天放君
程演生君	馮友蘭君	傅斯年君
傅運森君	鄒 魯君	鄭貞文君
鄭振鐸君	劉秉麟君	黎照寰君
蔡元培君	蔣夢麟君	歐元懷君
顏任光君	顏福慶君	羅家倫君
	顧頡剛君	

## 土壤學卷中序

本卷分土壤化學及土壤培肥，與上卷成自然之連續。綜合此二卷，除土壤中之生物及其作用，將詳述於第三卷中（土壤學卷下）外，其他關於土壤之問題，已備列其詳矣。

引用化學方法以研究土壤問題，已有將近三百年之歷史，而其發達之迅速，頗足驚人，考察土壤學之論文中，半數以上，為屬於化學方面者，蓋不惟化學的問題，須以化學的方法解決之，即土壤之生物的作用，亦多需化學方法以研究之也。

晚近化學的進步，一日千里，而膠體化學，有機化學，及分析化學，更能突飛孟晉，精確的分析結果輔助原理解釋，而真實的原理解釋復可創新的分析方法，是以二者相輔並進，具臻於完善。借化學的偉力所能闡明之土壤化學問題，首推土壤膠體之構造與作用，及土壤供給植物食料之能力。作者對於此數問題之論文，盡量搜羅，編為最完善之著述。凡有志改良華北之鹽鹼土，及華南之酸土者，可於本卷中得最詳明之科學的理論，與最合理之實施方法，而注意肥料之經濟問題者，可由應用植物食料節中得相當之益助。

本卷中之土壤培肥一章，為將土壤之化學問題，與植物之生長，或農業問題，綜為一體，使本卷不僅理論詳盡，且有實際價值，農學者果能手此一冊，則關於土壤問題之大部分，自可迎刃而解也。

劉 和序於杭州華家池。

二四，五，二十。

# 目 錄

第一章 土壤之無機物成分 .....	1
第一節 土壤礦物之變化及土壤之化學成分 .....	1
土壤礦物之來源 .....	2
普通岩石之礦物成分 土壤之礦物成分	
土壤礦物之變化 .....	5
石英之變化 長石之變化 鐵礦之變化 方解石與白雲石之變化 磷灰石之變化	
土壤之化學成分 .....	15
土壤之全量化學成分 土壤種類與土壤成分 土壤植物食料全量的成分 母石之種類與土壤之植物食料成分 土壤之風化情形與其植物食料含量 土壤應用植物食料之成分 土壤反應的化學分析	
第二節 黏土 .....	27
黏土之化學成分 黏土之化學構造 黏土之礦物成分	
黏土之膠體性 懷水力 容積之變化 塑性 黏着性	
附着性 羣集作用 羣散作用 結合力 吸收力 不固定性 懷水熱 鹽基代換作用	
黏土之矽酸與氧化鋁分子比例 .....	37

表示風化程度 與膠體特性之關係  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例  
數與土壤分類

第二章 土壤之有機物成分 .....	43
第三節 土壤有機物及其變化 .....	43
土壤有機物之來源	
土壤有機物之成分 .....	44
醣類 脂肪與臘 蛋白質及其他含氮化合物	
土壤中之微生物 .....	48
土壤生物之種類 土壤生物之數目	
土壤有機物之變化 .....	52
纖維質之分解 澱粉及其分解 脂肪與臘質及其分解	
蛋白質及其分解 非蛋白質之含氮有機化合物及其	
分解 其他有機化合物之變化 土壤有機物之分解與	
腐植質之生成	
有機物對於土壤之化學作用 .....	61
影響無機物之溶解性 對於土壤反應 吸收作用 供給	
應用氮及礦質植物食料 土壤中之碳與氮的比率常維	
持一常數關係(10:1) 硝酸還原作用 毒害物質之生成	
第四節 腐植質 .....	64
腐植質之研究經過 腐植質之人工製造	
腐植質之特性 .....	76



腐植質之分散性 腐植質之羣集作用 腐植質之緩衝 性 腐植質之吸收作用	
腐植質對於土壤之作用 .....	80
<b>第三章 土壤膠體物 .....</b>	<b>82</b>
<b>第五節 膠體物概論 .....</b>	<b>82</b>
物質體積單位之微細度及其所可表示之特性 .....	83
膠體物之二體組織	
膠體物之特性 .....	86
膠體物之電性 卜浪運動 亭道現象 膜分作用 電 滲作用 重層電性 吸收作用 鹽基代換作用 沈澱 作用 保護膠體 相互沈澱 懷水與膨脹 收縮	
<b>第六節 土壤膠體及其特性 .....</b>	<b>92</b>
土壤膠體物之來源 土壤膠體物之組織 土壤膠體物 之所在 土粒之水膜與土壤膠體物之關係 土壤膠體 粒之電性 土壤膠體物之吸收作用	
沈澱作用 .....	97
鹽基代換作用 .....	97
土壤所含之代換性鹽基量 黏土與有機物各有之代換 力 鹽基飽和與鹽基不飽和 代換性鹽基與土壤反應 代換性鹽基量與土壤膠體之固定性	
陰電離子之代換作用 .....	107

土壤膠體物之羣集與羣散 .....	103
土壤膠體之羣集 土壤羣集作用之研究 電解物之羣 集膠體力 不正常之羣集 土壤膠體之羣散作用	
土壤膠體之定量分析 .....	113
直接方法 間接方法	
第四章 土壤溶液與土壤應用植物食料 .....	115
第七節 土壤溶液 .....	115
土壤溶液之研究	
水分與土壤溶液 .....	117
水之溶解力 土壤之溶解度 植物食料化合物之溶解度	
土壤溶液之狀態 .....	120
土粒與土壤溶液之關係 濃度與土壤溶液之狀態	
土壤溶液之成分 .....	122
希路生之代換液 糜根之油代換液 水代換液之成分 土壤溶液所含之化合物	
影響土壤溶液成分及濃度之因子 .....	126
土壤之水分量 植物之生長 微生物之作用 有機物 之作用	
土壤水溶化合物之損失 .....	128
作物之吸收 揮發作用 機械的損失 滲濾損失	
土壤水溶化合物之增加 .....	132

第八節 應用植物食料 .....	136
土壤所含應用植物食料測定法之研究經過 .....	137
普通肥料試驗法 米采利希之方法 腦包爾之幼苗法	
尼克拉斯之霉菌法 氮氣固定菌法 植物細胞汁分	
析法 戴爾之方法 特路亞格之方法 特路亞格應用鉀	
測定法	
主要植物食料及其應用度 .....	151
氮 碳與氮的比率 氨化作用與硝化作用之適當環境	
磷 植物所吸收之磷的成分問題 影響磷酸肥料應	
用度的因子 有機物之分解與磷肥應用度之關係 土	
壤之反應與磷之應用度 土壤性質與種類對於磷素之	
應用度的關係 石灰對於磷肥之應用度的關係 作物	
之種類與磷之應用度 鉀 固定 溶解 鹽基代換	
鈣 硫	
第五章 土壤反應 .....	168
第九節 土壤反應概論 .....	168
電離作用 電離常數 反應 水之電離度 pH 之意義	
當溶液與 pH 價之關係 緩衝作用 加水分解作用	
加水分解與土壤反應 土壤反應之測定	
第十節 酸土 .....	180
酸土之研究史	

土壤酸之來源 .....	185
有機物之分解 肥料之施用 植物之生長 雨水之攜帶	
酸土對於植物之影響 .....	189
氫素離子之爲害 游離態鐵與鋁之毒性 鈣之缺乏	
酸土對於土壤生物之影響 .....	193
土壤 pH 價之變異 .....	193
土壤酸度與土壤之石灰需量 .....	195
以氫氧化物溶液滴定 氫素離子之濃度的測定 土壤之	
石灰需量的測定 試紙法 稀鹽酸法 中性鹽類溶液	
代換法 直接中和法 代換性鈣與石灰需量	
第十一節 農用石灰 .....	201
農用石灰之種類 .....	202
石灰石粉 生石灰 熟石灰 氣化石灰	
石灰施於土壤中後之變化 .....	206
石灰對於土壤之作用 .....	209
黏合土粒與羣集膠體 減除土壤中之游離態鋁鐵與錳	
減低鉀素之損失 石灰對於磷肥之關係 催速有機物之	
分解 石灰對於土壤細菌之數目的關係 石灰有中和土	
壤毒質之效能 供給鈣與鎂以作植物食料 殺滅土壤中	
之植物病菌	
作物對於石灰之要求 .....	213
各種農用石灰之比較 .....	214

鈣與鎂之比例 .....	216
第十二節 鹽鹼土 .....	217
鹽鹼土之生成 鹽土變為鹼土之化學原理	
鹽鹼土之分類 .....	224
<u>美國</u> 白鹼土 黑鹼土 棕鹼土 <u>歐洲</u> 鹽土 鹼土	
退化鹼土	
鹽鹼土之分佈 .....	225
<u>中國</u> <u>印度</u> <u>歐洲</u> <u>美洲</u> <u>非洲</u> <u>澳洲</u>	
鹽鹼土之天然植物社會 .....	228
鹽鹼土之形態 .....	230
鹽鹼土之化學成分 .....	231
鹽鹼質對於土壤物理性之作用 .....	233
鹽鹼質毒害作物之情形 .....	235
鹽質阻止植物之吸收水分作用 鹽質對於種籽之影響	
鹽質與植物構造的變化 鹽質對於樹皮之影響	
植物對於鹽鹼質之耐力及其原理 .....	237
植物耐鹽鹼力之原理	
鹽鹼土之改良 .....	240
治標方法 治本方法	
鹽鹼地作物 .....	245
苜蓿 小穀 高粱 小麥 大麥 糖蘿蔔 麻 棉	
葡萄	



第六章 土壤培肥 .....	249
第十三節 影響植物生長之土壤因子 .....	249
農業應為永久之實業 .....	250
土壤之永久肥沃問題 .....	250
影響植物生長之土壤因子 .....	252
水分供給量之影響 .....	253
水分供給量與作物產量之關係 植物消耗水分之量與 其生產量之關係 水分供給量與植物之生長習慣 水分 供給量與植物之成分	
空氣供給量之影響 .....	260
溫度 .....	263
溫度對於發芽之影響 溫度影響生長期與成熟期	
光 .....	263
溫度影響生長速率	
第十四節 植物之食料及其功用 .....	267
植物食料元素 .....	267
碳 .....	269
碳之吸收	
氮 .....	271
植物體之含氮量 氮對於植物生長之習慣 氮素食料 對於植物之成分與品質之關係	

磷 .....	278
植物體之含磷量 磷與植物生長之習慣 磷肥與作物 之成分	
鉀 .....	285
鉀之功用及其對於植物生長習慣之影響 鉀肥對於植 物成分之影響	
第十五節 其他植物食料元素 .....	290
金屬元素 .....	290
鈉 銻與銻 鈣 鈣之功用 鈣與植物之成分 鋇與 鋇 鎂 鐵 錳 銅 鈷與鎳 鋁	
非金屬元素 .....	298
氯 氟 碘 硫 矽 硼	
植物之形態與其環境之關係 .....	303
植物對於土壤之影響 .....	305
土壤成分之變化 土壤化合物之轉變位置 改變土壤之 反應 土壤生物情形之變化 土壤成分之不均勻的吸收	
第十六節 普通土壤之培肥 .....	308
培肥土壤之主要工作 .....	309
土壤良好耕性之維持 植物病蟲害之消滅 植物食料之 供給	
維持土壤肥沃度之工作大綱 .....	311
土壤氮素含量之增加 .....	312

植物遺體 厩肥 綠肥 豆科作物 化學肥料 人糞尿	
石灰之施用 .....	314
土壤有機物之維持 .....	315
鉀肥問題 .....	316
磷肥之施用 .....	317
輪種及其重要 .....	317
輪種之利益	
總論 .....	320
第十七節 特別土壤之改良 .....	325
沙土 .....	325
沙土之特性 沙土之改良	
黏土 .....	327
有機質土壤 .....	329
有機質土壤之面積 有機質土壤之分類 腐植土之分	
類 腐植土之物理性 腐植土之化學成分 高石灰與	
低石灰腐植土	
腐植土之改良 .....	336
腐植土之改良價值 腐植土之培肥	
總論 .....	339
附錄一 參考著者索引	
附錄二 名詞索引	

# 土 壤 學

## 卷 中

### 土壤化學及土壤培肥

#### 第 一 章

##### 土壤之無機物成分

###### 第一節

###### 土壤礦物之變化及土壤之化學成分

土壤爲固體，液體，及氣體三態之物質所構成者。其固體部分爲無機物及有機物，液體部分爲水及其所溶解之各種物質，而氣體部分爲空氣及土壤所發生之各種氣體，其中以二氧化碳氣爲主體。以上三種物質，不可缺一，否則不能謂之爲正常土壤。此三種物質之間，無明顯界限，相互構爲一體，而組成所謂之土壤。是以如以土壤之各部分分別研究，頗感勉強，而所得結果僅可視爲土壤各部分之一種表象。化學實驗室中所得之結果，有時不能應用於自然之土壤，或與土壤之自然的作用不符，卽以此也。

## 土壤礦物之來源

土壤固體部分中之無機物成分，為討論之方便，可總名之為土壤礦物。廣義言之，地殼岩石風化之後，即生成土壤。（參考卷上第四節）故欲知土壤礦物之來源，須以地殼岩石之礦物成分為起點。惟岩石為礦物結合而成者，且岩石之分類，雖以生成原因為根據，但每種岩石，含有其特有之礦物，因而由岩石之名稱，即可知其所含之礦物。

地殼所含之岩石以火成岩為最多，水成岩次之，變態岩最少。變態岩為火成岩或水成岩受環境之作用而生成者，其所含之礦物並未變化，或變化甚微，故以礦物成分為立場而討論之時，變態岩亦可置諸範圍之外。

根據克拉克①之計算，地殼所含各種岩石之比例量為：

火成岩	95%	頁岩	4%
沙岩	0.70%	石灰岩	0.25%

以上各種岩石之分佈，以陸地為最多，共佔92%；海地甚少，佔7%；而大氣中尚有0.03%即為塵土。

地殼可簡分為三層。其最下之一層，深度尚未測定，所含岩石完全為火成岩類之深成岩。此種岩石，除其微量由地球的變動將其舉至表面，或火山爆發，將其熔為岩漿，而噴於地殼之表面者外，深埋之部分，不受風化作用之侵蝕，故不能視之為生成土壤之母體。

① Clarke, F. W.



此層之上，有極薄之岩石層，其所含之岩石為水成岩及花崗岩類之火成岩。此層受風化之作用，而使其表面崩解及分解為不結合之物質。此種物質之體積，小者如粘土，可至膠體狀態，而大者如石塊，與原有之母石無異，此二者之間，可有各級不同之粒體，即所謂之礫石，粗沙，細沙，泥沙，是也。此層不結合之物質，為地殼之第三層，可謂為土壤之骨骼，亦即土壤礦物部分之母體也。

普通岩石之礦物成分 岩石為礦物所結合而成者。故岩石於風化之時，由崩解作用而使礦物分離，復由分解作用而使礦物破壞。於是欲知土壤之礦物成分，應先明岩石之礦物成分。

第一表 普通火成岩之礦物成分 (百分率)

	長石	黑雲母	角閃石	輝石	磷灰石	石英	鐵礦
黑雲母花崗岩	62.2	2.3	—	—	—	34.3	1.2
正長岩	63.5	—	22.8	9.0	1.3	0.4	1.8
閃長岩	58.8	12.5	12.8	4.3	—	9.5	—
輝長岩	57.5	3.0	21.8	12.0	1.6	0.5	3.6

水成岩如沙岩，頁岩，石灰岩等，為火成岩之風化生成物，經水之移運，堆積於海中，復於此受粘着體之結合而成者。火成岩於風化之時，其原有礦物經過分解作用而大部分變為新化合物。若新化合物，以石英為主體，則生成沙岩。若以方解石之風化生成物為主體，則生成石灰岩。而頁岩則為長石，雲母等之風化生成物，摻雜以石英等結合而成者。

土壤之礦物成分 岩石之風化，受氣候之支配。若氣候寒熱無定，且雨水不足，則岩石之風化多為崩解，而所生成之土壤，可多含

未經風化之礦物。若氣候炎熱，雨量充足，則岩石之風化，多為分解，而所生成之土壤，必多含礦物風化後所生成之新化合物。

設以黃土代表以崩解為風化主因所生成之土壤，而察其礦物成分，則如下表所列。

第二表 黃土之沙及泥沙之礦物成分

	石英除外之其他		最 多 礦 物		較 少 礦 物	
	礦物百分率	泥沙	沙	泥沙	沙	泥沙
莫蕭泥沙壤土	12	15—20	正長石, 斜長石, 鈣長石, 鉀微斜長石, 中性長石	綠簾石 白雲母	磷灰石, 白雲母, 角閃石, 金紅玉, 石榴石, 鎢英石, 矽線石	角閃石, 黑雲母, 綠泥石, 蛭石, 正長石, 鎢英石, 鉀微斜長石, 矽線石
樊利溫泥沙壤土			鉀微斜長石, 角閃石, 正長石	正長石 角閃石	螢石, 鎢英石, 石榴石, 蛭石, 斜長石, 綠簾石, 鈉鈣長石	蛭石, 鉀微斜長石, 綠泥石, 矽線石

(本表各名詞之西文見卷上第 108 頁)

設以磚紅土代表以分解為風化主因所生成之土壤，而察其礦物成分，則除少量之石英粒為原礦物外，其剖面之各平際，皆含有水礬土①( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ )，水鐵礦②( $2Fe_2O_3 \cdot H_2O$ )。此二者皆為次生礦物，由長石及鐵礦分解而成。磚紅土亦含赤鐵礦，但非原礦物之赤鐵礦，乃水鐵礦去水而成者，故亦為次生礦物。由是以觀，風化程度最高之土壤中，岩石所含之原生礦物，除石英外，鮮有其他者。

① hydrargillite

② turgite

## 土壤礦物之變化

土壤所含之礦物，有由岩石之崩解而生成者。此種礦物，尚保存其原有物理及化學狀態，其中之主要者為石英，長石，雲母，角閃石，輝石，方解石，白雲石，磷灰石等。此種礦物分解之後，即生成所謂之次生礦物。此種次生礦物之種類及成分，最近由 X 光之分析，始能略知其梗概。惟由土壤機械成分之各部分觀之，泥沙以上之土粒，大部分為原生礦物，而以石英為最多。故次生礦物為組成黏土部分之物質。前此學者以黏土為膠體物，無一定之礦物成分，或以高陵土代表之，亦有以黏土為泡沸石類<sup>①</sup>之礦物者，但根據 X 光之分析結果，乃知所謂泡沸石者不可得之，而高陵土為量亦微。但黏土有其一定之礦物成分，且大部分或全部為次生礦物，已無疑問。至於原生礦物如何分解，次生礦物如何生成，並於變化期間有何經過，簡略述之。

石英之變化 地殼岩石所含之礦物成分，除長石外，其次多者為石英。石英為最不易風化之礦物，故土壤之礦物成分中，凡未經變化者多為石英，而細沙以上之土粒，則幾皆為石英粒。花崗岩風化所生成之原積土中，常見其他礦物皆已損失其原有成分及形態，而石英粒獨存。北方寒冷氣候中所生成之灰土中，由灰土化作用而損失其他礦物，惟石英獨未風化，可以證明石英之不易分解，而其變化不過體積之由大變小的崩解風化耳。(參照卷上第三節)

① zeolitic minerals.

長石之變化 長石,角閃石,輝石等,皆為成分複雜之矽酸鹽,故長石之變化可代表其他矽酸鹽礦物之變化。長石為普通火成岩之主要礦物成分。按克拉克之計算,長石佔普通火成岩礦物成分之百分之六十,其次則為角閃石,輝石之類,約佔百分之十七,二者相加,幾佔百分之八十,故普通火成岩,幾皆為矽酸鹽礦物所組成者。

第三表 普通火成岩之平均礦物成分(克拉克之計算)

長石	59.5 %
角閃石輝石類	16.8 %
石英	12.0 %
黑雲母	3.8 %
磷灰石	0.6 %

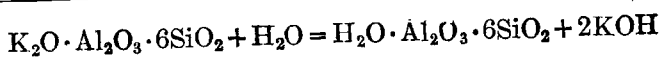
長石雖為矽酸鹽礦物,但以其所含之鹽基不限於一種,故有五種長石可分,其名稱及其所有之化學成分為如下:

第四表 長石及其化學成分(%)

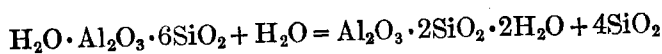
長石名稱	化學公式	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO
正長石	K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub>	64.7	18.4	16.9	—	—
鈉長石	Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub>	68.0	20.0	—	12.0	—
斜長石	Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub> , CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub>	62.0	24.0	—	9.0	5.0
鈣長石	CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub>	43.0	37.0	—	—	20.0
鈉鈣長石	Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3SiO <sub>2</sub> , CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3SiO <sub>2</sub>	53.0	30.0	—	4.0	13.0

長石分解中之變化,可以正長石加水分解而生成高陵土及氫氧化鉀代表之。魯賓生①以此變化分為二個步驟。第一步為氫素離子代換鹼金屬或鹼土金屬:

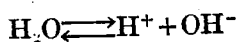
① Robinson, G. W.



第二步為分離矽酸而生成高陵土：



以上二種作用皆為加水分解<sup>①</sup>作用，其發生之原理，乃由於水之電離作用<sup>②</sup>。水可電離為氫離子<sup>③</sup>及氫氧離子<sup>④</sup>，其電解度為部分的，亦為最微末的：在平常溫度之下，每公升之水中，僅可有 $10^{-7}$



公分之氫素離子。但與礦物所接觸之水，鮮有不含二氧化碳氣者。二氧化碳氣溶於水中時，即生成碳酸，水之電離度因而增加，換言之即多生成氫素離子，以增速加水分解作用。碳酸雖屬於弱酸之類，溶解礦物之力甚微，但作用時間以年，百年，以至萬年計算時，則必可生成重大而且明顯之變化。杜博來<sup>⑤</sup>曾以三公斤之長石和以大量之水，而搖動 200 小時，乃得溶於水中之氧化鉀 2.52 公分，及一種新的生成物，或者為高陵土之類。

長石加水分解而生成高陵土之分解作用，僅可應用於岩石之風化。長石於土壤中之風化，不能如此簡單。蓋近來對於黏土之礦物成分的研究，乃知其所含之高陵土為量甚微，而大部分之黏土礦物為沉澱化合物<sup>⑥</sup>。所謂沉澱化合物者，即異電性之膠體風化生成

① hydrolysis

③ hydrogen ion

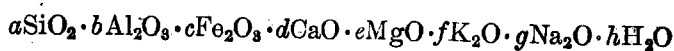
⑤ Daubrée, A.

② electrolytic dissociation

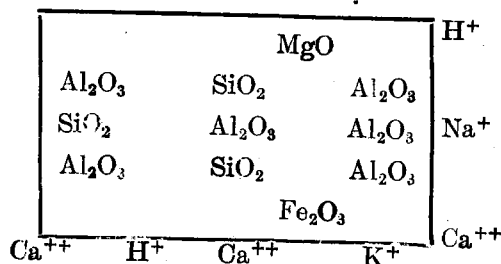
④ hydroxyl ion

⑥ precipitation compound

物，相互沉澱而成者也。是以長石於土壤中之分解作用，或者第一步為解放矽酸及其鹽基之氫氧化物。鹼金屬之氫氧化物，如氫氧化鉀及氫氧化鈉，可溶解於水中，然後與土壤細菌作用所生成之酸類化合而生成碳酸鹽，硝酸鹽，硫酸鹽等，或與磷灰石類礦物所解放之氯化物而成氯化物。此種化合物溶解於土壤水分中，變為土壤溶液之成分。至於矽酸與鐵及鋁之氫氧化物，原為膠體物，故懸於土壤水分中而成膠體懸液。此種膠體懸液，按貝美倫①之意，或者即相互沉澱而生成新化合物，蓋膠體矽酸負有陽電，而氫氧化鐵及氫氧化鋁二種膠體則負陰電，異電性膠體物相遇，必互相結合而沉澱。沉澱之結果，為生成極複雜之非結晶體及含吸收性之化合物，貝氏名之為吸收化合物②，其成分無定，或可以下列公式代之。



以上化合物以  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  為其核，而以  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  為其吸收體。衛格納③以圖表其構造，乃為如下：



上圖，方塊之內為核，包圍方塊者，為由土壤溶液中所吸收之

① Bemmelen, Jacob M. van.

② absorption compound

③ Wegener, Georg.

金屬離子。方塊內之核名之為膠體酸基<sup>①</sup>，或膠體之酸基。方塊外者名之為膠體鹽基<sup>②</sup>，或膠體之鹽基。

以 X 光而研究黏土部分之礦物成分時，乃知其所含之次生礦物皆為結晶體，故其成分必為有定的。因而相互的沉澱作用，或可(1)於沉澱後，各分子重新排列，而生成極複雜但有一定成分之結晶體，(2)於相互沉澱之際，直接生成極複雜但成分有定之結晶體。

以上所述，為一般學者對於長石及其他矽酸鹽礦物風化變化之原理解釋，至實際的結果，則可總之為三則：

1. 解放矽酸 長石於分解進行中，生成游離矽酸。此種矽酸因可溶解於水中，故其一部分，必為滲濾水所洗失。分析河水之化學成分，知其所含之岩石風化生成物中，矽酸恆較多於三氧化物，可於下表見之：

第五表 世界大河流所含之化學成分(一公升中之公絲數)

河 名	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
耶魯 <sup>③</sup> 下流	9.70	—	—	45.40	痕跡	(?)	32.90
萊因 <sup>④</sup> 中流	49.00	—	—	82.00	2.40	(?)	7.00
多騰 <sup>⑤</sup> 中流	5.00	2.10		48.00	12.10	(?)	1.00
米西西比 <sup>⑥</sup>	8.70			(?)	40.80	(?)	19.80
尼羅 <sup>⑦</sup> 洪水	11.29	—	—	44.22	10.33	15.01	5.87
十九大河平均	16.40	3.10	2.80	43.20	14.70	2.40	7.10

① acidoid

③ Yale

⑤ Danube

⑦ Nile

② basoid

④ Rhine

⑥ Mississippi

2. 鹼金屬及鹼土金屬之解放 由上表，可見河水所含之化學成分中，以鹼金屬及鹼土金屬之量為最多。若以莫利爾①之新鮮閃長岩與風化閃長岩之化學成分相比，則礦物於分解時之損失更可明瞭矣。（見第六表）

3. 新礦物之生成 長石及其他矽酸鹽類礦物，或於分解之際，變化其原有成分及形態，或生成膠體懸液而由此種新生膠體相互沉澱，或此新生膠體遇電解物而沉澱，但其結果則為生成新礦物。此種新礦物總名之為風化複合物②，或名之為泡沸石性複合物③，或簡名之為黏土複合物④或土壤無機膠體。

第六表 新鮮閃長岩與風化閃長岩之化學成分(百分率)

	新鮮閃長岩	風化閃長岩	餘留部分	損失部分(計算數)
SiO <sub>2</sub>	46.75	42.44	62.69	37.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.61	25.51	100.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.79	19.20	78.97	21.03
CaO	9.46	0.37	2.70	97.30
MgO	5.12	0.21	2.83	97.17
K <sub>2</sub> O	0.55	0.49	61.26	38.75
Na <sub>2</sub> O	2.56	0.56	15.13	84.87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.29	80.00	19.87
燃燒損失	0.92	10.92	100.00	0.00

以上所述之變化，並非於所有土壤中，皆可將所有長石及其他矽酸鹽類礦物，風化至膠體狀態。普通土壤中，由新鮮者至完全風

① Merrill, G. P.

② weathering complex

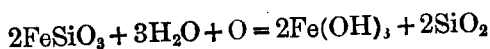
③ zeolitic complex

④ clay complex

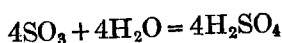
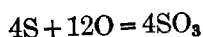
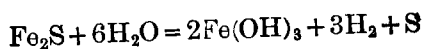


化者皆可有的。至於風化之程度，則依土壤之年齡，與氣候之作用而定。(參考卷上第四節)是以普通土壤中，可含由崩解而生成之體積不等的長石及其他矽酸鹽類礦物之土粒，以及其風化後所生成之新礦物。

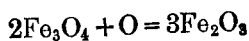
鐵礦之變化 土壤所含之鐵礦可有二種來源，一為鐵鎂質礦物①風化後所解放者，一為岩石所含之各種鐵礦。不論其為何者，其在土壤中之變化，以氧化，退氧化及水化為最常見者。鐵鎂質礦物所含之矽酸鐵，於空氣充足之環境中，必與氧及水化合而生成氫氧化鐵及矽酸：



岩石中所含之黃鐵礦之變化與矽酸鐵者相同，即與氧及水化合而生成鐵及硫素。硫素受硫化細菌②之氧化作用而生成硫酸：



磁鐵礦為土壤中之常見者，其變化之第一步為氧化為赤鐵礦，其第二步則與赤鐵礦之變化相同：



赤鐵礦之變化，當然為水化作用，其水化後之生成物為數種具有不同顏色之加水氧化鐵，其普通者為如下：

① ferro-magnesia minerals

② sulphur bacteria

赤鐵礦	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	紅色
紅褐鐵礦①	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	紅至紅棕色
針鐵礦②	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	黃色, 棕色, 棕黑色
褐鐵礦	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	黃色, 棕色
黃磁鐵礦③	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	金黃棕色

赤鐵礦之水化並無一定之方向, 乃一反復的化學反應④, 其應生成之化合物, 一視氣候之情形而定, 是以土壤可有黃, 棕, 紅等色。(參照卷上第五節) 若在空氣不流通及多含水分之土壤中, 則各鐵礦皆可退氧而生成藍色之原氧化鐵⑤。

由以上所述, 土壤所含之鐵質, 可為未經變化之原鐵礦, 亦可為各級之氧化鐵, 水化氧化鐵, 原氧化鐵, 及氫氧化鐵, 與其沉澱化合物。至於以何者為最多, 則視土壤之位置, 年齡, 及所生植物之種類而定。(參照卷上第九節)

方解石與白雲石之變化 方解石化學成分為碳酸鈣( $\text{CaCO}_3$ ), 其來源為石灰岩。白雲石之化學成分為碳酸鈣鎂 ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), 來之於白雲岩。雨量低而溫度高之氣候中, 土壤少含滲濾水分, 碳酸鈣與碳酸鎂可聚積大量。華北之黃土及棕色土, 皆含充足之石灰, 而河南省之土壤中常因石灰之結合沙粒而生成沙薑。(參照卷上第二十一節)

石灰岩與白雲岩所含之碳酸鈣與碳酸鎂, 及土壤中所含有者,

① turgite

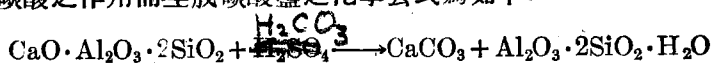
② göthite

③ xanthosiderite

④ reversible reaction

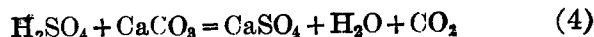
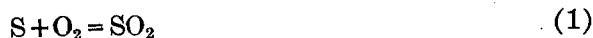
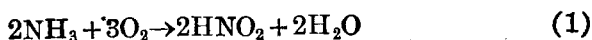
⑤ protoxide

皆為次生化合物，乃長石類之礦物受碳酸之作用而生成者。鈣長石受碳酸之作用而生成碳酸鹽之化學公式為如下：

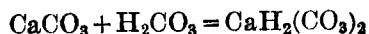


碳酸鈣若為純體而結成有定之晶體者，則為方解石。若雜以矽酸，三氧化物等，則結成石灰岩。石灰岩復可溶解及再行結晶而生成方解石。但不論其形態為何者，其化學成分既均為碳酸鈣，則其在土壤中之化學上的變化必皆相同。

土壤細菌氧化氮而生成硝酸，氧化硫而生成硫酸。此二種酸類，及其他土壤微生物作用所生成之酸類，似乎必先與鈣化合而生成鈣鹽，因而可有硝酸鈣，硫酸鈣，與多種有機酸鈣鹽存在於土壤中。



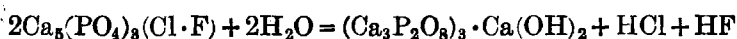
碳酸鈣亦可與碳酸化合而生成較易溶解之酸性碳酸鈣：



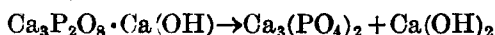
土壤中之其他鹼金屬及鹼土金屬如鎂，鉀，鈉等，亦來之於長石，而其變化亦皆與鈣相同，故所生成之化合物亦為碳酸鹽，硝酸

鹽，硫酸鹽等。然鈉與氯有極強之化學愛力，故多為氯化鈉。

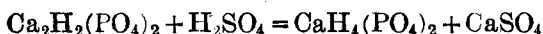
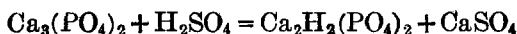
磷灰石之變化 磷灰石之化學成分，為氯氟化磷酸鈣  $[Ca_5(PO_4)_3(Cl \cdot F)]$ 。此礦物在土壤中之變化頗為複雜，且受土壤反應之支配。其第一步之變化為加水分解，而所生成之化合物為氫氧化磷灰石①：



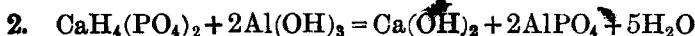
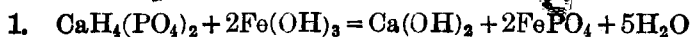
氫氧化磷灰石可將氫氧化鈣分出，而生成磷酸三鈣②，此為中性土壤中之磷礦。



磷酸三鈣可於土壤中與土壤生物作用所發生之酸類化合而生成(1)磷酸一鈣③，或(2)磷酸二鈣④。此二種化合物可供植物所取用。



若土壤為酸性反應，則磷灰石可與酸化合而直接生成磷酸一鈣。但酸性土壤含有水溶性鐵與鋁之化合物。此種化合物可與磷酸一鈣化合而生成極不易溶解之磷酸鐵及磷酸鋁：



泥炭土壤中，常有含水磷酸鐵⑤  $(Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O)$ ，名之為藍鐵礦⑥。此礦物於未與空氣接觸時為白色，與空氣接觸後即變為藍

① hydroxyapatite

② monocalcium phosphate

③ dicalcium phosphate

④ hydrated ferric phosphate

⑤ tricalcium phosphate

⑥ vivianite

色。

以上所述為礦物於土壤中受風化作用而變化之梗概，用之以作研究土壤化學成分之初步的認識。

### 土壤之化學成分

自福郎塞斯厚謀 ① (1757) 引用化學分析方法而研究農業以來，土壤分析結果即積漸增益，惟舊時代農業化學家之惟一目的為依土壤之化學分析結果而求解決植物營養或土壤培肥各問題，是以大部分之分析報告僅包含屬於植物食料之數種土壤化學成分，且以方法幼稚之故，所分析者大都為土壤所含植物食料之全量。惜所得結果，常與土壤之生產力不符，故又以化學方法而研究所以不符之原理，於是有土壤完全成分之探討，然亦未能滿足化學家之願望，但對土壤生成進程中之變化，或風化作用對於土壤化學成分之影響，則頗能有所表示，惟其重要性於最近十年來始得土壤學家之注意。(參照卷上第九節) 此時化學家對於土壤化學成分之研究工作分為二途，一為純粹以土壤科學為目標之研究，一為探討土壤生產力之研究。此二者有時界限明晰，有時合為一體，但事實上可分為四端：

1. 土壤化學成分之全量分析，所得結果可表示土壤自身之化學成分上的特性，一部分亦可表示其所含植物食料之全量。

2. 土壤所含各種植物食料之全量的分析，所得結果，雖有時不

① Francis Home

能表示土壤之生產力，但由此可知土壤所含植物食料之全量，以作研究使其變為植物應用食料<sup>①</sup>之方法的資料。

3. 土壤所含各種應用植物食料量之分析，所得結果，希可表示土壤供給食料之能力。

4. 土壤反應之化學分析，所得結果，可表示土壤之為酸性或為鹼性以作改良之依據。

土壤之全量化學成分 由土壤生成情形之複雜，與所處環境之不一致，即可知土壤之化學成分必不能各處皆同。（參考卷上第三章）下表所列為美國六個土壤省之土壤的化學成分之全量。（『土壤省』見卷上第十一節）

第七表 美國六個土壤省由零至 36 英寸深度  
之土壤的化學成分(百分率)

成分	② 海濱平原省		③ 石灰岩谷省		④ 洪積及風積省		⑤ 彼得蒙高原省		⑥ 大平原省		⑦ 河積平原省	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
SiO <sub>2</sub>	94.50	85.30	79.35	66.49	76.83	65.68	88.57	44.15	78.85	68.74	93.29	73.25
TiO <sub>2</sub>	0.91	0.71	1.28	1.01	0.79	0.59	1.59	0.40	0.36	0.32	0.69	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.81	2.07	14.80	8.89	14.15	9.10	27.58	5.54	14.45	9.68	13.79	2.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.91	0.83	5.99	4.23	5.67	3.79	16.23	1.55	5.00	2.72	4.88	0.78
MnO	.007	0.004	0.180	0.063	0.120	0.022	0.51	0.035	0.057	0.031	0.679	0.024
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.007	0.004	0.018	0.004	0.013	痕跡	0.025	0.002	未定	未定	未定	未定
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.06	0.01	未定	未定	未定	未定

① available food

③ limestone valley province

⑤ piedmont plateau province

⑦ alluvial plains province

② coastal plain province

④ glacial and loessal province

⑥ great plains province

稀土族	.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	未定	未定	未定	未定
ZrO <sub>2</sub>	.05	0.02	0.08	0.01	0.06	0.02	0.08	0.003	未定	未定	未定	未定
MoO <sub>2</sub>	無	無	無	無	無	無	含有	無	未定	未定	未定	未定
NiO + CoO	?	?	無	無	0.06	0.04	0.04	?	未定	未定	未定	未定
CuO	未定	未定	無	無	含有	含有	含有	含有	未定	未定	未定	未定
CaO	0.3)	0.38	0.93	0.35	1.40	0.37	1.73	0.08	1.08	0.88	0.21	0.12
BaO	0.004	0.004	0.063	0.021	0.53	0.041	0.360	0.027	未定	未定	未定	未定
SrO	0.03	0.02	0.11	0.04	0.05	0.01	0.05	0.01	未定	未定	未定	未定
MgO	0.19	0.09	1.93	0.33	1.28	0.39	1.06	0.09	1.12	0.36	0.34	0.09
K <sub>2</sub> O	0.12	0.10	3.58	0.67	2.28	1.04	3.96	0.61	2.57	2.20	1.08	0.45
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.07	0.82	0.16	1.75	0.63	1.54	0.14	2.06	1.12	0.12	0.03
Li	含有	含有	含有	含有	含有	含有	含有	含有	未定	未定	未定	未定
Rb	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.01	痕跡	未定	未定	未定	未定
Cs	無	無	無	無	無	無	無	無	未定	未定	未定	未定
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.04	0.19	0.16	0.24	0.11	0.16	0.05	0.11	0.08	0.06	0.05
SO <sub>3</sub>	0.13	8.07	0.31	0.13	0.18	0.03	0.16	0.04	0.20	0.07	0.13	0.05
燃燒損失	3.22	1.74	6.08	4.63	9.52	3.13	11.83	1.41	7.11	2.28	5.18	1.53
水分量 (110°C)	1.48	0.48	2.38	1.40	3.39	1.28	2.90	0.22	未定	未定	未定	未定
有機物	1.13	0.29	2.87	0.82	7.07	0.60	2.40	0.09	未定	未定	未定	未定
CO <sub>2</sub> 碳酸鹽	未得	未得	0.56	未得	未得	未得	未得	未得	未定	未定	未定	未定
氮	0.08	0.01	—	—	0.14	0.05	—	—	0.20	0.07	0.10	0.03

上表所列各成分，含有吾人應注意者四點：一為各種成分之量的不一致。不論何種土壤中皆以矽酸為最多，此乃由於石英之不易風化，故損失甚少。次多之成分為三氧化物<sup>①</sup>，（指三氧化鋁及三氧

① sesquioxide

化鐵而言)其量之最高者,不及全量之百分之二十。而矽酸與三氧化物之量可佔土壤全量之百分之九十五以上。二為每種成分之量的不一致。不論何種成分,雖於一個土壤省中,其量亦可有極大之差異。三為植物食料成分之微少。除鐵外,凡為植物食料者,為量皆低,而以氮磷鉀三者為最低。四為土壤成分之複雜。上表所列之成分已近三十種之多,然尚未盡括土壤所有之化合物,且每個化合物又可有數種,或十數種,以至數十種之不同狀態。是以單就土壤之化學成分而言,吾人已知其極為複雜也。

土壤種類與土壤成分 土壤成分所以不能相同的原因,乃由於風化情形之殊異。若以風化情形而分類土壤,則可有風化程度甚深者,與風化程度甚淺者,而所謂風化程度者,乃指土壤與其所處之環境是否已成立密切之關係之謂。(參照卷上第四節)茲舉英國二種風化程度不同之土壤,以觀其成分之異點:

第八表 英國二種風化程度不同之土壤: I. 風化程度甚深之英格蘭東南部土壤與 II 風化程度甚淺之亞卜耳丁 ①土壤之各機械部分的化學成分(百分率)

① Aberdeen



	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		CaO		MgO		K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
小礫	94.4	85.0	3.0	8.6	2.1	1.1	0.4	0.9	0.8	0.4	0.6	1.5	0.06	0.07
粗沙	93.9	83.9	1.6	9.3	1.2	1.1	0.4	1.3	0.5	0.4	0.8	1.8	0.05	0.08
細沙	94.0	73.9	2.0	13.5	1.2	4.2	0.4	3.0	0.04	1.0	1.5	1.7	0.02	0.10
泥沙	89.4	7.01	5.1	14.0	1.5	5.8	0.8	2.1	0.3	1.1	2.3	1.5	0.03	0.2
細泥沙	.01-.004 mm.	84.1	7.2	2.6	1.1	0.2	3.2	0.1	1.6	2.5	0.3			
	.004-.001 mm. 肥沃地	67.2	18.9	7.8	1.4	0.4	5.0	0.4	1.6	2.5	0.3			
粘土	肥沃地	64.3	19.3	7.6	2.2	0.6	1.0	4.9	1.6	1.1	0.4			
	不沃地	53.2	21.2	13.2	1.6	1.0	4.9	0.4	1.6	1.1	0.4			
		44.1	27.6	21.8	0.6	1.6	1.1	0.4	1.6	1.1	0.4			
		49.0	29.8	13.1	1.5	1.0	3.4	0.7	1.0	3.4	0.7			

由上表，可見風化之進步，乃使鹼金屬及鹼土金屬以及磷酸損失而聚積矽酸與三氧化物。其因風化進步而損失之土壤成分，皆為植物食料，乃由滲濾作用而損失之也。但滲濾作用不能代表所有之風化因子。溫度，雨量，蒸發，及天然植物社會，皆為重要之風化因子，故皆可影響土壤成分。是以吾人應由各種氣候性土壤之化學成分，以察風化之結果。（『氣候性土壤』參照卷上第八節）莫布特 ①根據土壤之化學性，將美國之風化完成土壤或成年土壤分為聚鐵土 ②及聚鈣土 ③ 二大組，每組之中又以顏色為根據，而分為數小土壤區。觀第九表及第十二表所列之成分，即可明瞭風化情形對於土壤成分之影響，亦可知各種氣候性土壤之成分上的異點。（關於『風化

① Marbut, C. F.

② pedalfers

③ pedocals

情形]參考卷上第二十二節)

第九表 美國聚鐵土壤之化學成分(百分率)

	灰 土 區				灰 棕 土 區				紅 土 區			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C
SiO <sub>2</sub>	58.99	73.00	65.02	53.14	87.83	90.57	80.74	82.03	84.34	86.15	52.03	56.33
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.41	0.76	0.66	0.34	0.29	0.34	0.29	0.42	0.53	1.24	0.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.50	3.38	5.34	5.26	1.76	1.11	2.25	2.25	1.37	1.56	9.23	7.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.00	12.66	16.63	14.62	3.92	4.77	10.58	8.57	5.05	6.33	25.55	24.24
MnO	0.18	0.172	0.18	0.14	0.006	0.006	0.01	0.006	0.047	0.032	0.044	0.054
CaO	1.57	1.42	1.03	7.00	0.24	0.16	0.74	0.76	0.12	痕跡	痕跡	痕跡
MgO	1.30	1.05	1.66	3.72	0.14	0.14	0.26	0.20	0.01	0.08	0.42	0.83
K <sub>2</sub> O	2.15	2.71	2.48	2.19	1.62	1.62	1.97	2.07	0.64	0.77	1.10	2.02
Na <sub>2</sub> O	1.18	1.67	1.20	1.01	0.16	0.09	0.44	0.42	0.42	0.39	0.42	0.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.01	0.17	0.11	0.03	0.02	0.08	0.07	0.03	0.03	0.11	0.12
SO <sub>3</sub>	0.12	0.08	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07	0.03	0.03	0.03	0.01
燃燒損失	16.53	3.64	5.70	11.20	3.87	1.45	3.67	3.01	7.48	4.18	10.32	8.47
總量	100.44	100.20	100.22	99.11	99.97	100.27	101.14	99.736	99.96	100.08	100.49	100.50
缺	0.44	0.074	0.12	0.05	—	—	—	—	0.119	0.042	0.02	0.005

第一〇表 美國聚鈣土壤之化學成分 (百分率)

	黑 土 區				棕 土 區			
	平 際				平 際			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	O
SiO <sub>2</sub>	71.73	71.87	71.53	70.14	71.81	65.54	65.09	68.87
TiO <sub>2</sub>	0.55	0.53	0.54	0.55	0.62	0.54	0.51	0.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.78	3.10	3.25	3.43	3.29	3.18	3.07	2.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.34	12.60	12.72	12.53	12.15	11.49	11.19	9.78
MnO	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05
CaO	1.68	1.56	1.52	3.41	1.96	5.99	6.71	5.31
MgO	0.84	1.03	1.18	1.60	1.57	1.70	1.81	1.65
K <sub>2</sub> O	2.51	2.68	2.82	2.81	2.11	2.46	2.46	2.60
Na <sub>2</sub> O	1.04	1.07	1.00	0.98	1.62	1.46	1.50	1.77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.19	0.21	0.22	0.49	0.34	0.38	0.34
SO <sub>3</sub>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.05
N	0.19	0.10	0.05	0.03	0.10	0.09	0.05	0.03

以上列二表相比，其最明顯之異點為鐵與鋁及鈣與磷之成分的不一致，以及鹼金屬及鹼土金屬之損失的程度。

土壤完全分析之結果，所以不能表示土壤生產力之原因，乃由於植物營養問題之複雜。概言之，任何一種植物食料，必須於下列各條件皆滿足之情形下，始可為植物所取用：1. 該植物食料為水溶性鹽類，2. 分析土壤之時正適植物需要食料之時，3. 所有植物食料無一缺乏者，4. 土壤溶液之濃度適當，5. 土壤中無毒害植物之物質，6. 無與植物競爭食料之他種生物，7. 植物無病蟲害及其他

機械傷害，8. 土壤之物理狀態適當。設以上八條件中之任何一者不適，則土壤完全分析所得之結果，不能表示生產力之高低。但土壤完全分析之價值，未可蔑視，茲將其理由分別述之：

1. 岩石及礦物之成分與土壤成分之異點 若以岩石之化學成分，(參照卷上第一七至二八表)礦物之化學成分，(參照卷上第6—14頁，及本卷第四表)及土壤之化學成分(第七，八，九，一〇各表)相比較，則見明顯之異點，其最堪注意者為以一種岩石與他種岩石相比，或以一種礦物與他種礦物相比，成分上皆有極不同之點，而以一種土壤與他種土壤相比則雖不相同，但無特殊差異。凡普通成分如矽酸，三氧化物，鹼金屬，及鹼土金屬等，不論何種土壤皆必含有，而岩石及礦物則不然，指明土壤成分之來源，非局部的而為大同的。西諺有云：『地球上每個平方英里之面積內，曾收得其他每個平方英里內之土粒』，誠非過甚其詞也。

原積土之生成於一致之岩石種類者，其化學成分與其母石者更可有深刻之差異，可於第八表所舉石灰岩谷土壤之成分見之。(參照卷上第七節)土壤中之化學變化的趨向，為使各種土壤，不論其來之於何種母石，若風化因子相同，皆生成一致之成分。(參照卷上第八節)

2. 土壤化合物之損失與聚積 由第九表與第一〇表所列之成分觀之，聚鐵土壤之特性為損失鈣鎂而聚積三氧化物，正與聚鈣土壤之特性相反。此種化學的變化，可代表風化性質，(參照卷上第三節)土壤反應，(本卷第九節)所生天然植物社會之種類，及農業

情形。(參照卷上第二十二節)

3. 土壤化合物之位置的移動 由第九表與第一〇表所列之成分觀之，聚鐵土中之鐵與鋁皆向B平際中聚積，而聚鈣土之B平際中所聚積之化合物為氧化鈣與氧化鎂。土壤化合物之位置的移動，除使土壤剖面生成明顯之平際外，(參照卷上第五節)復可表示風化因子之性質，與滲濾作用之強弱。(參照卷上第八節)

4. 植物食料之儲存量 土壤之完全分析，雖少有能代表其生產力者，但可知其所儲存之植物食料全量。事實上設能改善土壤之物理及生物狀態，使其化學作用加速，即可使其所儲存之植物食料部分的變為應用者。且若分析結果指明某種食料特別缺乏時，則需施肥而補充之，以變其為肥沃土壤。

總上所述，土壤之完全分析，可直接的解決土壤自身上的問題，如生成，形態，分類等；而間接的，或部分的可解決植物生產上及農業性質上的問題；故其價值不可渺視之。

土壤植物食料全量的成分 土壤之化學分析，以植物食料之全量的分析為最多，蓋研究土壤者，直接的與間接的皆以增高或維持土壤之生產力為目的，是以每於土壤問題發生之時，常以探討其是否缺乏植物食料為第一步之工作。土壤所含植物食料之最缺乏者為氮，磷，鉀三者，故土壤之植物食料分析常限於此三者。

母石之種類與土壤之植物食料成分 若將農業上之人工的因子除外(人工的因子指施肥，放牧，放荒等而言)則母石之種類與其所生成之土壤的植物食料成分，頗有關係。沙岩所生成之土壤，各

種植物食料皆可缺乏。花崗岩土壤多含鈣，鉀，鎂，與磷。石灰岩土壤所含各種植物食料俱可豐富。由多種岩石之混合體所生成之土壤，植物食料之含量可富而且均勻。

氮為土壤之後天成分，其量與土壤之有機物量成正比例，普通以 20 除有機物量即得氮之約量。土壤之氮的含量雖與母石無關，但其含磷，鉀，鈣等充足者，植物生長必繁茂，有機物聚積必多，因而氮之含量亦富。

第一一表 土壤母體與植物食料成分(百分率)

土壤	硫	磷	鉀	鈣	鎂
石灰岩土壤	—	0.27	0.10	2.51	0.29
片麻岩土壤	0.069	0.037	1.11	0.28	0.25
玄武岩土壤	0.037	0.036	0.77	0.39	0.53
蛇紋岩土壤	0.028	0.570	1.380	0.41	1.95
沙岩土壤	0.040	0.620	2.870	0.45	0.74
粘性混合土壤	0.041	0.670	2.580	0.41	0.52

土壤之含有機物最多者，除泥炭土及腐植土外，首推俄國之齊奴生土壤，由下列之表可見其氮及其他植物食料之含量。

第一二表 俄國齊奴生土壤之植物食料成分(百分率)

	氮	硫	磷	鉀	鈣	鎂
齊奴生處女土壤	0.27	0.028	0.061	0.597	1.073	0.44
齊奴生耕作土壤	0.24	0.032	0.056	0.181	0.935	0.45
泥炭土壤	1.227	—	0.038	0.048	3.093	0.305
美國數千種土壤平均	0.10—0.30	—	0.30—0.11	0.8—1.60	0.2—1.50	—
標準肥沃土壤	0.20	—	0.07	0.35	0.60	—

土壤之風化情形與其植物食料含量 土壤之風化情形，依氣候之作用而定，故有依氣候之作用而分類土壤之舉。氣候之作用，乃溫度，雨量，蒸發，天然植物社會等因子之作用。此種因子皆可影響土壤之植物食料成分。茲將第九表與第一〇表所列之植物食料成分摘出，列之於下，以供參考。

第一三表 土壤風化情形與植物食料成分(百分率)

	灰 土 區				灰 棕 土 區			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C
N	0.44	0.74	0.12	0.05	—	—	—	—
SO <sub>3</sub>	0.12	0.08	0.05	0.06	0.06	0.05	0.08	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.01	0.17	0.11	0.03	0.02	0.08	0.07
K <sub>2</sub> O	2.15	2.71	2.48	2.19	1.62	1.62	1.97	2.07
CaO	1.57	1.42	1.03	7.00	0.24	0.16	0.74	0.76
MgO	1.30	1.05	1.66	3.72	0.14	0.14	0.26	0.20

	紅 土 區				黑 土 區				棕 土 區			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C
N	0.119	0.042	0.02	0.005	0.19	0.10	0.05	0.03	0.10	0.09	0.05	0.03
SO <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.03	0.11	0.12	0.20	0.19	0.21	0.22	0.49	0.34	0.38	0.34
K <sub>2</sub> O	0.64	0.77	1.10	2.02	2.51	2.68	2.82	2.81	2.11	2.46	2.46	2.60
CaO	0.12	痕跡	痕跡	痕跡	1.68	1.56	1.52	3.41	1.96	5.99	6.71	5.31
MgO	0.01	0.08	0.42	0.83	0.84	1.03	1.18	1.60	1.57	1.70	1.81	1.65

總上所述，土壤之植物食料全量的分析，除可求知土壤所儲存之植物食料量外，尚可表示土壤種類與土壤生產力的關係。

土壤應用植物食料之成分 所謂土壤之應用植物食料<sup>①</sup>者，指植物由土壤中所可吸收之食料而言，或土壤所可給與植物之食料而言。此種化合物為水溶性者，或弱酸可溶解者，或為代換性<sup>②</sup>者。研究此問題者，概用四種方法：

1. 土壤溶液之分析 土壤溶液為構成土壤體之基本分子，故另節述之。(第七節)

2. 土壤水提液之分析 土壤水提液為以水而提出之土壤溶液，目的在將土壤溶液所含之成分取出以供分析。(第七節)

3. 土壤之弱酸提液 以弱酸溶解土壤中之植物食料，以供分析。所以用弱酸之原理，乃模仿植物根之酸化力，以及土壤中由於微生物作用發生之酸的溶解力，其詳細見於第八節中。

4. 代換性鹽基<sup>③</sup>之分析 土壤中之膠體物，可吸收鹽基，而生成所謂之吸收複合體。此種被吸收之鹽基可以另一鹽基或氫代換之，故此種鹽基，於某種情形之下，可變為應用植物食料。(見第二節)

土壤反應的化學分析 酸性土壤與鹼性土壤之生成及改良含有極感興趣之化學問題。作者於本書中，另立節目以討論之，俾便詳述。

① available plant food

② replaceable

③ replaceable bases



## 參考書：

- Bizzell, J. A.: The Chemical Composition of New York Soils.  
Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bul. 513, 1930.
- Comber, N. M., An Introduction to the Scientific Study of the Soil.  
Chapts. II and VI. Edward Arnold Co., London. 1932.
- Dutcher, R. A. and Haley, D. E.: Introduction to Agricultural  
Biochemistry. Chapt. IX. John Wiley and Sons, Inc., New York.  
1932.
- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. Chapts. 15 and 16.  
The Macmillan Co., New York. 1930.
- Lyon, T. L. and Buckman H. O.: The Nature and Properties of Soils,  
Chapt. III. The Macmillan Co., New York. 1930.
- Mosier, and Gustafson, A. F.: Soil Physics and Management. pp.  
394—396. Lippincott Co. 1917.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth, 6th. Ed. Chapts.  
III and IV. Longmans, Green Co., London 1932.
- Wolfanger, L. A.: The Major Soil Divisions of the United States. John  
Wiley & Sons, Inc., New York. 1930.

劉 和 土壤學 卷上 第十一節 商務印書館 民國二十四年

## 第二節

## 黏土

土壤之機械成分中，根據土粒之體積的直徑，分土壤爲五或六部分，其中之最微細部分，按國際標準，爲直徑在.002mm.以下者，

則名之爲黏土<sup>①</sup>。(其他部分及各國自有之標準參考卷上第十一節)

土壤之化學的研究，如上節所述者，每不能表示土壤之肥沃度，其原因乃由於以土壤之整個體爲研究單位之攙統，蓋細沙及大於細沙之土粒，風化甚慢，對於土壤幾無化學的作用，且其成分幾皆爲石英，其功用僅構成土壤之體，以利水分與空氣之流通。至於泥沙之功用，則似乎爲中和細沙與粗沙之劣性，其在化學上之作用亦甚低微。黏土則不然，其化學之活動性甚強，而對於土壤物理性之作用亦烈，故爲土壤機械成分中之最重要部分。

黏土之化學成分 由第八表所列之化學分析觀之，可見土壤各機械部分之化學成分，頗不相同。土粒愈微小者，所含之矽酸成分愈少，而其他成分則愈高。此種成分的變化，表示二點：一爲各機械部分所含礦物種類之殊異；似乎愈大之土粒，愈多含石英；事實上，滲濾甚烈之土壤，如灰土之 A 平際，及其他各種土壤中之細沙與粗沙部分，幾爲純粹之石英粒。二爲土壤中植物食料之所在；細沙與粗沙，既變爲純粹之石英粒，則土壤中之植物食料必大部分爲微細土粒之成分，指明肥沃土壤必多含泥沙及黏土；按實地經驗，多含黏土之土壤，若物理性良好，必爲沃壤。

黏土不僅多含植物食料，且易變爲應用性者，而其對於植物食料之保存力亦強。讀者於熟習黏土之構造，膠體性，及化學作用後，即可明此理矣。

① clay

第一四表 世界十種代表土壤之黏土部分的化學成分

土壤	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	分析者
I	44.89	22.59	7.75	0.47	1.48	1.44	1.36	0.22	魯賓生與厚謀斯①
II	33.95	36.06	11.02	0.62	0.31	0.40	0.56	0.44	
III	53.34	20.77	7.15	0.81	5.01	1.39	未作	未作	
IV	49.5	30.9	12.2	未作	未作	未作	未作	未作	赫爾②
V	44.08	27.64	21.81	未作	0.58	1.61	1.10	0.96	亨得利克與奧格③
VI	43.9	35.6	19.9	未作	0.3	0.4	0.8	未作	莫爾向得與 溫得摩夫④
VII	58.9	17.3	20.8	未作	0.2	2.4	1.2	未作	
VIII	46.6	33.3	12.6	未作	未作	未作	未作	未作	魯賓生⑤
IX	10.19	15.84	62.51	0.20	0.23	0.05	痕跡	痕跡	愛金騰⑥
X	27.6	37.8	26.8	1.4	未作	未作	未作	未作	魯賓生

- I 美國愛奧渥州 ⑦ 之客林登壤土 ⑧ 0—9 英寸。
- II 美國喬治亞州 ⑨ 之塞西耳粘土 ⑩ 0—9 英寸。
- III 美國台克索斯州 ⑪ 之胡斯頓黏土 ⑫ 0—12 英寸。
- IV 英國羅塞模斯台得試驗場 ⑬ 之平均。(燃燒過之土壤)
- V 蘇格蘭之克來卜斯同 ⑭ 土壤。(燃燒過者)
- VI 特蘭斯渥 ⑮ 紅色壤土。(燃燒過者)
- VII 特蘭斯渥 ⑯ 黑色泥炭土壤。(燃燒過者)

① Robinson, W. O. and Holmes, R. S.    ② Hall, A. D.    ③ Hendrick, J. and Ogg, W. G.    ④ Marchand, B. de C. and Van der Merwe, C.R.  
 ⑤ Robinson, G. W.    ⑥ Edington, G.    ⑦ Iowa    ⑧ carrington loam  
 ⑨ Georgia    ⑩ cecil clay    ⑪ Texas    ⑫ houston clay  
 ⑬ Rothamsted Station    ⑭ craibstone    ⑮ Transvaal

VIII 北衛爾斯 ① 頁岩土壤。(燃燒過者)

IX 古巴迺浦 ② 磚紅黏土③。

X 騰根伊客 ④ 紅色壤土。(燃燒過者)

由上表所列之分析觀之，各種土壤所含黏土之化學成分，頗不一致，其原因乃由於風化因子之殊異，而各分析家所用之粘土部分之體積的標準，亦不恰同。若限於相同之風化因子，及相等之體積標準，則由不同土壤中所取之黏土部分，可有極相似之成分。卜來得費爾得⑤ 對於黏土之化學研究，貢獻甚多，下表所列，為其分析報告中之一者，其所分析之土壤，皆取之於美國米若里州⑥，故風化因子相同，土粒體積標準一致。(直徑在 0.1 micron 以下)

第一五表 美國米若里州十一種土壤之粘土部分的化學成分(百分率)

	H <sub>2</sub> O 105°	揮發物	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>
I	10.60	11.76	50.00	28.21	3.53	1.14	1.84	1.68	0.60	0.056
II	10.86	13.38	49.81	29.23	3.72	0.94	1.51	1.25	0.00	0.018
III	11.28	12.47	48.77	29.90	4.05	0.23	1.37	0.80	0.12	0.007
IV	12.36	11.88	50.54	28.86	4.45	0.73	1.42	1.01	0.071	0.028
V	12.66	11.34	51.34	28.00	4.53	0.29	1.54	1.25	0.301	0.021
VI	12.58	11.16	50.11	24.51	3.39	1.75	2.41	1.87	0.602	0.027
VII	12.83	11.51	52.78	24.19	4.73	1.23	2.56	1.63	0.854	0.023
VIII	12.16	12.43	51.18	25.59	5.17	0.99	1.80	1.34	0.318	0.025
IX	12.17	13.37	50.22	27.65	4.74	0.92	1.52	0.82	0.449	0.014
X	12.44	11.83	52.15	26.53	5.51	0.44	1.75	1.06	0.302	0.018
XI	10.69	14.09	49.79	30.42	3.80	0.35	1.29	1.03	0.555	0.017
平均	11.90	12.29	50.11	27.55	4.33	0.82	1.73	1.25	0.379	0.023

① North Wales

② Nipe

③ lateritic clay

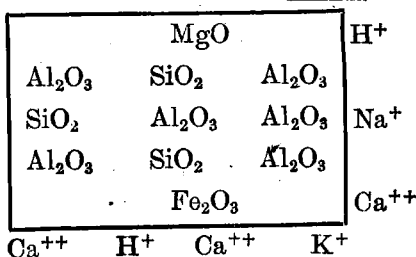
④ Tanganyika

⑤ Bradfield, R.

⑥ Missouri

上表所列各成分中，最堪吾人之注意者，為水分，揮發物， $\text{SiO}_2$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，及  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等之一致。按第一節之所述，土壤中之膠體物，以沈澱化合物為主體，小部分為礦物崩解所生成之微粒，故凡同等風化因子中之土壤，應生成相仿之黏土。

**黏土之化學構造** 黏土為礦物風化生成物，毫無疑意。物理的風化或崩解，僅可使土粒微細化，而不能變其成分，且必保存其結晶構造。惟黏土中是否尚有原積礦物<sup>①</sup>，尚有疑問。即有之，量亦甚微。黏土之生成，必以化學的風化或分解為主因。其生成的程序，於第一節中討論矽酸鹽之變化時，已略述之。但所謂之風化複合體<sup>②</sup>者，是否為惟一之黏土次生礦物，亦有疑問。魯賓生以為，礦物風化生成物之所謂為黏土者，或可分為二種：一為矽酸鹽礦物風化期間，未變其原有結晶狀態，僅以氫基或氫氧基代換鹼金屬及鹼土金屬，或者變更構造，而尚保存原有結晶狀態。此種黏土化合物，可名之為原積複合體<sup>③</sup>。二為根據溫貝美倫及多數學者之一致的理論，黏土之生成，為矽酸鹽之風化生成物，相互沈澱而生成複雜，但成分有定之新化合物，總名之沈澱複合體<sup>④</sup>，衛格納以下式代表之：

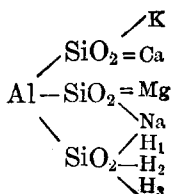


① residual mineral  
③ residual complex

② weathering complex  
④ precipitation complex

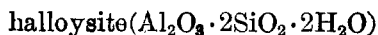
方格內之成分爲黏土之酸基，或黏土之化學構造的中心，化學家名之爲內核<sup>①</sup>，其在膠體化學上之名詞爲膠體酸基<sup>②</sup>。此核除以  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  爲基本成分外，尚含小量之  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，有時亦可含  $\text{MgO}$ 。此核之外，爲膠體所吸收之鹽基。

愛謀爾生<sup>③</sup> 以下列之構造公式，代表黏土之化學構造，亦頗得當。



黏土之礦物成分 由卜來得費爾得，亨得里克<sup>④</sup>，奧格<sup>⑤</sup>，魯賓生等之黏土化學成分的研究，而引起羅斯<sup>⑥</sup>與莫向爾<sup>⑦</sup>等之黏土礦物成分的研究。二氏用 X 光察黏土礦物之雙反射<sup>⑧</sup>，而知黏土爲結晶體，且其所含之各種礦物爲如下：

(1) kaolinite 組：



(2) montmorillonite 組：

① inner nucleus

② acidoid

③ Emerson, Paul.

④ Hendrick, J.

⑤ Ogg, W. G.

⑥ Ross, C. S.

⑦ Marshall, C. E.

⑧ double refraction

montmorillonite [(Ca, Mg) O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3 或 5SiO<sub>2</sub> (普通爲 4SiO<sub>2</sub>) 約 5 H<sub>2</sub>O]。

(3) nontronite 組:

nontronite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3 或以上之 SiO<sub>2</sub>, 約 4之H<sub>2</sub>O)

(4) 變態 betonite 組: 此爲含鉀之礦物, 常見於變態火成岩中, 及金屬礦脈中。

按羅斯, 粘土中之最普通礦物, 爲 beidellite, 而非 kaolinite。且每種土壤中, 似乎僅含一種黏土礦物。

亨德里克斯① 與福雷② 未能於 0.001mm. 以下之黏土中, 得雲母, 長石, 褐鐵礦, 赤鐵礦, 磁鐵礦等。指明此種原礦物, 僅可存在於 0.001mm. 以上之土粒中, 而 0.001mm. 以下之土粒中, 皆爲次生礦物。

黏土之膠體性 黏土與其他部分之異點, 不僅限於其成分及構造上之特性, 其在土壤中之最大的作用, 乃由於其所含之膠體性。魯賓生曾以板岩用人工法碎之, 使其含有 59% 之微細土粒, 其微細度與黏土相同, 但未能表示膠體性質。包伊姚克斯③ 以黏土燃燒之, 見其懷水熱④ 減少, 燃至 750°C. 時, 則完全損失此特性, 可見黏土之膠體性非僅由於其粒體之微細, 亦其構造上之特性也。

土壤中之膠體物, 包含有機物與無機物二種。其作用對於土壤之形態, 生產力等, 頗爲重要, 故另節述之, 俾可備列其詳。本節僅

① Hendricks, S. B.

② Fry, W. H.

③ Bouyoucos, Georg. J.

④ heat of imbibition

將黏土之膠體性列之，並祇舉其事實，而將原理上的解釋，列於第五節中。

I. 懷水力<sup>①</sup> 黏土之懷水力甚強。下表所列為羅素所測得之結果：

第一六表 沙性土，壤土，及黏性土之水分：

	沙性土 黏土 5.0%	壤土 黏土 9.3%	黏性土 黏土 43.0%
最高量	14.0	16.5	85.0
最低量	1.1	6.0	15.8
平均	9.0	12.0	27.0

與黏土粒密切結合，不能流動，植物不能取用之水分有二種：  
一為吸着水，附於土粒之表面，成極薄之膜。（參照卷上第十七節）  
一為懷水<sup>②</sup>，包含於黏土之體內，其狀態與結晶水<sup>③</sup>相仿。細沙與泥沙皆可吸着水，但懷水僅黏土有之。

II. 容積之變化 加水於黏土，則其容積增大；去水則容積減小。黏性土壤，每於乾燥之時，生成龜裂，使土壤體現方形或柱形構造，且使耕作不易。

III. 塑性<sup>④</sup> 黏土有塑性，泥沙，細沙均無之。（參照卷上第十三節）

IV. 黏着性<sup>⑤</sup> 若以細沙或泥沙加水使成磚形之塊，迨其乾後，不需大壓力即可碎之。以黏土加水，則雖施以大壓力亦不易碎。

V. 附着性<sup>⑥</sup> 若於土壤潤濕時，施以耕作，則農具上附以黏

① imbibition power    ② imbibition water    ③ water of crystallization  
④ plasticity    ⑤ cohesion    ⑥ adhesion



土，使工作大感困難，蓋黏土有附於外物表面之特性，名之為附着性。

VI. 羣集作用<sup>①</sup> 黏土對於電解物之威力甚強。小量之中性鹽類即可使其結合而成團粒。此現象名之為羣集作用。(參照第六節)

VII. 羣散作用<sup>②</sup> 若施以小量之氫氧化物於黏土，則黏土分散，名之為羣散作用。輸土不能透水之原理，乃由於氫氧化鈉將膠體羣散，充滿土壤孔隙，結為『石田』之故。(參照第六節)

VIII. 結合力 黏土與腐植質結合生成膠體複合體<sup>③</sup>。膠體複合體可單獨存在，亦可附於礦質土粒之表面，亦可結合礦質土粒以成團粒，或膠體複合體相互結合而成複粒<sup>④</sup>。

IX. 吸收力 黏土之吸收力甚強，可由溶液中吸收陽電離子。

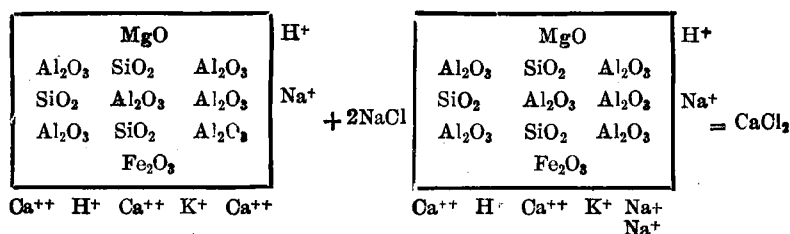
X. 不固定性 黏土為不固定之化合物，以其與水混合之時，固體與液體之間無分明之界限，可見其外膜可部分的溶解於水中。喬塞夫<sup>⑤</sup>曾謂黏土並無一定之體積，一再破壞之，皆可變為過細黏土<sup>⑥</sup>，證明較大之黏土粒由過細黏土所結合而成。(參照第五節)

XI. 懷水熱 黏土於吸收水分時，溫度即增高。增高此溫度之熱，名之為懷水熱。

XII. 鹽基代換作用 土壤中之鹽基代換作用以黏土為最強。設承認黏土之構造為衛格納所圖表者，則其所吸收之鹽基與其內

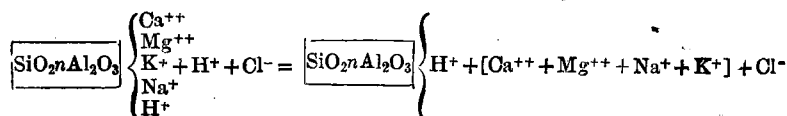
① flocculation      ② deflocculation      ③ colloidal complex  
④ compound granule      ⑤ Joseph, A. F.      ⑥ ultra clay

核成不密切之結合，使黏土之化學作用類似鹽類，而於水溶液中可與他種鹽類或酸類發生二重分解作用①。



以上之作用，膠體化學家名之為鹽基代換作用②。此作用不但與植物之養育關係極重，且可生成具有特性之土壤，類如酸性土，鹼性土，中和性土。茲分別述之：

1. 酸性土 酸性土之生成，由於氫黏土③之存在。所謂氫黏土者，即黏土所含之代換性鹽基多半為氫素離子也。土壤中因施用酸性肥料，或有機物之腐爛，時常有酸類生成。此酸類之氫離子與黏土之代換性鹽基交換位置，使黏土之吸收體多為氫素離子，而鹽基與酸根化合生成鹽類後，由滲濾作用而流失，復由氫黏土之加水分解作用，而使土壤現酸性反應。



2. 鹼性土 鹼性土之生成，由於鈉黏土④之存在。土壤中若鈉

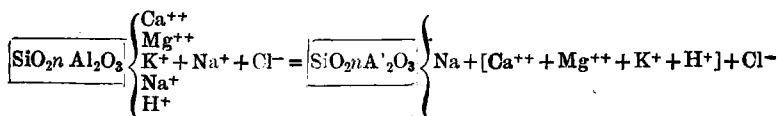
① double decomposition

② base exchange

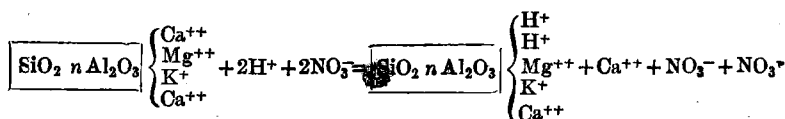
③ hydrogen clay

④ sodium clay

鹽聚積過量，則黏土之代換性鹽基必以鈉為主體。鈉黏土遇水而發生加水分解作用，則生成氫氧化鈉，於是使土壤現鹼性反應。



3. 中和性土 若土壤含鈣甚多，則黏土之代換性鹽基以鈣為主要體。有機物腐爛或肥料所發生之氮素離子可與鈣化合而中和之。



以上三種黏土之農業上的重要，及鈉黏土與氫黏土之改良方法於別節述之。(第六節，第十節，及第十二節)

#### 黏土之矽酸與氧化鋁分子比例<sup>①</sup>

由黏土之化學分析，乃知其所含之矽酸與氧化鋁有一定之分子比例，而此比例頗可代表土壤之各種特性。

用矽酸與氧化鋁分子比例者  $\left( \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} \right)$ ，以為氧化鐵不與矽酸化合，或以氧化鐵為偶然之成分，(見衛格納之黏土構造圖表)但魯賓生則以氧化鐵為黏土之必有成分，而應用矽酸與三氧化物之分

① silica and alumina molecular ratio

子比例  $\left(\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}\right)$ ，普通簡寫為  $\left(\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}\right)$ 。按羅素之意， $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例較為適用，故現代學者不用  $\left(\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}\right)$ ，而採用  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例。此分子比例之重要性列下：

1. 表示風化程度 普通矽酸鹽礦物之  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數為6。

若於乾旱氣候之土壤中，矽酸鹽礦物風化生成物之  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數為4。若於潮濕氣候中，則為4至2。

克魯若爾<sup>①</sup>指明黏土中  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數與雨量成反比例，而與溫度成正比例，換言之則  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數乃代表沖洗作用者。但沖洗作用不僅可洗失矽酸，代換性鹽基亦可洗失，是以此比例數高者，恆為中和性或鹼性土壤，且富含植物食料。比例數低者恆為酸性及缺乏植物食料之土壤。

2. 與膠體特性之關係 按莫特生<sup>②</sup>，黏土所含之  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數愈高，愈多需電解物以使其發生羣集作用。黏土所表示之膠體特性如黏性、塑性、懷水性等，於  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數在2及2以下之數時甚微，或完全無之。此比例數增至5至6時，則膠體性漸變強。

① Crowther, E. M.

② Mattson, S

第一七表  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數與懷水力及塑性之關係

黏土之成分(%)			$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 分子比例數	懷水%	備註
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O			
46.6	88.5	0.90	2.05	0	鬆黏土
47.0	38.7	1.20	2.06	0	陶土
46.8	37.6	0.88	2.11	5	鬆黏土
47.8	37.3	1.07	2.18	7	同上
47.6	36.3	2.16	2.23	19	硬黏土
49.3	31.4	1.12	2.66	44	塑性黏土
44.6	20.0	1.53	3.77	79	沖積土
46.7	20.2	1.02	3.90	101	塑性黏土
68.3	16.6	1.66	6.96	261	Bentonite

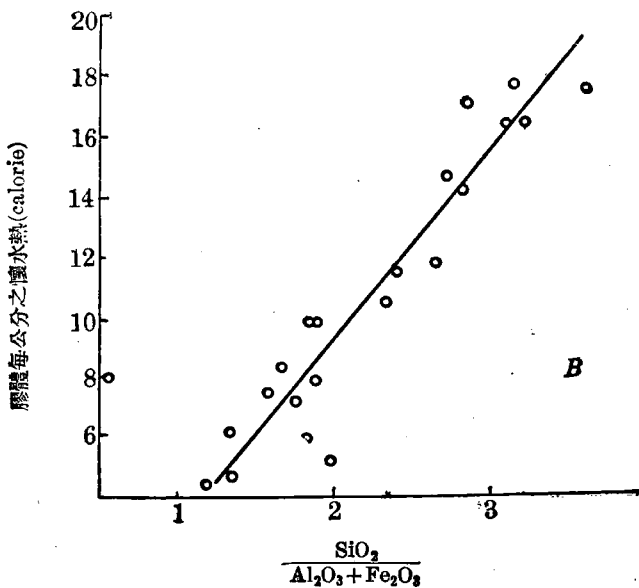
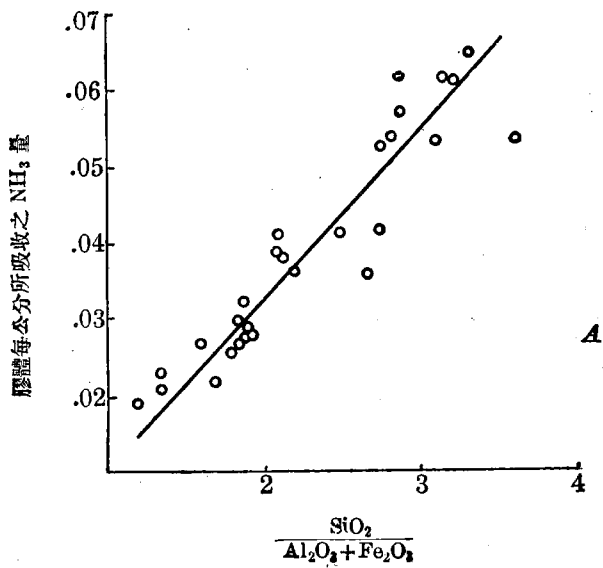
按莫特生黏土之鹽基代換力及吸收力亦與  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數並增

第一八表  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數與離子代換之關係

(每一公分自然土壤膠體之代換力)

$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 分子比例數	每公分之代換數的公絲等數 ①
0.55	0.164
1.63	0.264
1.89	0.331
2.82	0.671
3.18	0.796
3.82	0.947

① milligram equivalent



第一圖 黏土之化學成分與其性質之關係

3.  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數與土壤分類 按氣候的或形成的土壤分類, 以土壤之風化程度或土壤與氣候之接觸的程度為分類根據, 是以各種氣候性土壤中之黏土部分有一定之  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  分子比例數。例如磚紅土者為 1.33 及其以下之數, 而磚紅土類土壤者為 2-1.33. 2 以上者為黃色土, 棕色土等。

### 參考書:

- Robinson, W. O., and Holmes, R. S.: The chemical composition of soil colloids. Bull. no. 1311, U. S. D. A., 1924.
- Hall, A. D.: The mechanical analysis of soils and the composition of the fractions resulting therefrom. Journ. of Chem. Soc., 85:950-963, 1904.
- Hendricks, J., and Ogg, W. G.: The composition of the soil and of the mineral particles which compose it., Journ. Agr. Sci., 7:458-469, 1916.
- Marchand, B. de C., and Van der Merwe, C. R.: On the composition of the fractions separated by mechanical analysis from some Transvaal soils., S. Afr. Journ. Sci., 22:104-118, 1925.
- Edginton, G.: The influence of substituted cations on the properties of soil colloids., Journ. Agr. Res., 38: 567, 1929.
- Bradfield, R.: The chemical nature of colloidal clay. Journ. Am. Soc. of Agron. 17:253-270, 1925.
- Wiegner, Georg., Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung., 5th. ed. pp. 98., 1929, Dresden.
- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. p. 139., The Macmillan Co., New York, 1930.
- Hendricks, S. B. and Fry, W. H.: The result of x-ray and mineralogical examination of soil colloids. Soil Sci., 29:457-476, 1930.
- Ross, C. S.: The mineralogy of clays. Proc. 1st Int. Congr. Soil Sci., 4:555-561, 1928.
- Marshall, C. E.: The orientation of anisotropic particles in an electric field.

- Part I. General. Part II. Application to the determination of the double refraction of clays. *Trans. Faraday Soc.*, 26:173—189, 1930.
- Bouyoucos, Georg. J.: The effect of the colloidal content upon the physical properties of the soil. *Journ. Am. Soc. Agron.*, 17—285—294, 1925.
- Joseph, A. F.: Clays as soil colloids. *Soil Sci.* 20—89—94, 1925.
- Crowther, E. M.: The relationship of climate and geological factors to the composition of the clay and the distribution of soil types. *Proc. Roy. Soc. B.*, 107:10—30, 1930.
- Mattson, S.: Laws of soil colloidal behaviour. II. Cataphoresis, flocculation, and dispersion. *Soil Sci* 23:373—409 1929.
- Robinson, G. W.: *Soils, their Origin, Constitution, and Classification.* Chapt. II. pp.8—37, Thomas Murby & Co. London, 1932.
- Russell, E. J.: *Soil Conditions and Plant Growth.* 6th ed., chapt. III, pp. 150—249. Longmans, Green & Co. London, 1932.



## 第二章

### 土壤之有機物成分

#### 第三節

#### 土壤有機物及其變化

有機物對於植物生長之利益，早已受農人及學者之注意。我國農民於二千年前已知綠肥之功用及用法，禮記與齊民要術均有記載，至於人糞尿與廐肥之施用恐較此尚早。

法國學者柏利塞①於1563年曾云：『吾人須知，施廐肥於田中，乃歸還由土壤中所取出之物質也。……植物遺體於燃燒之後，即成鹽質，藥物學家與哲學家名其為鹼質②。不論何種植物皆含鹽類，將其歸還於田中，土壤即可變肥。燃燒麥稈於田中，即使變為肥料，蓋如此即歸還其由土壤中所取出之物質也。』

格勞博③(1656)認確為植物惟一之食料，並指明其來源為糞尿，毛髮，骨角等。但桂貝爾④(1741)則以植物之惟一之食料為腐植質所含之一種物質。此說於該時頗得一般學者之贊許，尤以王路里亞斯⑤(1761)及當登那子爵⑥(1795)贊助最力。至厚謀⑦與得尙舍⑧(1804)以化學方法研究植物營養問題以來，植物食料之種

① Palisey, B. ② Alcaly ③ Glauber, J. R. ④ Kübel, J. A.

⑤ Wallerius, J. G. ⑥ Earl of Dundonald ⑦ Home, Francis.

⑧ de Saussure, Th.

類，功用，及吸收，利用等問題已逐漸闡明，然有機物在植物營養上之直接與間接的關係，則研究愈進步，愈覺重要。許來那<sup>①</sup>曾云：『做成肥沃土壤之因子爲有效之有機物而非土壤中所含之植物食料量。』誠由經驗中所得之結論也。

今日之研究土壤有機物者，不僅於方法上日益求精，俾可確定其成分，性質，及變化。即微生物學，膠體化學，生物化學的新原理，新發現，及新方法，莫不盡量取用以作新的探討，尤以腐植質之人工製造對於一般學者之興趣最爲濃厚。

土壤有機物之來源 土壤中之有機物以植物之遺體及由人工所施用之有機肥料，如綠肥，廐肥，堆肥等爲主要來源，而以土壤生物及動物之遺體爲次要者。（參照卷上第十二節）土壤中之動物遺體爲量甚微，且分解極易，故土壤有機物之成分幾皆爲植物體化合物，是以於討論有機物之變化時，僅就植物體立論足矣。（關於土壤有機物之含量，分佈，增益，損失等見卷上第十二節）

### 土壤有機物之成分

土壤新鮮有機物所含之化合物爲植物於生長之際，吸收土壤中之水分與鹽類，空氣中之二氧化碳氣，受日光之力，所組成之有機化合物。此種化合物，按成分而分類，可簡分爲三組：

1. 醣類<sup>②</sup> 醣類包含易於分解之糖類與澱粉，較不易分解之纖維質與半纖維質，及極不易分解之木素<sup>③</sup>。糖類之化學成分爲

① Schreiner, O. ② carbohydrates ③ lignin

$C_6H_{12}O_6$ ，而澱粉與纖維質等者以  $(C_6H_{10}O_5)_n$  代之，蓋此種化合物皆為多數  $C_6H_{12}O_6$  分子去水結合而成，惟其分子量極高，故以  $C_6H_{10}O_5$  代表糖類去一分子水後之元子比例量，而以  $n$  代分子之數目。凡  $(C_6H_{10}O_5)_n$  化學公式所代表之化合物皆名之為多糖類①。木素存在於木質中，細胞之組織中亦有之，普通植物體之木素含量亦頗可觀。(見下表)木素之成分尙未確定，分解亦極困難，惟其於分解之後，生成類似腐植質之物質，而天然腐植質中，含木素亦甚多，故其對於腐植質之成分及生成上的關係頗有科學興趣也。

#### 第一九表 植物體中之木素含量(百分率)

水苔②	9—13
穀類秸幹	18—22
蘆葦幹	28—37
木質	28—37
核果殼	—47

2. 脂肪與臘 植物化合物中，以碳，氫，氧三元素所化合而成，但不屬於碳類者尙有脂肪與臘質。脂肪為脂肪酸與三個 OH 元子團③之醇④化合而成之酯⑤，而臘質則為脂肪酸與一個 OH 元子團之醇所化合而成之酯。二者皆為植物之普通化合物。脂肪存在於種籽或其他食物儲藏處。大豆，芝蔴，油菜等之工業上的價值即在其多含脂肪。臘質附於果實或葉之表面，以作保護體而阻止水分之蒸發。二者皆不易分解，分解後皆生成脂肪酸。

3. 蛋白質及其他含氮化合物 蛋白質為有機化合物之含有碳，氫，氧，氮，及硫者，乃植物原形質之質體。銨基酸結合而成蛋白質，

① polysaccharides ② sphagnum ③ OH atomic group ④ alcohol ⑤ ester

其分子量極高，普通以  $R-CH \cdot NH_2 \cdot COOH$  代之。植物之蛋白質成分爲量雖不若醣類之多，但其對於植物之生長有極重要之關係，而其分解之後，可作土壤微生物及植物之食料，故爲土壤有機物之重要成分。

非蛋白質之有機氮化合物種類甚多，但在土壤有機物中，堪稱重要者僅來西生<sup>①</sup>與尿素二種。來西生得之於種籽中，豆類所含尤多。因其含有磷素，故分解之後可供給植物以磷素食料。尿素爲厩肥，及人糞尿中常有之化合物，爲土壤中最良之有機氮素肥料。

普通農田中之植物遺體與天然植物社會所遺留者，大有分別。農田中之植物遺體幾不含澱粉與糖類及脂肪，蓋此三者已用作製造種籽，果實，根葉等之原料。農人收穫此三種植物體以作食料，故所遺留者僅秸幹之類，其成分以纖維質爲主體。至於天然植物社會所遺留於土壤中之有機物與人工施於農田中之有機肥料，則成分極爲複雜。下表所列爲數種植物遺體之代表成分。表中之數目字爲乾物質<sup>②</sup>之百分率成分。

第二〇表 數種植物質之成分(浦倫夏謀<sup>③</sup> 1931)

	纖維質	Pentosan	木素	粗蛋白質	樹脂，臘質	灰分
藎草	28.50	13.52	28.25	9.31	2.00	6.05
筱麥秸	35.43	21.33	20.40	4.70	2.02	4.81
大麥秸	32.92	21.45	18.66	3.20	1.40	5.56
玉米棒	37.66	31.50	14.70	2.11	1.37	1.80
玉米粥	30.56	23.54	15.13	3.50	0.77	6.15
稻秸	31.99	27.67	18.48	5.33	0.51	5.43
冬季穀類作物秸	43.27	21.67	21.21	3.00	0.67	4.33

① lecithin ② dry matter ③ Pringsheim, H.

植物遺體之元素成分，亦可表示有機化合物之性質。下表所列爲得吳拉克①之分析結果。

第二一表 植物遺體之元素成分(乾物質百分率)

	C	H	N	O	灰分
松針	41.96	3.98	1.42	21.07	31.57
橡葉	49.11	6.12	1.71	29.38	13.68
麥秸	47.01	5.66	0.82	38.61	7.90
苜蓿幹	43.28	5.86	1.95	38.54	10.37

苜蓿幹之氮與灰分含量，幾倍於麥秸所含者。農田中之植物遺體，以豆科植物者爲最佳，由上列成分觀之，其理自明。

新鮮植物遺體與所施之有機肥料，不能在土壤中長久保存其新鮮狀態，而必於短期內起始分解，使新鮮有機物變爲分解生成物②。分解生成物有中間性化合物③，亦有分解完成之化合物，是以有分土壤有機物爲(1)新鮮有機物，(2)迅速分解之有機物，及(3)分解完成之有機物者。但此種分類方法十分含混，少含化學意義。

以氫氧化物處理土壤有機物，根據溶解情形，可將其分爲下列四組：

1. 稀薄氫氧化物溶液不能溶解之部分——此種有機物，以稀薄鹼溶液處理之時；雖經長久時間及熱至 $100^{\circ}\text{C}$ ., 不能溶解。此部分包含所謂之『腐植炭④』，即有機物之多含碳而少含氧與氫者。舊

① Dvůrák, J.    ② decomposition product    ③ intermediate compound

④ humic carbon

時代學者名此部分爲 humin 或 ulmin。

2. 稀薄氫氧化物溶液可溶解者——以百分之 1.5 至 5 NaOH 溶液於一氣壓之壓力下溶解之，或冷溶之，然後以鹽酸沈澱之，即得一成分有定之沈澱物，其氮的成分普通爲 2% 至 4%，(由泥炭中提出者較少)灰分成分甚低，約百分之一。學者名此部分爲腐植質之  $\alpha$  部分。

3. 溶解性與 2 同之部分——此部分可以稀薄鹼溶液提出，但必須於 pH 在 4.6—5.0 時始可沈澱。沈澱物之成分與 2 同，惟灰分中之物質幾皆爲鋁。學者名此部分爲腐植質之  $\beta$  部分。

4. 由於鹼的處理而變爲可溶性者——即所謂之 crenic, apocrenic, 或 fulvic 酸。

總之，土壤有機物之成分，極度複雜，欲明其究竟，須由其分解中之各種變化上求得之。

### 土壤中之微生物

土壤有機物之變化，雖不無純粹的化學作用，然以生物的化學作用爲主體。土壤中有種類極繁，數目極夥之微生物生長於其中。此種微生物於生長之際，生成酵素<sup>①</sup>，以分解有機物，使變爲簡單化合物而爲己用以作食料，或取由分解而生出之熱以作其所需之力。土壤微生物各有一定之工作，各有一定之生活條件。於適當之生活條件中，其工作性質可簡分爲三項：

① enzyme

1. 破壞複雜有機物為簡單化合物，以作其食料。
2. 變化簡單有機化合物為無機化合物以求力。
3. 吸收土壤中之游離植物食料以生長及繁殖。

土壤生物之種類 吾人於未討論土壤生物之作用之前，應略知其種類，茲將其主要者，列表於下：

#### I. 土壤微生動物

- A. 土壤原生動物<sup>①</sup>——amoeba, flagellates, ciliates
- B. 線蟲 (nematodes)
- C. 昆蟲 蚯蚓 螞蟻

#### II. 土壤微生植物

- A. 藻類 (algae and diatoms)
- B. 菌類 (fungi)
  1. 酵母 (yeasts)
  2. 霉菌 (molds)
  3. actinomycetes
  4. 蘑菇菌 (basidiomycetes)
- C. 細菌 (schizomycetes)
  1. 自食細菌 (autotrophic bacteria)
    - a. 硝化細菌 (nitrifying bacteria)
    - b. 硫化細菌 (Sulfofying bacteria)
    - c. 鐵化細菌 (iron bacteria)

① protozoa

- d. 氫化細菌 (hydrogen bacteria)
- 2. 混食細菌 (heterotrophic bacteria)
  - a. 氮氣固定細菌 (nitrogen fixing bacteria)
  - b. 氮化合物吸收細菌 (nitrogen consuming bacteria)

土壤原生動物，生長於多含水分及高溫度之土壤中，以細菌作其食料，溫室土壤及熱帶之潮濕土壤中多有之，其對於土壤有機物之影響，僅於減低細菌之數目後，間接的阻止分解速率。線蟲與昆蟲皆可混合土壤有機物，或以有機物為其食料。

藻類有葉綠素，其生活所需之條件與高等植物相同，可製造澱粉而增加土壤有機物之量。

土壤菌類中，除酵母之工作為發酵澱粉與糖類外，其他者對於有機物之分解皆有重要工作。

硝化細菌之工作為氧化銨為亞硝，或亞硝為硝。其生活條件為中和性或微呈鹼性之反應，與中常之溫度與濕度，及空氣流通之土壤。

硫化細菌之工作為氧化硫素或硫化氫為硫酸以求力，其生活條件與硝化細菌者略同，惟其抵抗酸性之力特強。

鐵化細菌之工作為氧化鐵以求力，而氫化細菌者為氧化氫或氫化合物以求力。

氮氣固定細菌之工作，為消耗土壤中或豆科植物之醣類，以固定氮氣，而為食料。其生活條件為充足之醣類，磷酸，及加里之供



給,中和性反應,並中常溫度與濕度,以及充分流通空氣。

氮化合物吸收細菌之工作為吸收土壤中之有機及無機氮化合物以作食料。其種類甚繁,生活條件亦複雜。

土壤生物之數目 土壤中之微生物,以細菌之數目為最多,菌類次之,其他者更次之。其在土壤中之分佈,以表土中為最多,愈入下層則愈減少。

第二二表 土壤中微生物之數目(每土壤一公分所含之百萬數)

土壤種類	深度	細菌數目			酵母	菌絲數 <sup>①</sup>
		球菌 <sup>②</sup>	氮氣菌 <sup>③</sup>	桿菌 <sup>④</sup>		
林地壤土	表土	1,379	156	1,212	1	49
	10 cm.	991	82	466	31	34
	20 cm.	281	188	169	—	7
棕色土壤	表土	870	188	376	84	5
	10 cm.	569	184	103	1	3
	表土	519	155	192	79	3
沙性土	10 cm.	407	112	153	23	19
	20 cm.	267	51	139	8	3

土壤之物理及化學性質,大可影響微生物之種類及數目。下表所列為七種迥然不同之土壤所含各種不同生理性之細菌的數目。

第二三表 各種不同生理性細菌之分佈(杜基里)<sup>⑤</sup>

	菜園	葡萄園	農田	草原	闊葉林	針葉林	沼澤地
潤濕土之水分含量	17.9	11.1	18.1	17.0	17.6	21.2	37.2
CaCO <sub>3</sub> 百分率	4.7	10.1	5.0	11.4	2.8	0	7.6
尿素分解細菌 <sup>⑥</sup>	37,000	23,500	8,500	5,200	20,000	8,800	2,500

① mycelium ② cocci ③ nitrogen bacteria ④ bacillus ⑤ Duggeli, M.

⑥ urea decomposing bacteria

硝酸還原細菌①	830	1,720	400	850	230	380	370
嫌氣性蛋白質分解細菌②	35,000	5,500	22,000	33,000	700	17,000	2,000
嫌氣性纖維質分解細菌③	367	367	350	367	0.8	17.7	1.1
好氣性氮氣固定細菌④	2,350	537	1885	18	17	0	17
嫌氣性氮氣固定細菌⑤	5,500	2,050	700	370,000	517	2,020	67
硝化細菌	880	3,884	1,701	37	0	0	34

酸性土壤中，菌類數目較多，而中和性土壤中，則細菌繁殖較速，可由金生⑥之結果見之。

第二四表 碳酸鈣之施用與土壤微生物之種類

	泥 炭 土 壤				沙 性 土 壤				沙 性 黏 土			
	pH	菌數 (千個)	細菌數 (百萬個)	菌 (百分率)	pH	菌數 (千個)	細菌數 (百萬個)	菌 (百分率)	pH	菌數 (千個)	細菌數 (百萬個)	菌 (百分率)
未施石灰	3.7	610	0.84	0	4.7	341	5	61	5.8	127	8	33
施石灰	7.5	393	394	21	7.6	365	23	35	7.6	120	17	20

由土壤微生物之數目與種類的研究，吾人已知凡肥沃土壤中，微生物之數目必甚夥，而尤以細菌為最多。微生物數目愈多，則有機物分解必愈速，而土壤中之應用植物食料的給源，即可長久維持而無斷缺之時。

### 土壤有機物之變化

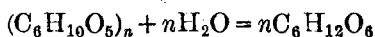
土壤有機物之分解作用的化學原理，即反其組成程序，逐級破

- ① denitrifying bacteria ② anaerobic protein decomposing bacteria  
 ③ anaerobic cellulose decomposing bacteria ④ aerobic nitrogen fixing bacteria  
 ⑤ anaerobic nitrogen fixing bacteria ⑥ Jensen, H. L.

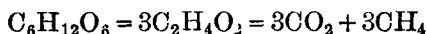
壤，而成簡單之無機化合物，是以於討論其變化之時，應依其化學構造，而分別述之。

纖維質之分解 纖維質與澱粉等為簡單糖類之結集化合物①，或其酐類化合物②，即簡單之單糖類③ 去水結合而成。其所含之單糖類分子數無定，故其成分以  $(C_6H_{10}O_5)_n$  代之。

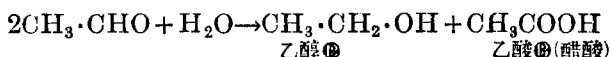
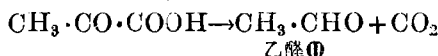
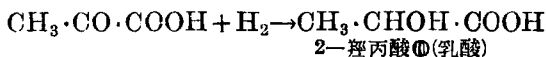
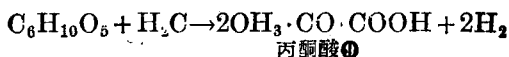
厚樸-塞羅④ (1886) 以纖維質之分解分為二個步驟。第一步為加水分解⑤，所生成之化合物為葡萄糖：



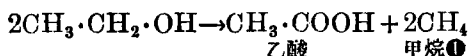
第二步為將葡萄糖破壞而生成二氧化碳氣與沼氣：



温伊特生⑥ 以纖維質之分解為好氣性與嫌氣性二種作用，各有一定之分解主使，各有一定之生成物。按今日學者所知者，嫌氣性分解之生成物為有機酸，二氧化碳氣，沼氣及氫氣等。林謀⑦ 與賴衛⑧ 以下列公式表明之：



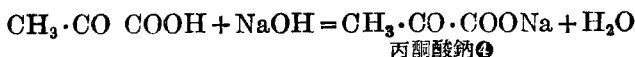
- 
- ① condensation compound    ② anhydrates    ③ monosaccharides  
 ④ H. ppe-Seyler, F.    ⑤ hydrolysis    ⑥ Van Iterson, C.    ⑦ Lymn, A.  
 ⑧ Langwell, H.    ⑨ pyruvic acid    ⑩ lactic acid    ⑪ acetaldehyde  
 ⑫ ethyl alcohol    ⑬ acetic acid



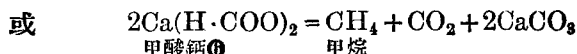
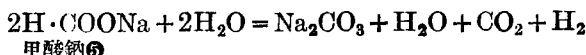
乳酸亦可破壞為酪酸②：



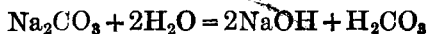
纖維質分解所生成之有機酸的變化為與鹽基化合而生成鹽類：



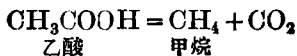
如此而生成之鹽類，可為土壤微生物利用之，以作力之給源，而生成無機碳酸鹽：



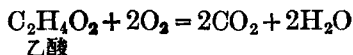
微生物於分解纖維質之際，常使培植基變為鹼性反應，其原理乃由於所生成之碳酸鈉或碳酸鉀為一弱酸與強鹼之鹽類，與水化合後生成強鹼與弱酸，故現鹼性反應。



有機酸亦可直接分解為簡單化合物：

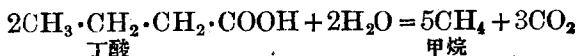


或氧化為簡單化合物：



或加水分解為簡單化合物：

① methane    ② butyric acid    ③ propionic acid    ④ sodium pyroracemate  
⑤ sodium formate    ⑥ calcium formate



細菌, 菌類, 及 actinomycetes 中皆有能分解纖維質者, 但種類甚少, 而生活條件亦甚苛。按金生之研究, 施廐肥, 禾稽, 或濾紙(純纖維質)於土壤中, 所繁殖之微生物的種類, 受土壤之反應及流通空氣情形之支配:

酸性反應: pH 4 或以下, 以菌類為最多, 其中之主要者為 trichoderma 及 penicillium。

弱酸性反應及中和性反應: pH 5.5 或過之, 細菌為最多。

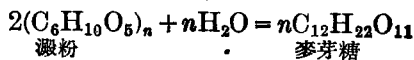
流通空氣, pH 5.5—6, 細菌最多, 主要者為 Spirochaeta。

pH 7, 亦以細菌為最多, 但主要者為小桿菌 (vibrios)。

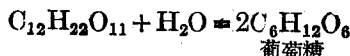
不流通空氣, 細菌最多, 主要者為 Clostridia, Coccospora agricola, Botryosporium sp.

纖維質分解之速率, 不論在何種情形下, 以氮之供給為主要條件; 氮之供給量愈多, 分解愈速。磷與鉀及石灰之施用, 皆可催速分解之速率。以禾幹製造人工糞之原理, 即以此為根據。(參照劉和著肥料學講義第 160 頁)

澱粉及其分解 澱粉亦為多醣類化合物, 其化合成分為  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 故其與纖維質之分別, 僅多含一分子之水耳。澱粉較纖維質易於分解, 其分解程序為由細菌, 菌, 及 actinomycetes 所發生之酵素 (diastase) 之作用, 使其加水分解而生成麥芽糖, 再使麥芽糖分解為葡萄糖。



澱粉  麥芽糖



葡萄糖

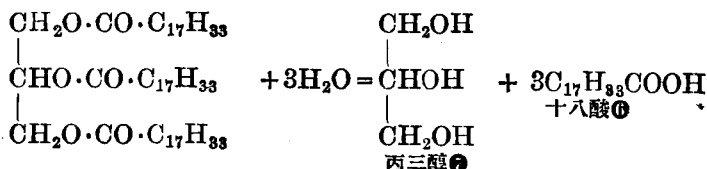
澱粉於特種情形之下，亦可分解為蟻酸，醋酸，酪酸，乳酸，醇①，醛②，丙酮③，氫，及二氧化碳氣。

上述各種分解生成物之進一步的變化，與由纖維質分解所生成者相同。

分解澱粉之細菌甚多，如好氣性細菌中之 *Bac subtilis*, *Bac. cereus*，及嫌氣性細菌中之酪酸細菌④，皆為土壤中極普通之細菌。纖維質分解細菌中，亦多有能分解澱粉者。菌類中之能分解澱粉者，有 *Asp. oryzae*, *Asp. niger*, 及 *Amylomyces boidin* 等。

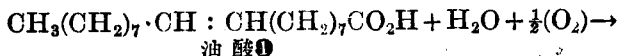
脂肪與臘質及其分解 植物遺體與動物遺體皆含脂肪，而土壤微生物亦能組成脂肪。脂肪分解甚緩，且以水分為主要條件，濕土中分解較速，乾土中則幾無分解作用。魯博納⑤曾以乳油施於土壤中，而測其分解速率。經一年後，僅分解 22.9%，而十二年後，僅分解 38.1%。

脂肪之分解為加水以分離脂肪酸及醇：



① alcohol ② aldehydes ③ acetone ④ butyric acid bacteria

⑤ Rubner N. ⑥ stearic acid ⑦ glycerol



徐來那③ 已證明土壤中含有二羥十八酸，菌類細胞中亦有之。

分解脂肪之微生物以菌為主要者，細菌僅有數種。

臘質之化學性與脂肪相仿，故其分解程序與脂肪者相同。

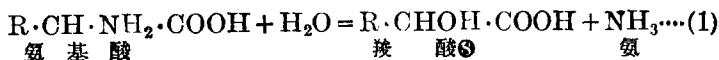
蛋白質及其分解 以酸或鹼處理蛋白質，則發生加水分解作用而破壞為氨基酸④，此為普通之化學的分解作用，而細菌的分解作用，亦不出乎此原理。

蛋白質之分解分為四個步驟：

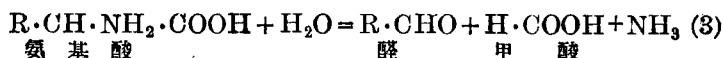
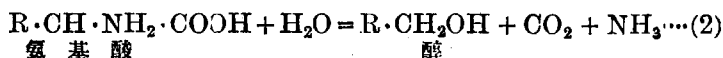
1. 加水分解生成蛋白質衍生物⑤——albumoses, peplones, 及氨基酸。
2. 脫氨基而生成氨，名之為氨化作用⑥。
3. 生成次生化化合物如胺⑦之類。
4. 分解完成而生成簡單化合物  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  及  $\text{NH}_3$  等。

蛋白質之分解程序中，以氨之生成，最有科學意味，而實用方面，亦多含研究價值，因其有關於植物之營養也。蛋白質分解而生成氨之作用，名之為氨化作用，其化學上的變化總有五種：

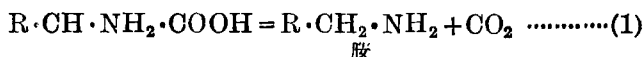
1. 加水分解以脫氨，此乃好氣性微生物之工作：



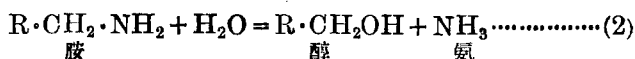
① oleic acid ② di-hydroxy stearic acid ③ Schreiner, O. ④ amino acid  
⑤ derivatives ⑥ ammonification ⑦ amine ⑧ carboxylic acid



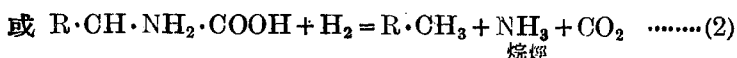
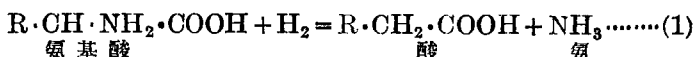
2. 脫碳而生成胺及二氧化碳氣，屬於腐敗性之分解：



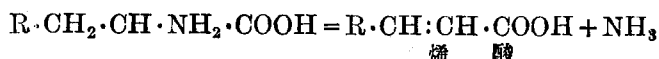
胺加水分解而解放氨：



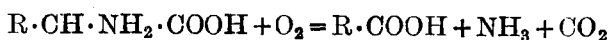
3. 由還原作用而生成有機酸及氨，或二氧化碳氣及氨，此為嫌氣性細菌之工作：



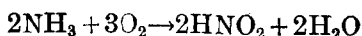
4. 直接破壞而解放氨，為嫌氣性細菌之工作：



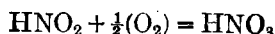
5. 好氣性細菌氧化蛋白質而生成氨：



由氨化作用所生成之氨，受硝化細菌 (nitrosomonas) 之作用，氧化之為亞硝，名之為亞硝化作用。



亞硝受硝化細菌 nitrobacter 之作用，氧化之為硝。

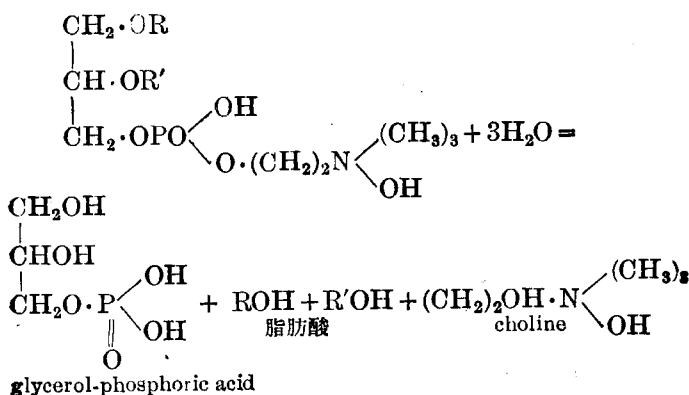


氨化作用以細菌之工作效率較高，菌中僅 *A. niger* 或亦有此



能力。氮化細菌之種類甚夥，但其中以 *Bac. mycoides*, *Ps. fluorescens*, *Ps. caudatus* 三者之工作力最強。至於硝化作用，則僅 *nitrosomonas* 與 *nitrobacter* 二種細菌有此能力；前者氧化氮為亞硝，後者氧化亞硝為硝。氮化作用既為多種細菌之作用，因而亦無一定之生活條件，凡物理性良好之土壤，施有機氮素肥料後，若水分與溫度正常，則二三日內，即可有氮發生。氮生成後即時可氧化為硝，或為土壤所吸收。硝化細菌之生活條件較苛，主要要求為中和性反應，充足之空氣，與較低之水分。是以生長於酸性反應之泥炭或森林土壤中之植物，以及水生植物如稻，皆可吸收氮以作氮素食料，而棉麥等旱田植物，則恆吸收硝以作氮素食料也。

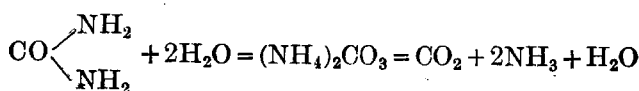
非蛋白質之含氮有機化合物及其分解 非蛋白質之含氮有機化合物種類甚繁，但有討論價值者，僅來西生①與尿素②二種。來西生之初步分解為加水分解，而生成脂肪酸與 choline。



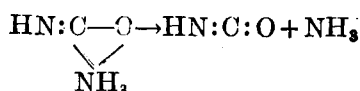
① lecithin ② urea

choline 分解為氨，三甲胺①，二氧化碳氣，及沼氣。(甲烷)

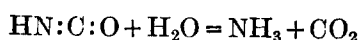
尿素之分解含有二種不同之細菌作用。土壤細菌中有可加水分解尿素而取力者，分解生成物為碳酸銨，碳酸銨復分解為二氧化碳氣，氨及水。



尿素酵素② 分解尿素時，則生成氰酸③：



氰酸復加水分解為氨及二氧化碳氣：



施有機氮化合物於土壤中之後，若土壤之碳與氮的比率為 10(C/N=10)，則可發生脫氨作用，而生成游離之氨。若此比率高於 10，則所生之氨皆為土壤微生物所取用。故氮素肥料之碳與氮的比率必須低於 10，或施用氮素肥料使土壤之碳與氮的比率低於 10，始可現肥田效力。

其他有機化合物之變化 植物遺體化合物中，有能毒害植物者。有機物分解生成物，亦有能毒害植物者。此種物質若存留於土中，當可發生不良結果。幸而土壤細菌中，有可破壞此種物質者，將其氧化之以求力，或將其破壞之以作食料。

土壤中之毒害植物化合物有酚類④，其衍生物，及芳香化合

① trimethylamine ② urease ③ cyanic acid ④ phenols

物①如香草精②等。萬格納③於 1914 年由土壤中取出細菌數種，可氧化酚類，苯④，二甲苯⑤，xylene, catechol 及相仿之化合物。尙騰⑥與格雷⑦由英國土壤中取出數種細菌，可氧化酚類，toluene, cresol 及萘⑧。格雷 (1928) 由土壤中取出細菌二種可氧化 indol, urine 而取其氮。金生 (1930) 由土壤中取出 actinomycetes 二種，可破壞 keratin 為氨基酸。總之，若土壤狀態適宜，則有機物必於短時間內變為無機化合物，否則中間化合物聚積，而植物遂受其惡影響矣。

土壤有機物之分解與腐植質之生成 遺留於土壤中之動植物體與施於土壤中之有機肥料，所含化合物之種類甚多。土壤微生物之分解作用起始之後，各種化合物皆漸失其原有成分，而動植物體之形態亦同時損失，結局乃生成一種黑色之膠體有機物。此物質之成分與化學構造雖尙未能完全明瞭，但其為土壤中之重要份子，則早已認明。此物質即所謂之腐植質也。(關於腐植質之生成及功用等於下節詳細討論之)

### 有機物對於土壤之化學作用

有機物為土壤中最有化學活動力之物質，凡土壤中物理性，化學性，及生物性之變化，莫不受有機物之支配。沙特⑨將其作用總為七條，茲分別列之於後。

- 
- ① aromatic compounds    ② vanilin    ③ Wagner, R.    ④ benzene  
 ⑤ toluene    ⑥ Thornton, H. G.    ⑦ Gray, P. H. H.    ⑧ naphthalene  
 ⑨ Salter, F. J.

1. 影響無機物之溶解性 水對於土壤礦物之溶解力甚弱，但土壤水分之溶解力則較高，蓋其中含有有機物分解所生成之酸類及鹽類等。羅素曾云，有機物分解之結果為生成酸根，每酸根必須與一等價鹽基化合，若水溶性鹽基缺乏，則必溶解礦物以求之也。

2. 對於土壤反應 土壤變為酸性反應之原因甚多，(見第十節)但其主要者為鹽基之損失。由第一條之所述，可見有機物之分解為使土壤發生酸性反應之主因。

3. 吸收作用 土壤吸收複合體之吸收力為有機物之能力。土壤有機物於分解之際，生成膠體之腐植質，此物質之膠體作用，較黏土者且可過之。

4. 供給應用氮及礦質植物食料 土壤中之氮以百分之 95 屬於有機物，而其磷之百分之 33 為有機態，大量之鉀，鈣，硫亦包含於有機物中。此種植物食料一部分為作物所取用，一部分作土壤微生物之食料，微生物死亡後，其細胞分解，復可變為作物之食料。

5. 土壤中之碳與氮的比率常維持一常數關係 (10 : 1) 普通有機物之碳與氮的比率為 80 : 1，經土壤微生物之分解作用後，此比率即變為 10 : 1，然後即維持一平衡狀態。碳與氮比率愈寬之有機物分解愈緩慢，而其比率窄者(棉粉，豆餅)分解較速。

6. 硝酸還原作用 多含碳之有機物如禾稻，施用於土壤中後，不僅分解甚緩，且可促成硝酸還原細菌之繁殖，亦可促進菌類之生長，前者破壞硝酸使其損失，後者吸收硝酸以作食料而與作物競爭，使土壤呈缺乏肥料現象。

7. 毒害物質之生成 許來那與向雷已證明肥沃之土壤中常有能毒害植物之有機化合物。此種化合物爲有機物分解之中間性生成物，可用施肥，耕耨，排水等方法去之。

參考書：

- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. Chapt. 13. The Macmillan Co., New York. 1930.
- Iterson, C. van: Die Zersetzung von Cellulose durch aerobe Mikroorganismen. Centr. Bakt. Par., Abt. II, 2:689-698. 1904.
- Jensen, H. L.: The Fungus Flora of the Soil. Soil Sci. 31:123-158. 1931.
- Robinson, G. W.: Soils, Their Origin, Constitution, and Classification. Chapt. VI. Thomas Murby Co., London. 1932.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., Chapt. I, III, V, and VII. Longmans, Green Co., London. 1932.
- Waksman, S. A.: Principles of Soil Microbiology. 2nd. Ed., Chapt. I, VIII, XVI, and XVII. The Williams & Wilkins Co. 1932.

劉和 土壤學 卷上 第十二節 商務印書館 民國二十二年

化學命名原則 國立編譯館 民國二十一年

## 第四節

## 腐植質

腐植質一物，自今尙無適當定義。有以迅速分解之土壤有機物爲腐植質者，但事實上腐植質之分解速率，有時不若新鮮有機物之迅速。有定義其爲有效有機物者，但此定義僅能指明其功用，且腐植質未必皆爲有效者。有以腐植質指土壤所含之黑色膠體物，可以鹼提取，及以酸沈澱之部分，其不能以鹼提取者，名之爲腐植素①。有謂腐植質爲有機物分解至某種程度後，變爲成分有定，及分解速率變緩之物質，而歐陸學者，則常將土壤有機物統名爲腐植質。

學者對於腐植質之見解的不一致，乃由於其化學性之未能完全明瞭，是以不能以嚴格的科學名詞將其範圍，而與吾人以明漸之了解。

腐植質之研究經過 農業科學於萌芽之時代，化學家即欲對於腐植質一物予以深切之認識。吳魁林② 於一七九七年曾由土壤中取得腐植質；其法先以酸處理土壤以去鹽基，然後以鹼溶解腐植質，而加酸以沉澱之。施普倫蓋耳③ 於一八二六年分腐植質爲酸性腐植質④ 及中和性腐植質⑤。前者生成於酸性土壤中，而後者生成於中和性土壤中。中和性腐植質較酸性者易於分解，其分解生成物

① humin ② Vauquelin, L. N. ③ Sprengel, Carl ④ acid humus

⑤ mild humus

爲  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$ 。施氏所用之方法，爲以淡鹽酸沖洗泥炭二小時之久，去其鹽基，而後以水洗出殘餘之鹽酸，隨即以氨水於不透氣之鍋中提取之，提出之液施以鹽酸使其沈澱，但未能得純體，故復溶解之於碳酸鈉中，過濾後，以冷鹽酸於濾液中沈澱之，乃得純體。如此而提得之腐植質，爲黑色之體，將酸洗淨之後，微有水溶性，通之以電，則向陽極游動，可知其具陰電性，與其他酸類相同。以鹽基處理之，則生成鹽類，其與鹼金屬化合而成者，可溶於水中，而其與鹼土金屬及重金屬所成者，則不能溶解。使其與碳酸鹽化合，則放散二氧化碳氣；而其與水溶性矽酸鹽化合時，則放散矽酸。此物質對於黏土及氧化鐵頗有愛力，生成複合體。將其乾燥之後，變爲亮黑體，易碎爲末，吸水性甚大，但不易溶解。與此相似之物質，曾以氫氧化鉀溶液於空氣中處理木質及植物遺體而製得。其所以於空氣中處理之原理，乃以氧氣或對於此物質之製成有作用也。

施氏之後學者對於腐植質之研究未嘗忽置之。一八六一年謀耳得①曾重複施氏之研究，但未能有新貢獻。直至今日始有新結果公諸於世。現代的研究，指明施氏之腐植酸含有可溶於酒精中之部分，其氫氧化鈉不能溶解者，卜塞利阿斯②命名爲腐植素③。此部分以熱鹼質處理之後即可溶解之。培基④於一九三〇年分土壤有機物爲下列之各部分：

① Mulder, G. J. ② Berzelius, J. J. ③ humin ④ Page, H. J.

土壤有機物(1)(註一)	
強色之腐植物質(2)	非腐植物質(3)
以鹼處理之	無色或近乎無色， (包含未腐爛之植物遺體)
100(註二)	
不溶解，腐植素(4)	可溶性腐植質(5)
31.7(B)(註三)	68.3(B)
24(S&S)(註四)	75.9(S & S)
20(S)(註五)	80(S)
以酸處理之	
不沈澱者(6)	沈澱者(7)
40.7(B)	27.6(B)
39(S & S)	36.9(S & S)
20(S)	80(S)
以酒精抽取之	
溶解者(8)	不溶解者
21(S & S)	腐植酸(9)
10—15(S)	15.7(S & S)
	40(S)

(註一) 凡一名稱後帶括弧之數目字表明部分。

(註二) 凡一名稱下不帶括弧之數目字代表各人所得之碳的成分之比例量。

(註三) (B) 爲卜塞拉特①與恩得來②之結果。

(註四) (S&S)爲許來那與向雷③之結果。

(註五) (S) 爲希莫克④之結果。

① Berthelot, M. ② André, G. ③ Schmuck, A.



上表所列任何一部分，皆非一單純化合物。許來那與向雷經六年之苦心研究，曾由第五部分中求得多數之化合物，於下表中見之：

沈澱於酸中者(即所謂之腐植酸<sup>①</sup>)

與 ulmic 酸)

resin acids.

resin esters.

glycerides.

paraffinic acid,  $C_{34}H_{66}O_2$ , 鎔點

45°—48°.

lignoceric acid,  $C_{21}H_{42}O_2$ , 鎔點

80°—81°.

agroceric acid,  $C_{21}H_{42}O_3$ , 鎔點

72°—73°.

agrosterol,  $C_{26}H_{44}O$ , 鎔點 237°.

phytosterol,  $C_{26}H_{44}O \cdot H_2O$ , 鎔點

135°.

不沈澱於酸中者(即所謂之 crenic

與 apocrenic acids)

dihydroxystearic 酸,  $C_{18}H_{36}O_4$ , 鎔點  
98°—99°.

a-picoline  $\gamma$ -carboxylic acid,

$C_7H_7O_2N$ , 鎔點 239°.

xanthine,  $C_5H_4O_2N_4$ .

hypoxanthine,  $C_5H_4ON_4$ .

cytosine,  $C_4H_6ON_3 \cdot H_2O$ .

histidine,  $C_6H_9O_2N_3$ .

arginine,  $C_6H_{14}O_2N_4$ .

pentosan.

奧登<sup>②</sup> 用現代之物理化學方法，指明不可溶解之腐植酸(第 9 部分)具有真酸類之所有各種特性：其 pH 價為 3.87—4.5。奧氏認此部分為一單純化合物，不含氮，其鹽基價為四，而其分子量約為 1350，其等重量<sup>③</sup>為 310；其所擬之化學公式為  $C_{60}H_{52}O_{24}(COOH)_4$ 。但其他研究家認此部分為一混合體，無一定鹽基價，而所得之等重量或化合量約為 600，即倍奧登之數：

奧登

300

番雷代會叢刊<sup>④</sup>，1922，17，289

① humic acid    ② Odén, S.    ③ equivalent weight    ④ Transactions of Faraday Soc.

希生克① 155—194 平均 176

國際土壤學會第二次會議叢刊② 1928, A, 198

塞愛生③ 與恩蓋多④ 800

實業工程化學雜誌⑤ 1930, 22, 1131

莫克喬治⑥ 400.

亞里如納佈告⑦ 30, 1930

滕奴爾⑧ 600(熱帶土壤)農業科學雜誌⑨ 1932.

710(荷蘭沙性土)(註一)

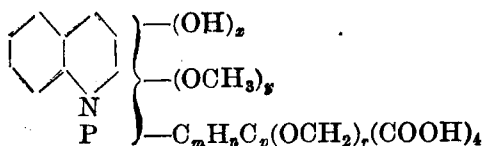
(註一) 用希生克之分析結果計算得者。

奧登與希生克所得之數目字，與其他者相差甚巨，蓋奧氏者代表腐植酸(第9部分)，而希生克者則代表腐植質複雜體之全部。

腐植酸是否含有氮素，學者間持論頗不一致。奧登認其不含氮素，但培基及其羅塞模斯台得試驗場同人未能將腐植酸所含之氮驅除，常有百分之五存在，故培基等認此量為腐植酸所必含有者。腐植酸加水分解後及生成類似植物蛋白加水分解所得之各種生成物，而各組化合物之比例數，亦與蛋白質加水分解所生成者相同。

總之學者已認明腐植質之成分中，包含一含氮之部分，及一不含氮之部分。美王得⑩ 總各研究家之所得，而創議下列公式以表示腐植質之化學性：

① Hissink, D. J. ② Second Comm. Inter. Soc. Soil Sci. ③ Thiessen, G.  
④ Engelder, C. J. ⑤ Ind. Eng. Chem. ⑥ McGeorge, W. T. ⑦ Arizona  
Bul. ⑧ Turner, P. E. ⑨ Journ. Agr. Sci. ⑩ Maiwald, K



培基對於腐植質之化學性略有異議，認腐植質為一不含氮之腐植酸與蛋白質複合而成者。腐植質之所以能表示鹽基性者，按培氏即由於蛋白質所含之胺基。

按莫克林①之所得，以過氧化氫處理有機物時，氧化作用之進行，可分為三個步驟，表示土壤有機物，含有三組之有機化合物：

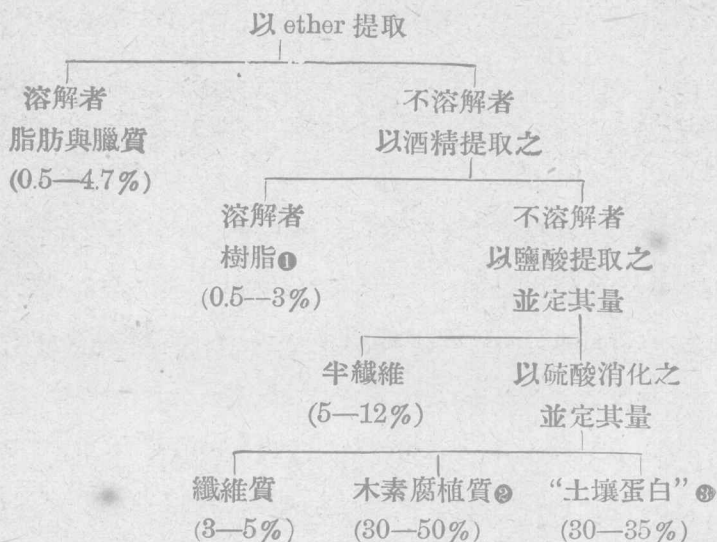
(1) 可以 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  氧化者，此組含有氮素(約 10 C:1N)，約佔土壤所含碳與氮之全量的 85%：顯然為蛋白質複合體與碳水化合物複合體所組合而成者。

(2) 較不易氧化之組，必用 6%  $\text{H}_2\text{O}_2$  始可氧化之，不含氮素，似屬於纖維質之類。

(3) 極固定之組，雖以 6%  $\text{H}_2\text{O}_2$  重複處理，不能分解，其成分中含有氮素。

王克斯門② 與施梯溫斯③ 曾用新法將土壤有機物分為下表所列各部分。

① McLean, W    ② Waksman, S. A.    ③ Stevens, K. R.



王氏與施氏之部分法，能包含土壤碳素之百分之 90 至 95，故其見地，頗堪注意。

化學分析土壤有機物之結果，指明在化學成分上，腐植質為極端複雜之物質，學者於此時尚無法將其所含之化合物一一舉出，且於下列二點觀之，可知各處所取之腐植質不能有相同之成分：

(1) 各處不能有同樣及同量之鹽基，故植物遺體分解後所生成之腐植質，不能有相同之反應。

(2) 各種植物之遺體不能有相同之反應。按海塞耳門<sup>④</sup>森林中，未腐爛之落葉，有下列不同之反應：

	pH 價
檜針	3.8
松針	4—4.2
橡葉	4.8—4.9

① resins ② lignin-humus ③ "soilprotein" ④ Hesselman, H.

Betula spp.	5—6.1
Fagus sylvatica	5.3—6.6
Mercurialis perennis	7.4

各種樹葉之酸度與其鈣的含量密切相關。含鈣多者如 *Mercurialis* (含 CaO 5.23%) 其 pH 價能偏於鹼性方面，而含鈣最少之 *Deschampsia flexuosa* (含 CaO 0.16%) 其酸度極高也。

腐植質之生成於相仿之環境中者，成分上似為有定的。設土壤之鹽基飽和度相等，則此田之腐植質與彼田者可有極相同之成分，蓋不論何種土壤，生成腐植質之母體為纖維質，木素，蛋白質等，而工作於有機物之細菌，亦皆大致相仿，故所生成之腐植質亦可大致相同。茲舉英國羅塞模斯台得試驗場之二田以為例：其一田於過去八十年中，每年施用厩肥，每年連種小麥，其有機物之含量特高。其又一田概未施用厩肥，所得之有機物僅牛蒡<sup>①</sup>之葉，是以二田所受之管理有極大之差別，但其所含之腐植質的成分，則無大差別，例如：

(1) C/N 比例數普通皆為 10 : 1 或與 10 相近之數。

(2) 其碳的成分皆為百分之 58，此數似為一常數，化學家常借用以計算有機物之量，即於測土壤有機物之量時，僅測碳之量，所得之數以 1.72 乘之即得有有機物之量。(土壤中常不免有焦炭與木炭之類存在，來之於肥料之施用，設有之，可用沈澱法去之，否則可使分析結果發生極大之差誤。)

① mangold

(3)雖由不同土壤所取之腐植質，可有相同之膠體性。

因有以上所述之相同點，故於研究腐植質之特性及功用時，若視其為一單純體，頗為適當，蓋無需顧慮其成分之複雜也。

腐植質之人工製造 以人工方法製造腐植質者，以下塞拉特為第一人。其法為以強酸處理糖類，所製成之物質為黑色，富有黏性，但其碳的成分及其各種特性均與土壤腐植質者不相似。斯後，於1912—1917年間，梅樂得①曾苦心工作而製出與腐植質十分相似之物質；其方法為使氨基酸及 polypeptids 與糖類結合，所得物質，物理上頗似腐植質，但成分上仍有出入。埃羅②以為腐植質之來源為苯衍生物③。氧化芬衍生物④所製成之腐植酸頗與由土壤中提出者相似。

最近十年來，對於腐植質成分上之最重要的發現為其木素之含量。杜塗亞與培基由植物體腐植化之研究，證明腐植質之生成量與木素之損失量，有定量的關係。費許爾⑤與許來得⑥本上述理論，乃於微鹼性反應中氧化木素而得一與腐植質極相似之物質。

杜塗亞曾將各研究家所製成之人工腐植質與天然腐植質及生成腐植質之物質作一比較分析，其結果為如下表之所列。

第二五表 各種腐植質及腐植物質之碳，氫，氮成分(%)

腐植質種類	碳	氫	氮
土壤腐植質	56.0	5.1	5.36
腐爛草秸	56.2	5.5	2.56

① Maillard L. C. ② Eller, W. ③ benzene derivatives ④ phenol derivatives ⑤ Fischer, F. ⑥ Schrader, H.

梅樂得之腐植質	53.1	5.2	5.46
木素	60.2	5.9	—
纖維質	58.1	5.5	—
furfural	61.1	5.9	—
蔗糖	58.7	5.3	—

王克斯門<sup>①</sup>與埃伊爾<sup>②</sup>之人工腐植質 王埃二氏曾指明前此之研究者的差誤，為僅用化學藥品處理有機複合體，而未顧及由植物遺體生成腐植質之自然的變化。化學的分析已證明腐植質之成分中百分之70至80為木素與蛋白質。腐植質既有一定之碳與氮的比率 ( $C/N=10$ )，則木素與蛋白質之關係至為密切。蛋白質易於分解，木素極不易分解，腐植質之分解速率雖不若木素者之緩慢，亦不若蛋白質者之迅速，故腐植質或者為木素與蛋白質之化合物，由於木素之保護作用而使蛋白質不易分解。厚博生<sup>③</sup>曾根據上述原理，混合溶於鹼中之木素與蛋白質而以酸沈澱之，製成與天然腐植質甚相似之物質。於是厚氏以腐植質為木素與蛋白質之吸收化合物。得麻郎<sup>④</sup>與卜利昂<sup>⑤</sup>曾證明腐植質所含之氮所以不易分解之原因乃由於其與木素化合之關係。上述之原理與新的發現指明若能使木素與蛋白質化合且使新製成之化合物的  $C/N$  比率為10，則人工腐植質之製成或者可告全功。

王克斯門與埃伊爾以牛奶蛋白<sup>⑥</sup>之鹼溶液與木素之鹼溶液混合，使乳蛋白與木素之比例量為1對5，加鹽酸至  $pH$  4.0之程度時，溶解體乃完全沈澱。於  $pH$  在4以上之溶液中，施以  $CaCl_2$  或

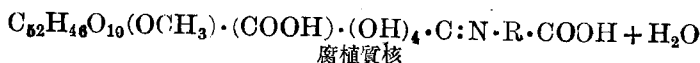
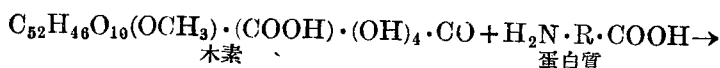
① Waksman, S. A. ② Iyer, K. R. N. ③ Hobsen, R. P. ④ Demolon, A.

⑤ Brigando, J. ⑥ albumin

MgCl<sub>2</sub> 亦得完全之沈澱。由此法所製成之腐植質王埃二氏名之為腐植質核<sup>①</sup>或木素化蛋白體<sup>②</sup>。以腐植質核與腐植酸比較，乃得下列之酷似點。

性質或反應	土壤或泥炭腐植酸	腐植質核
含氮量	2—3%	2—3%
與鹽基化合	即刻	即刻
稀鹼處理	溶解	溶解
稀無機酸處理	不溶	不溶
以 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 氧化	易氧化	易氧化
以 acethyl bromide 氧化	微氧化	不完全氧化
微生物分解	不易	不易
對於微生物之影響	有益	有益

王埃二氏所擬之製成腐植質核之化學反應，及腐植質核的成分或公式為如下：

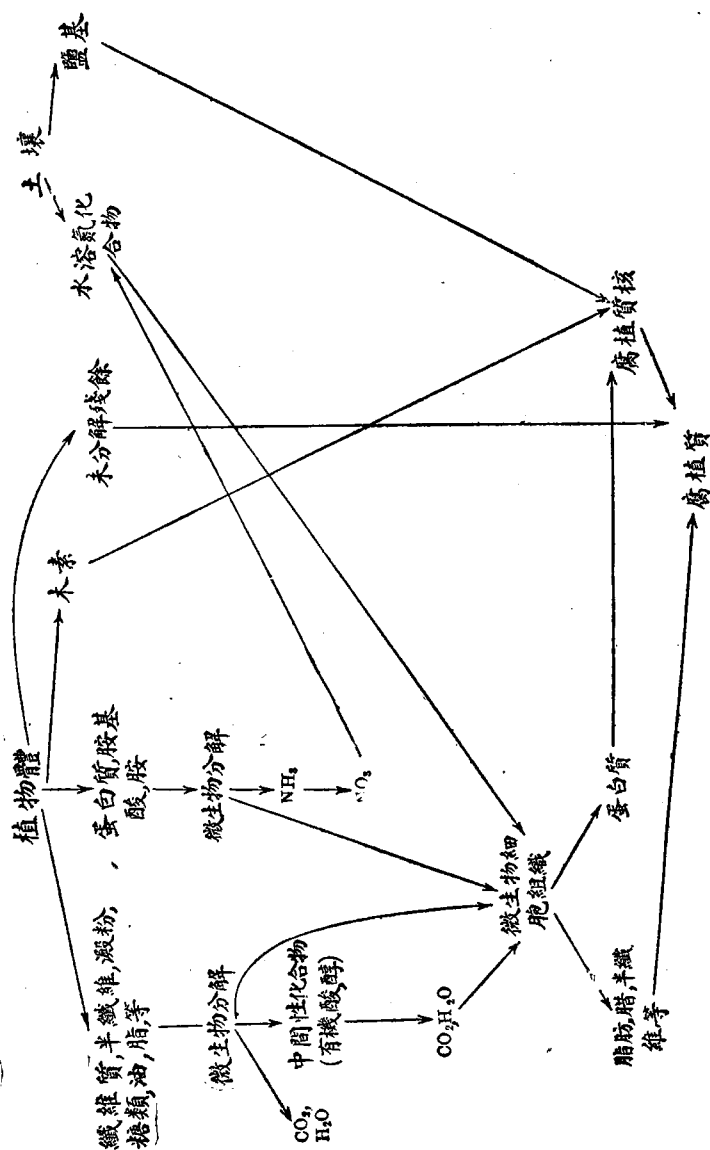


經此成功之後，腐植質之天然的生成程序，按王埃二氏，乃如下圖：

一部分之研究土壤腐植質者傾全力於 (1) 提取法之改善，(2) 其對於土壤性質之關係。

① humus nucleus    ② ligno-proteiniate





1. 提取方法之改良 將腐植質由土壤中提出，而研究其性質與成分，為已往研究家所慣用之方法。惟提取腐植質時，勢必用化學溶解劑，或高溫與高壓。經過此種處理之後，腐植質是否已有改變，不得而知，但不論如何，較溫和之提取法應加以研究而謀求得。

以機械方法使腐植質與土壤分離，一如分離黏土部分之方法，或可得原狀態之腐植質。研究此方法者，有俄國學者維爾納多<sup>①</sup>與桑克拉衛斯基<sup>②</sup>。二氏曾以 NaCl 溶液處理齊奴生土壤而去其代換性鹽基，然後用沈澱法分出直徑在  $1\mu$  以上之土粒，由殘餘之部分中得一黑色黏土部分與一腐植質部分。二者皆懸於水中成黑色懸液。以此懸液濾過卜克非爾得濾紙<sup>③</sup>，乃得腐植質於濾液中。

2. 腐植質對於土壤性質之關係的研究 在土壤培肥方面，吾人所注意者，為腐植質之功用，故有一部分之學者專門尋求腐植質對於土壤之影響，其研究方法為收集含有機物及膠體物不等量之土壤，數目愈多愈善，一方研究其各種特性，一方分析其有機物含量，以探討有機物之量對於土壤特性之關係。

### 腐植質之特性

土壤之膠體特性屬於土壤吸收複合體或土壤膠體複合物，即有機膠體與無機膠體之共同的表示，實際上似無分別討論之必要，但在科學的立場上，研究家有求得每個特性以何者之表示為較強之需要，俾可於土壤之管理上施以人工之節制。

① Vernander, N. B. ② Sokolovisky, A. N. ③ berkefeld filter

腐植質之分散性 腐植質於氫氧化鉀，氫氧化鈉，或氫氧化鋁溶液中可成完全之離散態，幾與真溶液相似，雖過細濾器亦可濾過，但仍表示亭道現象①，證明其為膠體。按維爾納多與桑克拉衛斯基之經驗，以分散之腐植質液濾過卜克非爾得濾紙時，起初濾過之部分較粗大，經過相當之時間後，則濾紙之孔隙被塞而變小，故僅較細小者可濾過，由於此種現象，可將腐植質分為細度各不同之數部分，且每部分似有一定之成分：愈粗大者，含碳與氮愈多，而愈細小者含氫與氧愈多。

部分	C%	H%	O%	N%
原物質	56.5	5.7	34.4	4.25
第一次濾得者	—	—	—	4.18
第四次濾得者	—	—	—	3.7
第九次濾得者	36.7	7.2	52.6	3.5

腐植質於鹼溶液中之懸液之性質與肥皂乳液相仿，乃一膠乳液②。

腐植質之羣集作用 關於腐植質之羣集作用的研究，以奧登所得之結果，最感興趣。奧氏所用之物質為由泥炭中所提出之腐植酸。此酸之水懸液負陰電性，其粒體之直徑約為  $0.02 \mu$ 。此種陰電性分散粒可用羣集黏土之方法，使其羣集，惟所需之電解物較多。電解物中，以鈣鹽之羣集力為最大。腐植質無不正常之羣集作用。  
(參考第六節)

① Tyndall effect    ② emulsion

學者對於黏土粒之物理上的構造，似已有最合理的假說。腐植質粒之構造，是否與黏土者相同，無法證明，但以其羣集作用與黏土者相仿，且無反面證據，指明其與黏土粒之構造有異，故希生克認腐植質與水所成之二體組織，不與黏土與水之二體組織有異。總之，一般學者承認腐植質之膠體粒，亦有二層電性之構造也。

腐植質有保護膠體<sup>①</sup>之特性，蓋單純之黏土粒，易使之羣集，若附有腐植質時，則使羣集較難。埃倫卜格<sup>②</sup>曾假定此作用分為二個步驟：

1. 已羣集之黏土粒被腐植質所分散。
2. 分散後之黏土粒與腐植質相遇，使黏土粒之表面附以腐植質，此後之羣集行為，為腐植質者而非黏土者。

腐植質之緩衝性 腐植質為土壤中之最強之緩衝劑，但其緩衝力可因其來源之不同而有異。海塞耳門曾得五種緩衝力不等之腐植質：

(1) 強酸性且含緩衝物甚少者。此種腐植質為 *Calluna* 類植物之遺體所分解而成者。

(2) 闊葉林下之腐植質，酸性中常含緩衝物質之量較多於 1)，但不能謂為豐富。

(3) 酸性低，含緩衝物甚富之腐植質，為 *Corylus avellana*, *Stachys sylvatica* 之遺體所成者。

(4) 強酸性，緩衝物含量豐富者。生成此種腐植質之母體為

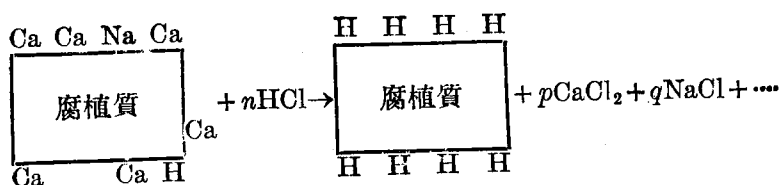
① protective colloid    ② Ehrenberg, P.

Quercus, Larix 等。

(5)含緩衝物甚少之腐植質，生成於 *Deschampsia flexuosa* 之遺體的分解。

腐植質之吸收作用 腐植質之吸收作用與黏土者相仿，即所吸收者為陽電離子，而其作用亦為鹽基代換作用，但原理解釋及吸收力等，則與黏土者稍有出入。

(1)原理解釋 設認腐植質為一成分複雜之非水溶性酸類，則在中和性土壤中，此酸與鈣及小量之其他鹽基化合，而成類似鹽類之物質，但此鹽類之鹽基可為氫或其他鹽基所代換，其作用，若以圖表之，則為：



(2)腐植質之吸收力 由希生克，滕奴爾，及莫克喬治等之研究，已指明腐植質有極強之吸收力，與黏土者相比，約高六倍：

腐植質	黏土	比例	研究者
176	1225	1:7	希生克
660	4100	1:62	滕奴爾

(以上數目字為代換性鹽基等量)

按莫克喬治之所得，土壤之代換力<sup>①</sup>與其所含之碳的量有密

① replaceable capacity

切關係，且有機物之代換力與其所含之木素性碳<sup>①</sup>有密切關係，前者證明腐植質之吸收力強於黏土者，後者證明木素為腐植質之主要成分。

### 腐植質對於土壤之作用

腐植質一物，似無有定之成分，不易由土壤中提出，是以純粹的科學研究，頗易引人於歧途。學子於此時似以多注目於其對於土壤之影響，一方可增加吾人對於此物質之功用上的認識，一方可間接的求知其性質上的特點。

(1)使土壤呈黑色或黑棕色。

(2)使土壤增加吸收力，借以保存植物食料。

(3)酸性或鹼性土壤中，腐植質成分散態而向下滲濾，易於洗失。鹽基飽和之土壤中，腐植質固定於表土中，附於土粒之表面。

(4)使土壤膨漲，因而增加土壤之孔度，改良土壤之耕性<sup>②</sup>，以利種籽之發芽，及根部之穿伸。

(5)增加土壤之儲水力。

(6)增加土壤中之生物的作用。

(7)供給植物以應用食料。

(8)中和黏土之劣性。

以上僅舉其要者，用以表明腐植質之功用的要點耳。

① lignin carbon ② tilth

## 參考書:

- Comer, N. M.: An Introduction to the Scientific Study of the Soil. Chapt. III. Edward Arnold Co., London. 1932.
- Dutcher, R. A. and D. E. Haley: Introduction to Agricultural Biochemistry. Part II., Chapt. IX. John Wiley & Sons, Inc., New York. 1932.
- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. Chapt. 18. The Macmillan Co. New York. 1930.
- Robinson, G. W.: Soils, Their Origin, Constitution, and Classification. Chapt. VI. Thomas Murby Co., London. 1932.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., pp. 205—223. Longmans, Green Co., London. 1932.
- Waksman, S. A. and Iyer, K. R. N., Synthesis of a Humus-nucleus, an important Constituent of Humus in Soils, Peat, and Composts. Journ. Wash. Acad. Sci. 22:41—50. 1932.
- Waksman, S. A. and Iyer, K. R. N.: Contribution to our Knowledge of the Chemical Nature and Origin of Humus: I. On the Synthesis of the Humus Nucleus. Soil. Sci. 34:43—71. 1932.

# 第三章

## 土壤膠體物

### 第五節

#### 膠體物概論

格蘭亞母① (1862) 於研究液體交流之時，得知液體可分為二種：一為真溶液②，一為膠體溶液③。若以真溶液與膠體溶液之混合液置於半透膜中，則真溶液滲出，而膠體溶液則不能滲出。例如以糖與澱粉置於水中，糖與水即成一真溶液，而澱粉與水即成一膠體溶液。格氏以生成真溶液之物質如糖類，鹽類，酸類等，皆為結晶體，故命名為晶體物④；而以生成膠體溶液之物質如澱粉，矽酸等，為非結晶體物，故命名為膠體物⑤。格氏如此分類物質，固有差誤，惟其所創之『晶體物』及『膠體物』二名詞，在科學上已不能磨滅之也。

以真溶液與膠體溶液相比，乃知二者之性質上，有極不相同之點。真溶液可使水之冰點降低⑥，沸點升高⑦，滲透壓增加⑧；而膠體溶液對於以上之作用皆甚微，或完全無之；但有其獨具之特性，例如選擇吸收⑨，羣集⑩，羣散⑪等。是以膠體物為具有特種作用性

- 
- ① Graham, Thomas      ② true solution      ③ colloidal solution  
④ crystalloid              ⑤ colloid              ⑥ freezing-point depressing  
⑦ boiling point elevation      ⑧ increase of osmotic pressure  
⑨ selective absorption      ⑩ flocculation      ⑪ deflocculation



之物質，大有研究之價值也。

隨格氏而研究膠體物者，頗不乏人。迄於今日，乃能獨樹一幟，名之為膠體化學<sup>①</sup>，而工業與農業上之無數的問題，已由膠體化學之研究得以解決也。

所謂膠體者，並非宇宙間之一特種物質，乃物質之一種態<sup>②</sup>。蓋若將物質分裂之，使其體積的單位微細化至一種程度時，即可發生膠體特性。物質之最微小單位為一元子或一分子，故元子與分子代表不能再行分裂之物質的單位。若一物質能於一液體中分散至元子或分子程度，則成一真溶液。若其於分散於一液體中時，其每個單位皆較大於一元子或一分子，即成一膠體溶液。

物質體積單位之微細度及其所可表示之特性

特路亞格<sup>③</sup>於其討論土壤膠體物對於植物營養及植物必需食料之保存的關係之一文中(註一)，曾將物質體積單位之微細度，及其所可表示之特性列之成表，茲舉之以供參考：(第二六表)

第二六表 物質微細化程度及其所表示之特性

	↓	↓	↓	↓	↓
粒體體積	1,000,000 $\mu\mu$	1,000 $\mu\mu$	100 $\mu\mu$	1 $\mu\mu$	0.1 $\mu\mu$
粒體相對數 <sup>④</sup>	1	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>21</sup>
粒體相對面積 <sup>⑤</sup>	1	1,000	10,000	1,000,000	10,000,000
	↑	↑	↑	↑	↑
	粗粒懸液 <sup>⑥</sup>	膠體懸液 <sup>⑦</sup>	膠體溶液 <sup>⑧</sup>	分子溶液	

(註一) Truog, E. The significance of soil colloids in relation to plant feeding and conservation of essential elements. Journ. Am. Soc. Agron., 17:280—285, 1925.

- ① colloidal chemistry                      ② state                                      ③ Truog, E.
- ④ relative number of particles          ⑤ relative surface                      ⑥ coarse suspension
- ⑦ colloidal suspension                    ⑧ colloidal solution

溶液外表	極濁	濁	清	清
粒體如何可見	肉眼	顯微鏡	過強顯微鏡①	不能見
粒體沈澱速率	甚速或隔夜	緩慢或不墜	不沈澱	不沈澱
不能滲過之濾器	濾紙	黏土製濾器②	過強濾器③	濾過一切濾器
交流或電滲性	無	無	無或極微	極強
吸收作用	低	強	甚強	無
反應速率	低	中常	甚高	立刻
水蒸發後之態	粗粒粉	粉或酪④	酪	結晶體
土壤部分	沙↑泥沙↑粘土 50,000 $\mu\mu$ 5,000 $\mu\mu$	懸液態粘土	過細粘土⑤	土壤溶液

顯微鏡之限度(紫外光) 100  $\mu\mu$ ,

硬濾紙孔之直徑 1,500  $\mu\mu$  至 2,200  $\mu\mu$ ,

過強顯微鏡之限度 10  $\mu\mu$ ,

慶卜林濾器⑥之孔的直徑 200 至 400  $\mu\mu$ ,

過細濾紙之限度 1  $\mu\mu$ ,

細菌細胞之直徑 500 至 1,200  $\mu\mu$ ,

卜浪運動⑦起始點 5,000  $\mu\mu$ ,

200 網眼⑧粒子之直徑 74,000  $\mu\mu$ 。

一立方公分之體分裂之,使每個小立方體微細至 1 $\mu\mu$  直徑後,其總面積為 1  $\frac{1}{3}$  英畝。

顯微鏡可見之粒的體積為(1 $\times 10^{-5}$ cm.)分子體積(1 $\times 10^{-8}$ cm.)

1 $\times 10^{-3}$  cm. 至 1 $\times 10^{-5}$  cm. 之粒子名之為麥克粒⑨。

1 $\times 10^{-5}$  cm. 至 1 $\times 10^{-7}$  cm. 之粒子名之為亞麥克拉⑩。

1 $\times 10^{-7}$  cm. 以下之粒成真溶液。1 $\mu$  = 1 麥克拉 = 0.001cm.

膠體物之二體組織⑪ 膠體物必須成二體之組織,始可表現

① ultra microscope

② clay filter

③ ultra filter

④ gel

⑤ ultra clay

⑥ Chamberlain filter

⑦ Brownian movement

⑧ mesh

⑨ micron

⑩ amicon

⑪ two phase system

膠體特性。例如澱粉之單獨體，不能表現膠體特性，但與水混合後，則膠體特性發生，而澱粉與水即一種二體組織也。

澱粉與水之二體組織中，澱粉名之為分散體①，而水則名之為分散間劑②。分散間劑為連續的，故亦名之為連續體③。

設分散體甚少，而分散間劑甚多，則所成之二體組織，類似液體，格蘭亞母名其為膠體溶液④。若分散體甚多，而分散間體甚少，則所成之二體組織，類似漿態，格氏名其為膠體漿⑤。

不論液體，固體，或氣體，皆可為分散體，而任何一者亦可為分散間劑，亞斯渥⑥曾指明二體組織可有下列九種：

- |        |        |        |
|--------|--------|--------|
| 1. G+G | 4. L+G | 7. S+G |
| 2. G+L | 5. L+L | 8. S+L |
| 3. G+S | 6. L+S | 9. S+S |

上列分類中之G代表氣體，L代表液體，S代表固體。居首之字代表分散間劑，居次者代表分散體。第一種二體組織為氣體與氣體之混合體。各種氣體皆可自由與其他任何氣體混合而組成分子分散體，既為分子的混合，故不屬於膠體之類。液體分散於氣體中之二體組織可以霧代表之。煙即為第三種二體組織。第四種為泡沫。第五種可以石油乳劑代表之。第六種為普通之膠體懸液，如黏土與水所成之濁液。第七種為罕見者，可以氣體分散於礦物中之組織代表之。膠體漿即屬於第八種。第九種之組織如紅寶石⑦，微末

- |                      |                     |                    |
|----------------------|---------------------|--------------------|
| ① dispersed phase    | ② dispersing medium | ③ continuous phase |
| ④ colloidal solution | ⑤ colloidal sol     | ⑥ Ostwald, Wo.     |
| ⑦ ruby               |                     |                    |

之金粉分散於石英中。

二體組織中之最普通者為以固體或液體為分散體而以液體為分散間劑所成者。固體分散於液體中名之為膠懸液<sup>①</sup>，而液體分散於液體中名之為膠乳液<sup>②</sup>。若分散間劑為水，則按水之量與分散體之量的比例關係而可有膠體水漿<sup>③</sup>與膠體水酪<sup>④</sup>。

土壤膠體物之二體組織，概以土壤膠體複合物（土壤無機膠體與腐植質之複合體）為分散體，而以土壤水分為分散間劑，故似乎僅可有膠體水酪與膠體水漿。但土壤膠體複合物對於水之愛力甚大，故於其與水接觸之後即被水膜包圍，而所生成之二體組織，在性質上遂與膠乳液相仿。因此現象，土壤膠體物可分有二種：一為與水無愛力者，名之為避水膠體<sup>⑤</sup>，其所生成之二體組織為膠懸液。一為與水有愛力者，名之為愛水膠體<sup>⑥</sup>，其所生成之二體組織，呈膠乳液之特性。

#### 膠體物之特性

膠體物之特性甚多，茲舉其要者列之，並與以簡單之解釋，俾於討論土壤膠體物時，免贅述之煩。

膠體物之電性 膠體物一若電解物，懸於水中之後，膠體粒即負有電性。例如使電流通過  $As_2S_3$  之懸液，經短時間後， $As_2S_3$  膠體粒即集於陽電極，證明其所負者為陰電。若同一方法處理  $Fe_2O_3$  之懸液，則膠體粒向陰電極而集合，證明其所負者為陽電。膠體粒

① suspensoid

② emulsoid

③ hydrosol

④ hydrogel

⑤ hydrophobic

⑥ hydrophilous

負之電性爲有定的。土壤膠體普通皆負陰電。膠體粒應電流而運動之現象名之爲電動作用①。

卜浪運動 英國生物學家卜浪於1827年，置 *Clarkia pulchella* 之花粉於水中，乃見花粉運動不息。卜氏起初以此現象爲生物自有之特性，但以非生物體觀察之時，則凡體積微細至一種程度者，皆可由此現象。卜浪運動起始於  $5,000\mu\mu$ 。粒體愈微小，運動愈速。

亭道現象② 以強光射膠體懸液，則現一線之反光。此反光乃由於膠體粒之表面將光線向外反射所致。膠體存在與否，可察其有否亭道現象而測定之。

膜分作用③ 若以膠體物與結晶體物並含之液體置於瓶中，瓶口張以半透膜如羊皮紙④，將瓶置於蒸餾水中，結晶體物即向外滲出，而膠體物則留於瓶中，因而使二者分離。格蘭亞母名此現象爲膜分作用，而名所用之具爲膜分器⑤。

電滲作用⑥ 以孔性杯，杯中盛水，將杯置於盛多量水之器內，杯中置陰電極，而器中置陽電極，通電之後，水即向杯中流動。此種現象即謂之爲電滲作用，而其原理即假定液體於通電之後，即負陽電性，而杯膜，因吸收 OH 離子之力較大，故使杯之外表負陰電性，是以杯外之水，可滲過杯膜而流於杯內。

① cataphoresis

② Tyndall effect

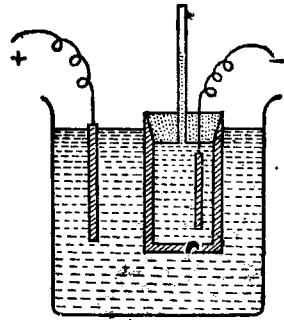
③ dialysis

④ parchment paper

⑤ dialyser

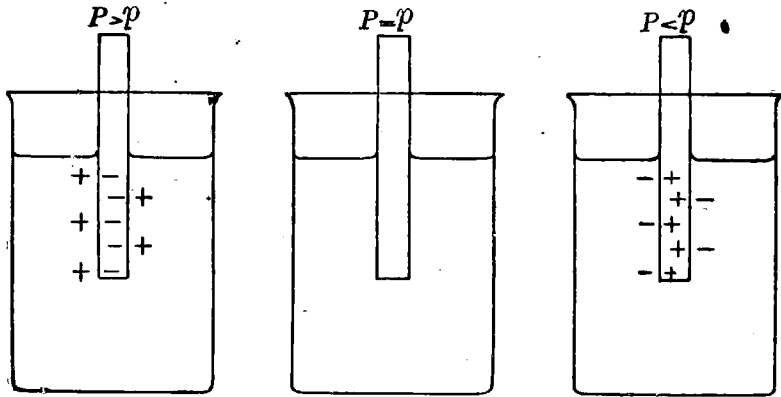
⑥ electroendosmosis

重層電性 ② 以固體如蔗糖，置於液體如水中；蔗糖即漸漸溶解於水中。固體向液體中溶解之力，名之為溶解壓③。已溶解之固體，於其溶液之濃度增加至度一點時，則漸由溶液中分出而復變為固體。由此可知固體由溶液中分出之力為滲透壓，而一固體向液體中溶解，或由其溶液中分出，一視滲透壓與溶解壓孰大而定。



第二圖 電滲作用與電滲器 ①

根據上述原理，設置一金屬物於水中，金屬物即向水中溶解，(因有溶解壓) 而放陽電離子於溶液中，使溶液變為陽電性，並使金屬物負陰電性。在此種情形下，金屬對溶液為陰電性，而其外面



第三圖 重層電性原理圖表  $P$  = 溶解壓,  $p$  = 滲透壓

- ① electroosmosis apparatus
- ② electrical double layer
- ③ solution pressure

受陽電離子包圍，此即謂之爲重層電性。(第三圖)

吸收作用① 若使鹽類之溶液滲過膠體物，如排水之滲過土壤層，溶液中之某種離子即留於膠體中，或被膠體所吸收。膠體吸收離子之作用有選擇性，即被吸收之離子的種類與量，依膠體之種類與量而定，故有選擇吸收②一名詞。

鹽基代換作用③ 膠體物之吸收作用，事實上爲一鹽基代換作用，即膠體物取溶液中之鹽基以代換其所含有之鹽基也。膠體物之吸收作用，常有吸着④與附着⑤之分。所謂吸着作用者，即鹽基代換作用。所謂附着作用者，乃簡單之表面凝集，例如水氣之凝集於土粒之表面，毫無化學作用也。

沈澱作用⑥ 膠體於成懸液態時，若施電解物⑦於膠懸液中，膠體可逐漸沈澱。按哈戴⑧之解釋，膠體遇電解物而沈澱之原因，乃由於電解物之離子的電性，正與膠體者相反，因而中和膠體物之電性，於是破壞其懸浮之力，而使其沈澱。土壤學者名膠體之沈澱作用爲羣集作用⑨。沈澱作用爲反復性的⑩，即於沈澱後之膠體中，施以與該膠體相同電性之離子，則此膠體復可分散。此作用土壤學者名之爲羣散作用⑪。

保護膠體⑫ 若於膠體懸液中，施以適量之膠體乳液，則懸液中之分散性膠體，不能受異電性離子之中和作用而沈澱，且懸液失

- |                       |                        |                      |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| ① absorption          | ② selective absorption | ③ base exchange      |
| ④ adsorption          | ⑤ adsorption           | ⑥ precipitation      |
| ⑦ electrolyte         | ⑧ Hardy, W. B.         | ⑨ flocculation       |
| ⑩ reversable reaction | ⑪ deflocculation       | ⑫ protective colloid |

其原有之特性，而現乳液之特性。此作用之原理，乃由於懸液中之膠體粒，吸收乳液於其表面，成乳液膜包圍狀，因而現乳液性質。此種現象名之為保護膠體性，而所施用之膠乳液名之為保護膠體。

相互沈澱 ① 電性相反之二種膠體相遇時，則二者同時沈澱，沈澱物中，二種膠體皆可含有。此種沈澱作用名之為相互沈澱。

懷水 ② 與膨脹 ③ 以乾膠體物如 gelatin 置於水中，gelatin 即吸收水分，而於吸收水分之際，其體積即增大。膠體吸收水分之作用名之為懷水作用，而其體積之增加，名之為膨脹作用。

懷水作用之原理尙乏確當之解釋，按此時所知者，似由於膠體漿之毛細管吸收水分之作用。毛細管愈微細者，懷水力 ④ (註一) 愈強，gelatin 之懷水量，按厚夫曼斯特爾 ⑤ 所測得者為如下表之所列：(gelatin 之厚度為 0.5mm.)

第二七表 gelatin 之懷水速率

時間(分)	懷水量(公分)	K (常數)
5	3.08	0.090
10	3.88	0.084
15	4.26	0.084
20	4.58	0.064
25	4.67	0.075
a (無限制)	4.96	—

(註一) 羅素定義土壤懷水力為每 100c.c. 之土壤，於其在水分等量狀態時，所含之水的容量減同量土壤，於在水分等量時所含之 xylene 容量的差數。(『水分等量』見卷上第十七節)。

- ① mutual precipitation      ② imbibition      ③ swelling  
 ④ imbibition power      ⑤ Hofmeister, F.



膠體於懷水之際，其毛細管之膜向外發生壓力，名之爲膨脹壓<sup>①</sup>；懷水力愈強，此壓亦愈大。既有壓力，即可生熱，是以膠體於懷水之際，可發生熱，名之爲懷水熱<sup>②</sup>。按路得王<sup>③</sup>，澱粉之懷水熱，爲如下：

第二八表 乾澱粉每 100 公分所發生之  
懷水熱的熱單位數<sup>④</sup>。

水分(%)	熱單位
0.23	28.11
2.39	22.60
6.27	15.17
11.65	8.43
15.68	5.21
19.52	2.91

按上表，乾澱粉於起始吸收水分時，其所發生之懷水熱甚大，水分之懷量增加，則含水熱漸減低。

收縮<sup>⑤</sup> 膨脹之反面的作用即爲收縮。收縮作用即膠體於損失水分之際，其體積變小之現象。

#### 參考書：

- Getman, F. H.: *Outlines of Theoretical Chemistry*. Chapt. X, John Wiley & Sons, Inc, New York. 1922.
- Kruyt, H. R.: *Colloids, a Textbook*. Translation by Klooster, H. S. van., pp. 244—250., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1932.
- Russell, E. J.: *Soil Conditions and Plant Growth* 6th. ed., p. 180, Longmans Green & Co., London, 1932.

① swelling pressure    ② heat of imbibition    ③ Rodewald    ④ calories  
⑤ shrinkage

## 第六節

## 土壤膠體及其特性

置土壤於水中，攪動之後，水即渾濁。靜置此渾濁液數小時後，粗大土粒即沉澱，而微細者，則長久懸浮，成一固體之土粒，分散於液體之水中的膠體懸液或膠體水液。土壤含有膠體物已於十九世紀之末葉，由溫貝美倫<sup>①</sup>所發現。溫氏察得土壤有吸收力，故知其必含有膠體物。但當時膠體化學尚在萌芽時代，研究方法既少，且不精確，故對於土壤膠體物之重要，未能有明確認識，迄於今日乃知土壤中之重要物理及化學作用，莫不以膠體物為主動者。是以現代之研究土壤化學者，大多數注力於土壤膠體部分之生成，成分，及作用的探討。而晚近十年來所得之結果頗多驚人之處。

土壤膠體物之來源 土壤中之膠體物有無機者（見第二節）有有機者。（見第四節）無機膠體生成於土壤礦物之風化，而有機者生成於土壤有機物之分解。凡土壤所含之礦物粒子及有機化合物，由於風化作用或分解作用，使其體積微細化至一種程度時（見第二六表），則表示膠體特性。概言之，土壤所含之黏土部分及腐植質皆可謂為土壤膠體物。

土壤膠體物之組織 以土壤之組織而言，乃無機的礦物粒子，與有機的動植物遺體密切結合而成者。但此種結合以土壤膠體物者更為密切。故土壤學者，名土壤膠體物為土壤膠體複合物<sup>②</sup>，即

① van Bemmelen, J. M.

② soil colloidal complex

無機膠體與有機膠體密切結合而成者。此二種膠體物之結合程度，幾與化學的化合相等。蓋土壤膠體物所表示之特性，為無機膠體與有機膠體所共有者，例如亨道現象<sup>①</sup>為無機膠體之特有性質，而吸力，膨脹，收縮等則以有機膠體較為強，但土壤膠體俱可表顯。

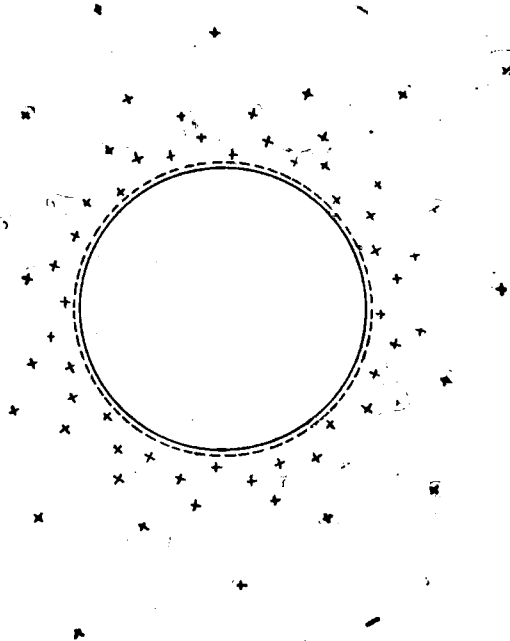
土壤膠體物之所在 酸性土壤與鹼性土壤中或可有游離膠體物單獨存在。普通物理性良好之中和性土壤中，膠體物皆附於較粗大之非膠體土粒之表面，或膠體粒與膠體粒互相結合而成團粒。酸性土壤中之腐植質，最易變為游離性者，因而可與排水向下滲濾。若土壤呈中和性反應，則腐植質與黏土結合而附於泥沙或細沙之表面，常使泥沙與細沙表現膠體特性。

土粒之水膜與土壤膠體物之關係 自然土壤中之微細土粒，不論何時，其表面必被一水膜所包圍。此種水膜在最薄之程度時，名之為吸着水水膜，(參照卷上第十七節)而在平常情形之中，水膜之厚度依雨量及蒸發量而變異。設水膜之厚度與土粒之直徑相等時，則水膜之容積必高於土粒者。在此情形下，土粒之行爲可大加改變；因土粒可部分的溶解於水膜中，故土粒與水膜之間失却界限，而使土粒密切的變為水膜之一部分。以在此種情形中之土粒與水混合而生成二體組織時，構造上遂不能謂為膠懸液而必謂為膠乳液也。是以自然土壤中之膠體物為一種愛水膠體。

土壤膠體粒之電性 土壤中之膠體物，不論其為有機者，或無

① Tyndall effect

機者，或複合者，不論其有否吸收物，概負陰電性。魯賓生曾以海謀厚茲之二層電性組織而表象懸於土壤水中之土粒的電性情形如下圖（第四圖）。按魯氏之圖，圓圈內為膠體核，為以矽酸為主體之酸膠組①，與以三氧化物為主體之鹽基膠組②所化合而成者。內核之外，有一陰電離子之內圈，及一陽電離子之外圈。陽電離子為膠體所吸收之鹽基。此二圈之不同電性構成所謂之海謀厚茲二層電性組織。陰電離子固定於膠體核之表面，而陽電離子則分佈於膠體核之四



第四圖 膠體粒及其陰電與陽電重層電性圖表  
 + 陽電離子，包括氫離子。 - 陰電離子，包括氫氧離子。

① acidoid

② basoid

圍及包圍膠體核之溶液中。陽電離子與陰電離子間之距離，或陽電離子之分佈情形，受下列因子之支配：(1)陽電離子自有之活動力，(2)其水化之程度，及(3)有否電解物存在。但根據道南平衡<sup>①</sup>之原理，每對離子之濃度相乘之積數，不論懸液之任何部分皆相等，因而陽電離子不能與其所結合之陰電離子皆有相等距離以成固定之圈，乃向外分佈而成交流之圈。在此種情形下之陽電離子，以其作用性而言，可分為二種；一為與陰電離子密切結合而損失離子態者，一為分佈於二層電性組織之外圈中者。此二種皆為代換性鹽基，但第二種為量甚微。根據莫特生之計算，一直徑為  $45.5\mu\mu$  之膠體粒，共含代換性鹽基量等於 502,208 個陽電離子，根據所測知之電力而計算，僅可有離子 857 個分佈於外圈中。

依上述之原理則土壤膠體粒之表面，因一部分之陽電離子距其陰電離子甚遠，故剩餘陰電力，致使膠體粒呈陰電性，並使其與水所組成之二體組織表示膠乳液之特性。

土壤膠體物之吸收作用 土壤膠體粒之表面既呈陰電性，故可吸收陽電離子。此種吸收作用，非腐植質之單獨的作用，亦不完全屬於黏土部分，乃二者之複合的作用，是以土壤膠體物又名為土壤吸收複合體<sup>②</sup>，而於研究土壤吸收作用之時，視土壤膠體物為一單純物質亦無不可。

土壤之吸收力是否完全為土壤吸收複合體之作用，無法證實。黏土以上之土粒，常含低微之吸收力，此吸收力為其自身之能力，

① Donnan equilibrium ② soil absorption complex

抑為附於其表面之吸收複合體之能力，不得而知。但一般土壤學者皆公認土壤之吸收力為土壤吸收複合體之能力。

假定土壤之吸收作用為漸加性的，騰奴爾乃求得下列公式以計算之：

$$A = a + bC + cH$$

$A$  為 100 公分土壤之吸收量。

$b$  為每單位重量之黏土的吸收量。

$C$  為黏土之百分率。

$c$  為單位重量之腐植質的吸收量。

$H$  為腐植質之百分率。

$a$  為土壤中其他部分之吸收量。

關於上列公式之應用性，此時尚難批評，蓋分析結果有限，未能以充足之事實證明理論之價值也。

土壤吸收複合體對於各種離子有不等之吸收力。其吸收陽電離子之力，依次列之為：



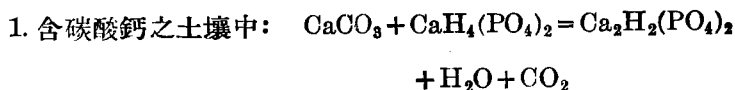
陰電離子，例如  $NO_3^-$ ， $Cl^-$ ， $SO_4^{--}$ ， $HCO_3^-$ ， $OOC \cdot CH_3^-$ ，皆不能為土壤所吸收，故與排水流失。惟  $PO_4^{---}$  離子，則可吸收之。此特別吸收能力對於土壤培肥有重要關係，蓋施於土壤中之磷酸肥料，可因此作用而得以保存。

土壤中，由於吸收作用而發生之重要化學上的變化有：(1) 沉

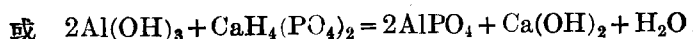
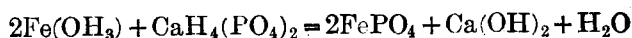
澱作用，(2) 鹽基代換作用，(3) 陰電離子代換作用<sup>①</sup>。

### 沉澱作用

沉澱作用之生成乃由於被吸收之體與土壤中之某物質化合而生成不溶解之沉澱體。例如  $\text{PO}_4^{--}$  離子被吸收後，可生成不能溶於水中之磷酸鹽，其化學反應為：



2. 酸性土壤中 (pH4—6):

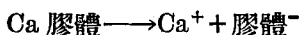
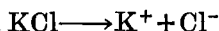


上列公式中之磷酸二鈣，磷酸鐵，及磷酸鋁皆為不能溶解於水中之磷酸鹽，是以沉澱作用，一方固可保存磷酸，使其不致與排水流失，一方亦可減低土壤之應用磷酸含量，以影響植物食料之供給量，但此種影響之程度，受土壤反應之支配，蓋磷酸二鈣尚可逐漸受植物根部所分泌之酸的溶解力而變為水溶磷酸鹽，至於磷酸鐵與磷酸鋁，則為極不易溶解之化合物。

### 鹽基代換作用

使土壤與一中和性鹽類之溶液發生反應，則此鹽類之金屬離子被土壤所吸收，而約等化合量之其他金屬離子放出於溶液中。例如以 KCl 溶液滲過土壤，則普通之作用為將一部分之 KCl 的  $\text{K}^+$  吸收，而放出等分子量之鈣於溶液中。

<sup>①</sup> anionic exchange



鹽基代換作用之研究，起始於十九世紀之中葉。該時有湯母生①及衛埃②等，以為施於土壤中之水溶性肥料，有與排水洗失之虞，因而注力於水溶性肥料在土壤中之化學作用的研究。按湯氏之所得，施硫酸銨於土壤中後，銨即被土壤吸收，而放出鈣。經衛氏以精確方法研究之後，乃知被吸收之銨的量，與所放出之鈣的量有化學等量的關係，證明其為屬於化學定律範圍內之作用，但作用的基礎，則於該時未能求得。

湯氏與衛氏之後，研究者甚多，惟各人對於鹽基代換之原理解釋，則有異別。利比希③以表面凝集作用解釋之，以其與木炭吸收染色物質之原理相同，但此作用並無代換的特別現象，反不若衛氏之認為一單純的二重分解作用④。迄至今日，膠體化學發達，乃將上述二種解釋，合為一體，而解釋鹽基代換作用為與膠體表面有關之二重分解作用。蓋膠體及其表面所凝集之鈣可電解為鈣離子與膠體離子：



硫酸銨可電離為銨離子與硫酸根離子：



① Thompson, H. S.

② Way, J. T.

③ Liebig, G. von.

④ double decomposition



上列四種離子相遇之後，即生成硫酸鈣與鈹膠體：



土壤所含之代換性鹽基量 自然土壤中之鹽基僅可部分的為一新鹽基所代換，因所放出之鹽基，亦必分佈於土壤膠體粒之四圍，仍不能脫離海謀厚茲之二層電性組織，而必成立一新平衡。但人工方法可將土壤所含之代換性鹽基完全以一新鹽基代換之。其法即以一種鹽類之溶液，連續的滲洗有定量之土壤，而使滲洗液由土壤中濾出，則可將平衡破壞，而將膠體所含之鹽基完全代換。按希生克①之方法，25公分之土壤所含之代換性鹽基，可以一公升之N NaCl溶液，於濾紙上洗滲而完全代換之。下表所列為數種代表土壤所含之代換性鹽基量。

第二九表 數種代表土壤所含之代換性鹽基量

(mgm. 等量) (註一)

土壤	Ca	Mg	K	Na	分析者
25 種荷蘭黏土	30.0	5.0	0.8	2.5	<u>希生克</u>
17 種蘇格蘭土壤	9.95	0.776	0.242	0.269	<u>施密斯</u> ②
7 種中和性美國土壤	13.92	4.83	0.75	1.48	<u>開來</u> ③與 <u>卜派</u> ④
5 種美國鹼性土壤	0.0	0.80	1.65	6.88	同上
6 種美國酸性土壤	1.06	0.68	0.13	0.51	同上

(註一) 鹽基代換分析所得結果之數目字不用百分率而用 mgm. 等量代表之。mgm. 等量為將等量算為 mgm. 之數目字。例如一 mgm. 等量之 CaO = 0.028 gm.。分析結果所得之 CaO 百分率以 0.028 除之，即得 CaO 之 mgm. 等量。其他鹽基皆可依法算為 mgm. 等量。

① Hissink, D. J.

② Smith, A. M.

③ Kelley, W. P.

④ Brown, S. M.

由上表之所列，可見除鹼土之外，主要代換性鹽基為鈣；鎂與鉀皆有小量。按希生克，25種荷蘭土壤之代換性鹽基全量的平均數，將mgm.等量算為比例數時，乃為如下：

Ca	Mg	K	Na
79	13	8	3

各種土壤所含之代換性鹽基量不能相等，但除鹽土，酸土，及鹼土外，凡正常土壤所含者皆與上列比例無大差別。鹽鹼土以鈉為主要代換性鹽基，而酸土者則為氫。

鹽基之代換力 膠體對於各種鹽基之吸收力不等，依次列之為：



是以以氫代換鈉甚速，而以鈉代換氫則甚緩。緩速之不一致，受鹽基自有之加水分解度的支配。傑迺①曾測得數種鹽基離子對於鈣之代換力的常數，為：

Li	Na	K	NH <sub>4</sub>	Rb	Cs	H
3.500	6.066	9.896	11.425	11.550	13.112	58.117

二價離子代換鈣之常數為：

Mg	Ca	Sr	Ba
29.802	48.128	49.882	69.137

氫為最不易代換之離子，故測酸土之代換性氫的含量，每感困難，蓋僅部分的可代換出之。所謂土壤之代換性酸度②者，即指所

① Jenny, H.

② replaceable acidity

能代換出之氫離子之濃度也。土壤所含氫素離子之濃度的測定，當認為最佳之土壤酸度測定法，但因所測者未必能含代換性氫離子之全量，因而常與土壤之石灰需求量不能相符。

鹼土之鹽基代換力的測定，對於改良試驗之工作上，頗有神益。蘇丹政府試驗場曾測飽和鈉鹽基之土壤對於鈣與鈉之相對的吸收力。其測定方法為以鈣與鈉之氯化鹽並含之溶液數種，滲洗飽和鈉鹽基之黏土，所用溶液之濃度以氮計算皆為 $\frac{N}{10}$ ，但鈣與鈉之比例量則不一致。處理之後，測黏土所含之鈣與鈉的比例量。下列為其結果中之一部分。

溶液中之 $\frac{Ca}{Na}$  比例數 2.33 1.50 1.00 0.8 0.42 0.20 0.11 0.058

黏土中之 $\frac{Ca}{Na}$  比例數 14.2 10.6 9.3 6.8 4.9 2.66 1.59 0.76

由上列結果，可見鈣與鈉之等量①相等時，於黏土與溶液成立平衡後，黏土所含之鈣較鈉高 9.3 倍。若欲使黏土多吸收鈉而少吸收鈣，則滲洗液中之鈉與鈣的比例量須增至 15:1。

喬塞夫②與奧克來③亦曾測驗吸收複合體吸收鹽基之力。二氏以等分子量④之氯化鈣，鉀，及鈉之溶液滲洗土壤。溶液之濃度以氮計算皆為 $\frac{N}{2}$ 。受氯化鈣與氯化鉀滲洗之土壤中，所含 $\frac{Ca}{K}$ 之比例數為 0.9。其以氯化鈣與氯化鈉滲洗者，所得 $\frac{Ca}{Na}$ 之比例數為 6；而以氯化鉀與氯化鈉滲洗者， $\frac{K}{Na}$ 之比例數為 6。可見鈣與鉀

① equivalent amount

② Joseph, A. F.

③ Oakley, H. B.

④ equimolecular

之代換力幾相等，而二者皆比鈉較強。

黏土與有機物各有之代換力 土壤膠體物為黏土與腐植質之複合體，而土壤之鹽基代換作用為此複合體之作用，二者各所有之代換力為如何，應有明確認識，但研究家所得結果頗不一致，或者由於膠體之成分不一，然亦可由於方法之殊異。按莫特生之所得，膠體黏土之代換力，每公分為由 0.164 至 1.102 mgm. 等量。最高之數得之於含矽酸甚多之膠體，而最低之數得之於含三氧化物甚多者。至於腐植質之代換力，則每公分為 2.5 至 4.5 mgm. 等量，較黏土者高數倍至數十倍。腐植質為保存植物食料之重要因子，由此可知。

下表所列為衛林母斯<sup>①</sup>所測，含石灰充足之土壤中，黏土與有機物之相對吸收鹽基力。

第三〇表 代換性鹽基之全量，黏土含量，  
及有機碳含量之關係。

土 壤	黏土 %	有機碳		碳酸鈣 %	計算所得之代換性 鹽基全量(mgm等量)		代換性鹽基 全量(mgm等量)
		全量	可氧化者 (註一)		第一公式 (註二)	第二公式 (註三)	
衛那黏土 <sup>②</sup>	63.5	0.64	0.14	13.6	39.1	37.08	36.80
B. 1459	54.0	1.54	0.96	8.3	37.79	36.83	36.67
G. 109	41.7	4.45	2.43	7.0	44.02	39.08	40.00
哈朋登 <sup>③</sup>	24.7	1.06	0.59	4.1	18.80	17.80	18.58
G. 26 A	39.3	2.54	2.06	3.6	33.96	35.39	34.45
G. 115 A	27.5	1.94	1.45	3.3	24.51	24.82	25.89
G. 130 A	34.3	3.14	2.22	3.1	33.85	33.53	33.03

① Williams, R.

② Vaynol

③ Harpenden

利斯發希①	27.0	2.29	1.83	3.1	25.81	26.92	23.60
Rendzina	59.6	1.63	1.30	2.7	41.39	42.16	46.40
格斯弗特②	9.3	1.89	1.58	2.6	13.90	15.26	16.07
F. 85	24.8	2.09	1.36	2.4	23.65	22.71	22.50
G. 167	21.2	2.39	1.91	2.2	22.96	24.21	23.20
D. 129	33.6	3.34	2.62	1.7	34.34	35.65	32.86
G. 206	3.6	7.21	3.07	8.0	46.25	32.79	35.72
G. 178 A	47.1	3.62	2.95	3.3	43.32	45.43	38.67
G. 57	22.9	2.98	1.84	0.8	26.61	24.64	13.57
F. 111	19.0	3.28	2.20	0.5	25.80	24.69	19.29
Ab. 3—5	22.4	3.17	2.36	0.2	27.19	27.64	14.46

第六第七二行所列計算得之結果，與第八行所列之測得者頗相近。第十四種土壤(G. 206)含木炭屑甚多，故用第一公式算得者，似乎過高，同時用第二公式算得者，似乎過低。

末四種土壤皆以測得之數低於算得者。G. 178 A 所含之石灰大部分為粗大之塊，其他三種土壤所含者，或者亦為新施用之石灰塊，或殘餘之石灰塊，是以末四種土壤皆可謂為鹽基不飽和之土壤，而不能應用上舉之二公式也。

黏土之代換力的數目字，即每黏土一公分為 0.57 mgm. 等量，與莫特生所求得者頗相近。 $(0.164 + 1.102 = 1.264, 1.264 \div 2 = 0.632)$ 克路若①與卜蘇②亦得相近之數目字。

假定土壤有機物含碳 58%，則其有機物之全量的代換力每

(註一) 指 4% 過氧化氫可氧化之碳，即腐植質之碳。

(註二) 求得之公式  $T = 0.57K + 4.55Ct$ ;  $T$  = 鹽基全量;  $K$  = 粘土;  $Ct$  = 碳的全量。

(註三) 求得之公式  $T = 0.57K + 6.3Co$   $Co$  = 可氧化之碳; 其他者與上同。

① Llysfasi ② Groes Fforded ③ Crowther, S. M. ④ Basu, J. K.

公分爲 2.64 mgm. 等量，其可氧化部分之有機物者爲 3.65 mgm. 等量。

鹽基飽和與鹽基不飽和 土壤之常時與碳酸鈣成平衡者謂之鹽基飽和土壤①，或代換性鹽基飽和土壤②，或簡稱爲飽和土壤③。鹽基飽和土壤並非不含其他鹽基而僅含鈣，事實上土壤之最高代換性鹽基量，乃指其所含各種代換性鹽基之全量而言，惟與碳酸鈣成平衡之土壤中，不論因何種鹽基之施入而使超過代換性鹽基之全量時，則碳酸鈣放出，而成游離狀態者，故凡含游離碳酸鈣之土壤，必含飽和之鹽基。

若土壤不含碳酸鈣，則其代換性鹽基部分的可爲氫所代換，而使土壤之鹽基不能常時保全全量程度，而生成所謂之鹽基不飽和土壤④，或代換性鹽基不飽和土壤⑤，或簡稱爲不飽和土壤⑥。酸性土壤即鹽基不飽和之土壤。

鹽基不飽和土壤可於實驗室中以人工方法製成之。法爲以淡鹽酸或弱酸如醋酸滲洗土壤，則代換性鹽基離開膠體而入於溶液中生成氯化鹽或醋酸鹽。此二種鹽類之溶液由土壤中滲出後，土壤即變爲不飽和者。在天然情形之中，不含游離石灰之土壤，受有機酸如腐植酸，及無機酸如碳酸，硫酸，硝酸之溶解作用，與排水之滲洗，亦可生成不飽和土壤，蓋酸類之氫素離子可代換土壤膠體之鹽基離子也。

① base saturated soil

② replaceable base saturated soil

③ saturated soil

④ base unsaturated soil

⑤ replaceable base unsaturated soil

⑥ unsaturated soil

含游離石灰之土壤，未必皆為飽和土壤。石灰岩原積土常有含游離之石灰塊而必須施用石灰者，蓋因粗大之石灰粒不能與土壤膠體發生化學的關係，或在化學上不與土壤成平衡，故不能節制鹽基之損失也。

代換性鹽基與土壤反應 代換性鹽基飽和之土壤為中和性或鹼性土壤。若鹽基中以鈣為主體，則為中和性土壤，或正常土壤。若鹽基中以鈉為主體，則為鹼土。但鹼土之所以發生鹼性反應，乃由於代換性鈉之加水分解作用。按衛格納，土壤膠體所含之代換性鹽基，有不等之加水分解度，而以鈉為最強。衛氏對於代換性鹽基之加水分解作用的圖表為：

1. 膠體與其所吸收之代換性鹽基：

MgO			H <sup>+</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca <sup>++</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
Ca <sup>++</sup>	H <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>

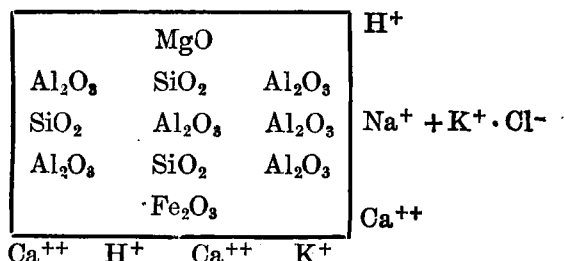
2. 以上組織與水化合後：

	+	+	+	+	
	-	-	-	-	
+ -					- +
+ -					OH Na OH - H
+ -					- + OH - H
	-	-	-	-	
	+	+	+	+	

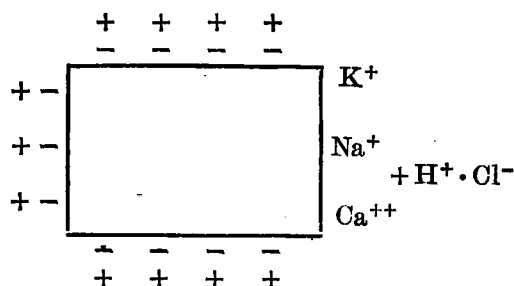
由於游離 NaOH 之生成，故使土壤發生鹼性反應。

代換性鹽基不飽和之土壤為酸性土壤，其所以發生酸性反應之原因，為游離氫素離子之存在。若以鹽基不飽和之土壤而施以氯化鉀肥料，則肥料之鉀與膠體之氫代換而生成鹽酸。鹽酸為電離力極強之酸類，故於土壤溶液中可完全電離而生成游離氫素離子。此種作用，若以衛氏之圖表代之，則為：

1. 不飽和土壤中施以氯化鉀：



2. 鉀與氫代換位置，而生成游離氫素離子：



由於氫素離子之生成，故使土壤發生酸性反應。

代換性鹽基量與土壤膠體之固定性① 土壤膠體所含之代換

① stability



性鹽基的量與種類，頗與其固定性有關：

1. 鹽基飽和土壤 此種土壤中之膠體物不向下移動，故其剖面中，不因三氧化物之損失與聚積而生成平際。(參照卷上第五節) 北方之齊奴生土壤，及含石灰之棕色土壤，即屬於此。

2. 鹽基不飽和土壤 冷氣候，雨量高之環境中，鹽基不飽和之土壤常含有酸類，如腐植酸，而使土壤呈酸性反應。在此種情形中，土壤膠體特別活動，三氧化物受滲濾水之沖洗而向下移動，使表土變為灰白色，即所謂之灰土平際也。

3. 鹽基不飽和之土壤 熱氣候，雨量高之環境中，土壤雖不含飽和量之鹽基，但因植物遺體分解迅速，供給土壤以鹽基，故土壤之酸度甚微。然膠體亦不固定，惟滲濾水所洗失者為矽酸，是以生成紅土與磚紅土類之土壤。

4. 以鈉為主要鹽基 膠體之代換性鈉與溶液中之鈉鹽與鈣鹽成平衡時，膠體十分固定，土壤構造十分良好，此種土壤謂之鹽土。土壤溶液中之鈉鹽與鈣鹽受沖洗之損失後，鈉膠體即發生加水分解作用而生成氫氧化鈉。膠體遇氫氧離子即羣散，(見下段)因而土壤構造破壞，生成所謂之『石田』及鹼土特有之柱形構造。(卷上第八圖)

#### 陰電離子代換作用

土壤膠體吸收磷酸之作用<sup>甲</sup>，已由莫特生①，福得②，哈浦耳③等之研究證明除沉澱作用外，尚有代換作用。惟此種研究尚在幼稚

① Mattson, S.

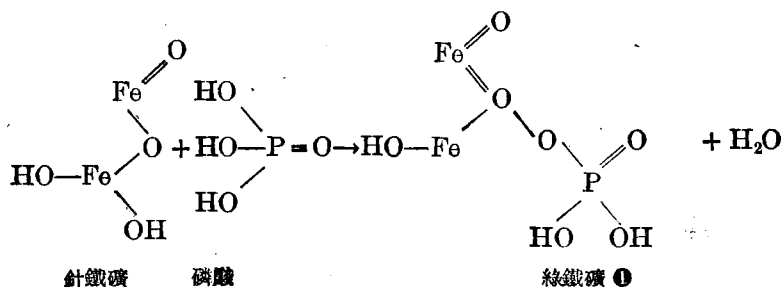
② Ford, M. C.

③ Harper, H. J.

時代，已知之事實尙少，僅述其主要者以供參考。

莫特生(1928)曾求得土壤膠體之含三氧化物愈多者，其吸收磷酸離子之力愈強，或  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$  比例數愈低時，磷酸離子之被吸收量愈大。此現象正與鹽基之被吸收情形相反。被吸收之磷酸離子可為氫氧離子所代換而解放於溶液中。

福得(1932)以鐵化合物吸收磷酸之作用不發生化學反應，僅為附加的，且惟有針鐵礦有此能力。其所擬之化學公式為：



哈浦耳(1933)曾創以膜分法將土壤中之代換性磷酸解放以測土壤所含之應用磷素量。(參照第八節)

洛衛康衛區(1934)曾求得膠體吸收磷酸之力與其所含之代換性鈣的量有比例關係， $\frac{\text{代換性 Ca}}{\text{被吸收 PO}_4} = 0.67$ 。洛氏亦曾求得氫氧離子可代換磷酸離子。

除磷酸離子外，土壤對於其他陰電離子之吸收力均甚微弱。

土壤膠體物之羣集與羣散

① dufronite

懸液狀態之土壤膠體，每個微粒，單獨行動，有卜浪運動之現象。在此種狀態中之膠體物，名之為羣散性膠體①。正常土壤中之膠體粒，彼此結合而成團粒，或附於較粗大土粒之表面而成團粒狀態。在此種情形中之膠體物，名之為羣集性膠體②。

土壤膠體之是否固定，一視其為羣集或羣散狀態而定。羣集性之膠體，不能自由行動，亦不受滲濾水之沖洗，存在於表土中，有膠體物之益，而無膠體物之害。羣散性之膠體，或與滲濾水向下移動，生成B平際，泥盤，硬盤等，或使土壤泥濘而不易耕作。是以含羣散性膠體之土壤，必須設法使膠體羣集以改良之，否則作物不能生長，或不能有豐滿收穫。

土壤膠體之羣集 施電解物於羣散性膠體液中，膠體粒即互相結合而沉澱。此種作用即謂之為羣集作用③，而其原理可依據海謀厚茲之二層電性解釋之；蓋土壤膠體粒負陰電，故其行為與陰電離子相同。於土壤膠體與土壤水分之二體組織中，施以電解物後，可發生三種變化：

1. 使海謀厚茲二層電性組織中之外圈陽電離子減低電解力而向膠體核移動，並與之結合以中和膠體核之陰電性。

2. 減低外圈陽電離子之水解度，使其與內圈陰電離子接近，例如由於鹽基代換作用，以水解度較低之 K, Ca, 或 H 離子代替水解度高之 Li 及 Na 離子。

① deflocculated colloid    ② flocculated colloid    ③ flocculation

3. 增加分散劑<sup>①</sup>之對電常數<sup>②</sup>。按范雷戴<sup>③</sup>，二電性間之吸引力或抵抗力，依分散劑之性質而變異。設  $q_1$  與  $q_2$  代表二電性，而以  $r$  代表二電性間之距離，則吸引力或抵抗力  $f$  為：

$$f = \frac{1}{D} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$D$  為分散劑特有之性質，名之為對電常數。按此公式，若  $D$  增加，則  $f$  必減低。

總之，膠體之所以成分散狀態，乃由於同電性之相反，但此相反力，受陽電離子之電離度及水解度，與分散劑之對電常數等因子之支配，若能減低陽電離子之電解度與水解度及增加分散劑之對電常數，則膠體失其卜浪運動能力而羣集。但土壤膠體之羣集現象，常與由物理化學的研究所成立之理論不符，其原因乃由於土壤膠體之複合構造與其體積之不一致，故不能與理想之膠體物相比。例如於電解物之濃度低時，較大之粒必先羣集。至於較小之粒，則必須經過相當時間，或增高電解物之濃度後始可羣集，而使全部沉澱。

土壤羣集作用之研究 研究土壤之羣集作用者，頗不乏人，尤以衛格奴之成績為最佳，而莫特生，康卜爾<sup>④</sup>，喬塞夫，奧克來等皆有重要貢獻。以上諸研究家所用之方法，可概分為四種：

1. 最常用之方法，為施電解物於膠體懸液中，而於每有定時間內，觀察懸濃度之變化。

① dispersion medium

② dielectric constant

③ Faraday

④ Comber, N. M.

2. 施用電解物後，於每有定時間內，以過強顯微鏡測每定量容積之膠體液中所含之膠體粒數。此方法較為精確，且可用之以測各種電解物之羣集力，惟手續較為煩難。

3. 施電解物後，以亞斯王滯度器<sup>①</sup>測膠體液之滯度<sup>②</sup>的變化。

4. 施電解物後，測膠體粒於電動力影響下之移動速率。

表演羣集作用之最簡單方法，為於膠體懸液中，施以電解物如氯化鈣，膠體粒於短時間內，即向下沉澱，而濁液變清。

關於羣集作用之機械的行為，衛格訥分之為二種：

1. 旁動力羣集作用<sup>③</sup> 膠體粒於卜浪運動之際彼此相觸而結合。

2. 正動力羣集作用<sup>④</sup> 較大之粒受地心引力向下墜落時觸較小之粒而結合。

以上二種羣集作用又可各分為：

1. 整置羣集<sup>⑤</sup> 羣集速度甚低，致使非球形體之膠體粒排列整肅，生成類似結晶體之團粒。

2. 無序羣集<sup>⑥</sup> 羣集速度甚高，膠體粒無機會排列，生成類似非結晶體之團粒。

電解物之羣集膠體力 各種陽電離子羣集膠體之力不等；原子價愈高者，羣集力亦愈高；同原子價離子中，亦有不等之羣集力。一原子價鹼金屬之羣集力，依次而列為  $Li > Na > K > Rb$ 。二原

① Ostwald viscosimeter  
③ perikinetic flocculation  
⑤ oriented flocculation

② viscosity  
④ orthokinetic flocculation  
⑥ random flocculation

子價者爲  $Mg > Ca > Ti > Ba$ 。氫素離子之羣集力與二原子價者相仿，或者由於其電離度之高於任何一原子價離子。但普通之土壤膠體羣集劑爲鈣，此乃由於經濟關係也。

不正常之羣集 普通含鈣之化合物，用作土壤膠體羣集劑者，有氧化鈣，碳酸鈣，及氫氧化鈣。氧化鈣與碳酸鈣施用之後，必先於土壤中變爲水溶性鹽類，始可生成鈣離子。設以氯化鈣代表水溶性鈣鹽而與氫氧化鈣比較，以察二者之羣集膠體力，則應以氯化鈣爲較佳，蓋氫氧化鈣之氫氧離子有羣散能力而減消鈣之羣集力。惟於氫氧化鈣之氫氧離子之濃度增加至一點時，則鈣離子之羣集力可超過氫氧離子之羣散力，而羣集作用立即發生。此種特別現象即謂之爲不正常之羣集<sup>①</sup>。

不正常羣集作用之原理，乃由於分散劑之變化，蓋由於氫氧離子之增加而使分散劑發生鹼性反應時，鐵，鋁，鎂等離子可沉澱爲氫氧化物，碳酸鹽，矽酸鹽，及磷酸鹽等。此種化合物之存在均可催速羣集作用。莫特生對於此種現象之解釋，更覺易於明瞭，即氫氧離子爲土壤膠體所吸收，所餘之二價陽電離子，每個可與二個膠體粒結合，故可催速羣集作用。

酸性土壤中亦有不正常之羣集作用。按喬塞夫與奧克來之所得，施不等量之  $NaOH + NaCl$  或  $Ca(OH)_2 + CaCl_2$  於氫黏土中，於濃度至某點時，則膠體羣集；使濃度加高，膠體復分散；濃度再加高時，膠體復羣集。按二氏之解釋，第一次之羣集爲正常現象。已羣集

① abnormal flocculation

之氫黏土，由於鹽基代換作用，而變為鈉黏土或鈣黏土時，則因其羣集較緩，故復分散，及至陽電離子之濃度增加至與新膠體之電力相等，或使二者復至等電點時，則第二次之羣集發生。

土壤膠體之羣散作用 土壤膠體若遇同電性之離子則羣散。智利硝之施用，每可破壞土壤之物理性，其原因乃由於所殘餘之鈉，加水分解而生成氫氧離子，以羣散土壤膠體，而破壞團粒構造。

#### 土壤膠體之定量分析

土壤膠體之定量分析法，有直接的與間接的二種：

直接方法——直接定量土壤膠體方法，為將少量之土壤和以大量之水，水中加以小量之氨水，用大力震動之，使膠體分散而成懸液。靜置懸液數日之久，或用遠心力將非膠體粒分離。將懸液中之水分蒸發乾後，秤膠體之量而算得百分率。

間接方法——土壤膠體含量之間接定量法為測土壤之某種膠體特性之強度，以所得結果與純膠體者相較，而計算膠體之量。膠體之吸收力為極易定量者，其法為使土壤與水氣，氨氣，或顏料液接觸，於平衡成立之後，由被吸收之量，依下列公式而計算膠體之量。

$$\frac{\text{每公分土壤之吸收量}}{\text{每公分膠體之吸收量}} \times 100 = \text{膠體之百分率。}$$

#### 參考書：

- Dutcher, R. A., and Haley, D. E.: *Agricultural Biochemistry*. pp. 190-199. John Wiley & Sons, Inc., New York. 1932.
- Ford, M. C.: *The Distribution, Availability, and Nature of the Phosphates in Certain Kentucky Soils*. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 24:395-411. 1932.

- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. Chapt. 9. The Macmillan Co., New York. 1930.
- Hissink, C. J.: Beitrag zur Kenntnis der Absorptionsvorgänge im Boden. Int. Mitt. Bodenk., 12:81—172. 1912.
- ....., Base Exchange in Soils. Trans. Faraday Soc., pp. 551—617. 1925.
- Joseph, A. F., and Oakley, H. B.: The Properties of Heavy Alkaline Soils. Journ. Agr. Sci., 19:121—131. 1929.
- Mattson, S.: The Laws of Soil Colloidal Behaviour. II. Cataphoresis, Flocculation, and Dispersion. Soil Sci., 23:373—409. 1929.
- ....., The Laws of Soil Colloidal Behaviour. VIII. Forms and Functions of Water. Soil Sci. 33:301—325. 1932.
- ....., and A. J. Pugh: The Laws of Soil Colloidal Behavior. XIV. The Electrokinetics of Hydrrous Oxides and their Ionic Exchange. Soil Sci. 38:299—315. 1934.
- Puri, A. N.: A new Method of Determining Clay Content of Sails by Moisture Absorption at 70 per cent Humidity. Soil Sci. 33:405—413. 1932.
- Puri, A. N.: Studies in Soil Colloids: IV. Methods of Estimating Soil Colloids. Mem. Dept. Agr. India, Chem. Ser., II: 119—131. 1930.
- Ravikovitch, S.: Anionic Exchange: I. Adsorption of Phosphoric acid Ions by Soils. Soil Sci. 38:219—241. 1934.
- II. Liberation of the Phosphoric acid Ions Adsorbed by Soils. Ibid. 279—291.
- Robinson, G. W.: Soils, Thire Origin, Constitution, and Classification. Chapt. V. Thomas Murby & Co., London, 1932.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Wd., Chapt. III and IV. Longmans, Green Co., London. 1932.
- Thompson, H. S.: On the Absorbent Power of Soils. Journ. Roy. Agr. Soc., 11:68—74. 1850.
- Way, J. T.: On the Power of Soils to Absorb Manure. Journ. Roy. Agr. Soc. 11: 313—379. 1850.



## 第四章

### 土壤溶液與土壤應用植物食料

#### 第七節

#### 土壤溶液

美國土壤化學家惠特迺①於一八九八年創植物由土壤溶液中吸取養分之說。惠氏與開木拉②以爲不論何種土壤中，其所含溶液之成分均約相同，且土壤溶液爲土壤礦物之飽和液。二氏根據此原理而創甚多關於植物營養之學說，其要者爲所謂之植物毒害物之土壤培肥說③即普通土壤皆含有足用之植物食料，而植物之所以生長不良的原因乃由於毒害植物之物質，此種毒害物質爲植物所遺留者，但一種植物所遺留之毒害物質，僅可害其同種植物。此種毒害物質可用耕耨，施肥，輪種等方法消除之或避免之。惠氏與開氏之學說，雖大部分已爲後來學者證明爲錯誤者，但植物由土壤溶液中吸取養分一說，則已成立。證明此說者，以美國加州之侯格蘭得④，卜爾得⑤，及莫庭⑥諸氏，由植物生理與土壤溶液之物理上的尋求，最爲有力。

---

① Whitney, M. ② Cameron, F. K. ③ plant poison theory of soil fertility ④ Hoagland, D. R. ⑤ Burd, J. S. ⑥ Martin, J. C.

土壤溶液之研究 研究土壤溶液之第一人爲希路生①（一八六六）。希氏之研究方法，爲以水代換土壤溶液，而分析所得之代換液。惟當時學者未能認明此研究之重要性，故乃中斷。至一八九八年惠特迺與開木拉發表其學說後，土壤溶液研究之創始者之功績，乃爲後來學者所追認。

現代之土壤溶液的研究，以如何提取土壤溶液爲起點。希氏之方法疑問頗多，蓋以水代換土壤溶液時，不免因濃度之改變而影響於成分，且土壤膠體所含之代換性離子是否完全提出，或概未提出，皆無法測定。於是後之學者，乃創直接提取土壤中原有之溶液之法。首創此種方法者爲卜里格斯②與莫克來恩③。二氏以二千至三千倍遠心力而提取土壤溶液，以分析其化學成分，且試驗其與土壤生產力之關係。惟以如此大力而搖動土壤，不免改變土壤之平常狀態，是以未能博得學者之贊同。隨此方法而加改進者，乃有卜里格斯與莫克客爾④之人工植物根⑤方法。其法爲以滲透性之磁土筒插於自然的土壤中，筒之上口接於真空吸管之上，借此吸力以抽取土壤溶液。此法固可免除土壤自然狀態之破壞，惟須土壤十分潤濕時，始可抽得溶液，且所需時間亦久。

歐洲及一部分之美國學者，於該時，仍有繼續改進希路生之代換方法者。溫索黑台冷⑥曾以液體巴拉芬作代換劑，而加以吸力，以抽取土壤溶液。復爲求便於工作及節省時間而改用壓力。再由摩

① Schlessing, Th. ② Briggs, G. E. ③ Melane, J. W. ④ McCall, A. G.

⑤ artificial root ⑥ Nchtelen, F. H. H. van

根<sup>①</sup>之苦心研究而修改所用之器具，但以巴拉芬之流動率太低，於是有勃克爾<sup>②</sup>者，乃改用乙醇。惟凡用壓力，或吸力，或遠心力所抽取之土壤溶液，非僅不能代表土壤之真溶液，且往往不能生長植物，因而為學者所棄置。

今之學者已捨方法上之尋求，而採用美國農部土壤局所創之人工規定方法。此方法為以一分之土壤，和以五分之水，搖動之，三分鐘後，速用巴斯特金卜蘭濾器<sup>③</sup>濾出溶液。由此法所得之提液，雖不能代表土壤之真溶液；但凡土壤溶液所含之各種化合物皆可有的，以之作定性的化學研究，尚屬適當。至於定量方面，則水分之增加，似可增進土壤之溶解度，故所得成分恆較優於由代換方法所得者。

#### 水分與土壤溶液

水之溶解力 不論何種礦物及岩石，皆可多少的溶解於水中。包伊姚克斯曾研究普通生成土壤之礦物及岩石五十二種，以察其在水中之溶解度。按其所得，石英最不易溶解，而魚眼石<sup>④</sup>為最易溶解者。溶解度似乎與水分成反比例。例如於水分量在 20% 時，被溶解之石英濃度為 350 ppm.，鐵質沙岩者為 1811 ppm.，而魚眼石者為 2187 ppm.。若使水分增加至 75% 時，被溶之石英的濃度乃減至 100 ppm.，鐵質沙岩者，減至 771 ppm.，而魚眼石者減至 975

① Morgan, J. F.    ② Parker, F. W.    ③ Pasteur-Chamberland filter  
④ apophyllite

ppm.。若以水滲洗岩石及礦物之碎末，則其溶解度，起始甚高，繼則漸低，但每次皆有溶解者。

土壤之溶解度 土壤所含各種礦物與水所可發生之變化，已於第一節中詳述之。（並參照卷上第三第四節）此處僅擇水分溶解土壤之作用述之以明其重要。水分溶解土壤之第一步的變化，為生成複雜之化合物，而水分在此之作用，可為直接的，亦可為間接的。直接的作用為其與土壤成分化合為一體，而間接的作用，為其接觸功用。例如一新鮮之矽酸鹽礦物，於未解放其所含之鹽基元素之前，首先發生加水分解作用，而繼之以水化作用<sup>①</sup>。土壤水分不論何時皆非純粹之氧化二氫，其中必溶解不等量且極微末之二氧化碳氣，及其他酸類如硫酸，硝酸，鹽酸，及腐植酸等。此種酸類之存在為使土壤水分增加其溶解力。

以土壤之組織而言，其固體部分含有膠體物。此種膠體複合物所吸收之鹽基，即所謂土壤之代換性鹽基者，若遇純粹之水，其活動力甚微，加水分解作用極為有限，但因土壤水分含有酸類，因而其氫素離子增加，而餘剩之氫素離子即可與鹽基元素代換，土壤溶液中之礦物成分因而增加。

包伊姚克斯對於土壤溶解力之實地研究，亦有重要結果。按其由美國米西干州<sup>②</sup>，路得島州<sup>③</sup>，紐約州，奧海奧州<sup>④</sup>及伊利諾州<sup>⑤</sup>所採之土壤的研究，皆指明溶解率起始甚緩，漸即增加。六十日之溶解期內，溶解液之濃度，由 250 ppm. 增至 1000ppm.。若以普通

① hydration ② Michigan ③ Rhode Island ④ Ohio ⑤ Illinois

用作肥料之鹽類的溶液而溶解土壤，則土壤之溶解度大見增加。

綜上所述，土壤之溶解度，依美國農部土壤局及其他試驗場之報告，可因下列各因子而變異。

1. 溫度與壓力 此二者之增高，皆可增加土壤之溶解度。

2. 二氧化碳氣 二氧化碳氣與其他酸類之存在，皆可增加土壤之溶解度。

3. 鹽類 鹽類之存在，不論有機者與無機者，皆可增加土壤之溶解度，惟有一定之平衡。

4. 植物與微生物 此種生物之作用，皆可生成溶解土壤之物質。

植物食料化合物之溶解度 土壤所含之簡單化合物中，與植物之營養有關係者，可依溶解度之高低而列之如下：（由最易溶解者至最不易溶解者）

鹽基	酸基
鈉 Na	硝酸鹽 $\text{NO}_3$
鉀 K	氯化鹽 Cl
鈣 Ca	酸性碳酸鹽 $\text{HCO}_3$
鎂 Mg	硫酸鹽 $\text{SO}_4$
鐵 Fe	碳酸鹽 $\text{CO}_3$
鋁 Al	磷酸鹽 $\text{PO}_4$

以上之排列，僅表示其大概情形。化學的研究，指明硝酸鹽，氯化鹽，及酸性碳酸鹽皆為最易溶解者。鉀與鈉之硫酸鹽亦易溶解，

鈣與鎂之硫酸鹽則不易溶解，而磷酸鹽僅可有少量溶解於土壤水分中。溶解度頗受土壤反應之支配，例如鐵與鋁之化合物，於正常土壤中，溶解度極微，然於強酸性或強鹼性反應之土壤中，則溶解度甚高也。

### 土壤溶液之狀態

土壤中有三種水分，即吸着水，毛細管水，與重力水。若依土壤溶液之狀態而言，此三種水分各可生成不同性之土壤溶液，蓋吸着水與毛細管水與土粒有密切之關係，而重力水則與土粒無關也。

土粒與土壤溶液之關係 與吸着水及毛細管水最密切結合之粒，為土壤之膠體粒。膠體粒不僅可吸收水分且可吸收溶液中之鹽基元素或陽電離子，因而影響於土壤溶液之濃度。茲舉例以明之。以石英沙與硫酸鈣相混合，然後予以一定之水分，則因石英沙無吸收力之故，不論何時，溶解於水分中之硫酸鈣的量，與未溶解者，必有一定之平衡，不因石英沙之存在而損失其平衡狀態。若於平衡成立後，復增加水之量時，則溶液之濃度與水之量成反比例。在土壤中則不然。土壤溶液中所含鈣之濃度，乃由土壤中之固體鈣鹽，膠體所吸收之代換性鈣，及有機物所化合之鈣成平衡，是以凡於水分增加之時，濃度之變化，非簡單的僅與水成反比例也。

土壤溶液中所含之離子，亦有不能為膠體所吸收者，如  $\text{NO}_3^-$  及  $\text{Cl}^-$  等。此種離子於土壤水分甚高，（重力水狀態）與植物不能吸收之以作食料之時，則必取一陽電離子相伴而流失之，但所取者，

似以鈣爲主體，因而不僅影響於其自身之量，且可影響於鈣之成分，及各種鹽基之比例量。由上述之複雜情形以觀，土壤溶液之研究結果的解釋與應用，皆須特別慎重也。

濃度與土壤溶液之狀態 土壤溶液之濃度的研究，以包伊姚克斯等之冰點下降的直接測定法最爲精確。按一般土壤中，其溶液之濃度最低時爲 0.2 氣壓，而最高時不超過一氣壓。根據此濃度而言，則凡水分充足之土壤中，其溶液所含之鹽類，應爲離子態，（鹽鹼土除外）因而皆可爲植物所吸收。凡一種植物食料被植物所吸收後，補充此種食料者，非未溶解之鹽類，而爲膠體所吸收之代換性鹽基，與已變化之礦物所含之可發生加水分解作用之物質。但此種植物食料之供給，頗受土壤反應之支配，且酸性土壤中與鹼性土壤中所解放於土壤溶液中之化合物，種類與量皆可有所別，而土壤之反應又非固定者，每經一次變化，則土壤溶液中之化合物的成分與量皆須從新成立一次平衡。此土壤溶液之複雜性的又一點也。

綜以上二段所述之複雜情形，而在實際的立場上論之，可取愛謀爾生之語總結之：『在實際的立場上，土粒與溶液之關係爲供給與要求。土粒爲供給者。供給者受合法與不合法之要求。……例如植物爲合法之要求者，而冲刷，滲濾等之損失爲不合法之要求者。……此種損失必須補充之。惟因鹽基之損失，較高於酸鹽者，則不能避免以氫代鹽基之趨向，結果爲使土壤漸變爲酸性反應。酸性反應之逐漸發生，頗含重要性質，因隨同酸性反應之變化，爲使植物食料損失，而減低土壤之生產力』。

## 土壤溶液之成分

吾人於未討論各研究家所得之土壤溶液之成分前，須喚起讀者之注意，即凡各成分皆為人工由土壤中所抽取者，而非真正代表真土壤溶液之成分者也。

希路生之代換液 希路生(1866)以土壤三十至三十五公斤置於無底瓶中，將瓶倒置，由瓶底灌水，土壤水分乃被代換而由瓶口流出。所得代換液之分析，乃得下列之成分：(每公升之 mgm. 量)

SiO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>3</sub>	Cl	有機物	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub>
29.1	305	118	264	13.5	6.9	7.8	57.9	7.4	37.5	痕跡	痕跡

上述溶液之總濃度為 0.08%，土壤含水量為 19.1%。

上列結果之最堪注意者，為 NO<sub>3</sub> 與 CaO 之特別高量。其他學者之分析，亦得相仿之結果，其重要性容後述之。

摩根之油代換液 摩根以巴拉芬<sup>①</sup>代換土壤溶液而壓力抽取。此代換液之化學成分為如下表：

第三一表 巴拉芬代換液之成分(百萬分中之數)

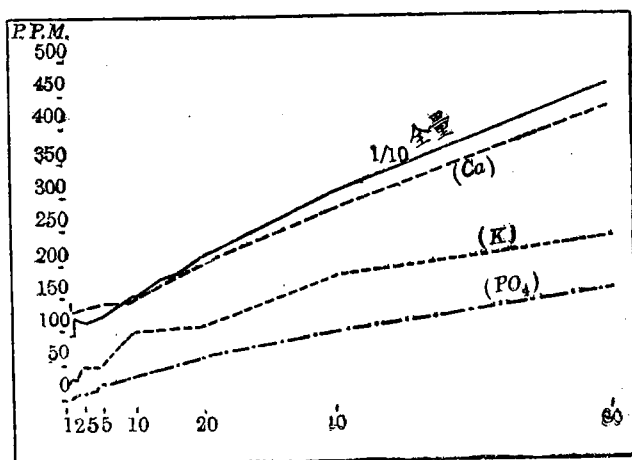
土壤	K	PO <sub>4</sub>	Ca	Mg	NO <sub>3</sub>
細沙壤土	19.8	3.7	110.2	102.5	0.3
中沙壤土	36.0	5.2	46.8	.....	46.5
泥沙壤土	71.1	12.2	68.2	.....	1.6
黏土	44.8	4.6	42.8	132.5	5.4
泥炭	50.1	2.5	183.8	.....	15.6
泥炭	91.1	15.6	91.9	.....	57.0
腐植土	60.1	2.5	63.1	.....	13.1
腐植土	100.0	2.7	125.9	.....	24.0

① parafin



以上表所列者與希路生氏所得者相比，可見大有差別。其最明顯者，為鉀與磷之量較高，而鈣與硝酸則雖亦含大量，然以比例量而言，則不若希氏所得者之高也。

水代換液之成分 由上列二結果比較觀之，以水代換土壤溶液，似較以油代換者為佳。惟水增加時，可增加土壤礦物之溶解度，可於下圖見之：



水分比例

第五圖 水分量與土壤溶液成分

由上圖可見鈣之濃度與水之比例量並增。鉀增加至一限度後，即似乎成一平衡，而磷酸則概約相同。

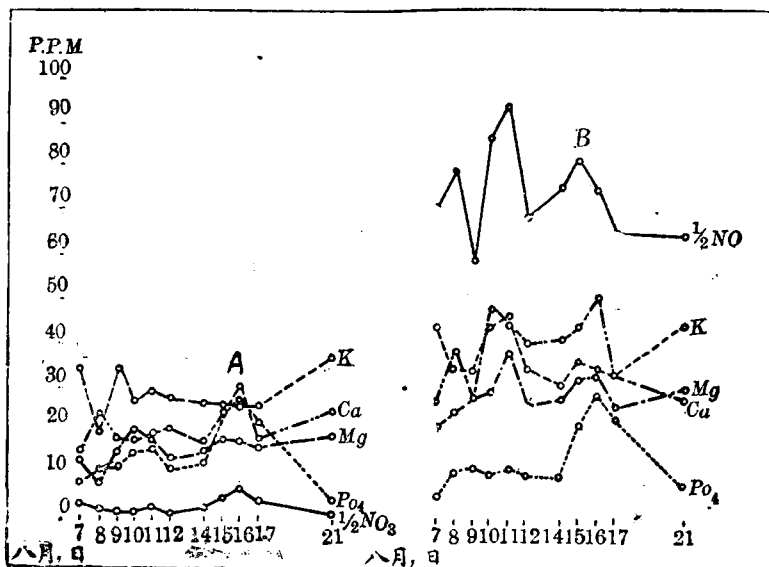
在實際上，凡無作物生長之農田中，水分高時，其所含之各種植物食料亦高。茲舉特路非莫夫<sup>①</sup>之結果表明之。

① Trofimov, A. W.

第三二表 在各種情形下，土壤溶液中所含  
植物食料之成分與濃度

觀 田	水分量	全乾水質量	全鹽類量	濃度	氮量(NH <sub>3</sub> )	氮量(NO <sub>3</sub> )
四月(1924—27)	19.8	1050	360	0.45	4.4	10.8
八月	21.5	1470	390	0.50	14.5	50
四月(又)	18.3	830	.....	0.45	40.5	5.4
八月	20.4	1340	350	0.45	17	48

以土壤一分，水五分，所提取之土壤溶液，所以能代表土壤眞溶液者，爲其可表示植物於生長之時吸收食料之情形。下圖爲司徒亞得①之結果：



第六圖 作物生長對於土壤溶液濃度之關係 A. 生長作物 B 未生長作物

① Stewart, Guy P.

土壤溶液所含之化合物 土壤溶液中之溶解物，在普通水分量狀態中，皆為離子狀態。化學分析結果僅可得元素之成分，根據元素之成分而計算其化合物之量。事實上各種離子如何結合而組成化合物，僅有恩達生<sup>①</sup>與福雷<sup>②</sup>之研究結果，可取為證。恩氏與福氏曾取四百磅之土壤而以大量之水以提得 1.250 公升之提液。將提液中所摻雜之固體去淨後，乃於水蒸發熱中乾之。於蒸發之際，濃度每經一變化即有結晶體生成。將此結晶體取出，以化學及礦物學方法觀察之。下表所列為其所得之各種礦物。

第三三表 土壤水提液中所含之鹽類(x 表示存在)

所得鹽類	土壤		
	加洲白鹼土	衛基尼亞 <sup>③</sup> 泥沙壤土	亞拉伯莫 <sup>④</sup> 泥沙壤土下土
單 鹽 <sup>⑤</sup>			
氯化鹽 (chlorides)			
鉀鹽 (silvite)	.....	x	x
石鹽 (halite)	x	x	x
硫酸鹽 (sulphates)			
石膏 (gypsum)	x	x	x
瀉利鹽 (epsomite)	x	x	.....
硫酸鎂礦 (kieserite)	.....	x	.....
硫酸鈉礦 (thenardite)	x	x	x
芒硝 (mirabilite)	x	x	.....
碳酸鹽 (carbonates)			
方解石 (calcite)	x	x	x
文石 (aragonite)	.....	.....	x
菱鎂礦 (magnesite)	x	.....	x

① Anderson, M. S. ② Fry, W. H. ③ Virginia ④ Alabama ⑤ single salts

碳酸鈉礦 (thermonatrite)	x	.....	.....
碳酸鈉	x	.....	x
磷酸鹽 (phosphates)			
磷酸三鈉	x	.....	.....
複鹽 (double salts)			
氯化鹽			
光鹵石 (carnallite)	x	x	.....
硫酸鹽			
硫酸鉀礦 (aphthitalite)	x		
硫酸鉀鎂礦 (picromerite) *	x	x	x
紅鈉鎂礦 (blodite)	x	.....	x
硫酸鈉鎂礦 (loweite)	x	.....	x

除上表所列者外，加洲白鹼土溶液中尚含 leonite  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ ; langbeinite  $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ ; vanthoffite  $3Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$ ; kainite  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ ; 及 hanksite  $9Na_2SO_4 \cdot 2NaCO_3 \cdot KCl$ 。

二氏於得上列結果後，復研究海水所含之鹽類，以作比較，乃得極相似之結果，惟海水所含之鹽類種類較多耳。由二氏之研究結果，可知根據於元素之成分所計算之化合物量，頗與事實相左。

### 影響土壤溶液成分及濃度之因子

由上列各表及第五、六二圖觀之，土壤溶液之成分及濃度變化甚烈，而影響此種變化之因子甚多，其主要者為土壤之水分量，植物之吸收，土壤生物之作用，及有機物之量。茲述之如下：

土壤之水分量 惠特迺與開木拉以為土壤水分之增加或減少，對於土壤溶液中所含之各種植物食料之影響不等。

甲 硝 ( $\text{NO}_3$ ), 氯 ( $\text{Cl}$ ), 及鈣 ( $\text{Ca}$ ) 的濃度與土壤水分量成反比例。即水分增加時, 此三種成分之量即依比例而減低。指明土壤所含之硝酸基與氯可完全溶解於土壤溶液中, 而此二種酸基同時須取等化合量之鈣以伴之。由鹽基代換的研究, 亦指明酸基中僅磷酸基可為土壤所吸收, 其他陰電離子皆不能為膠體所吸收。多含黏土之土壤中一部分之鈣可以鎂代之。

乙. 磷酸之濃度雖各種土壤所含之量不等, 但皆與水分量無關。似乎土壤水分為磷酸飽和液。若因植物之吸收而減少之時, 則可由礦物之溶解以補充之。若溶液中含過多之磷, 則其一部分可放出變為固體者。普通土壤溶液所含之磷酸量約為百萬分之一至三。

丙. 鉀之濃度與土壤溶液之濃度並相增減, 但無比例關係。指明應用性鉀非於一次完全溶解於土壤溶液中, 乃一部分溶解而一部分被土壤吸收。溶液中之鉀與土壤中之鉀似有一定之平衡。

以上各情可由卜爾得與莫庭之水代換土壤溶液見之。所用之土壤皆取之於加洲之生長植物者。

第三四表 加洲土壤之溶液成分

土壤	時期	pH.	各成分之 ppm. 量								全量
			$\text{NO}_3$	$\text{HCO}_3$	$\text{SO}_4$	$\text{PO}_4$	Ca	Mg	Na	K	
第七號	30/4, 1923	7.4	149	83	561	1.1	242	91	42	21	1190
含水量	4/9, 1923	7.6	58	155	432	0.6	193	47	40	9	935
12.5%	28/4, 1924	7.6	252	142	699	0.6	336	76	59	12	1527
第二號	30/4, 1923	8.2	173	160	671	3.3	222	97	87	41	1454
含水量	4/9, 1923	7.6	16	234	598	1.2	192	64	44	22	1171
12.4%	28/4, 1924	8.1	263	259	785	2.9	276	94	78	35	1793

植物之生長 生長於農田中之植物，由土壤溶液中吸收其食料，使溶液濃度減低。但所吸收之物質，似乎有選擇性，硝酸幾可完全為植物所吸收，其次為鈣與鉀，鈉與硫酸則所吸收者甚少。至於土壤溶液之全濃度的變化，可於第六圖見之。

微生物之作用 植物於生長之際，所吸收之食料，由微生物之作用以補充之。微生物之作用，為生成陰電離子，因陰電離子之存在，可使等化合量之陽電離子生成。莫庭與候格蘭得曾經於水滲洗之土壤於滅菌後，儲藏一年之久，乃知水溶化合物毫未增加。以同一土壤，如法收藏，但未滅菌，水溶性化合物之量大增。由微生物作用所生成之陰電離子以硝酸根為主，次為硫酸根及重碳酸根<sup>①</sup>，而所溶解之鹽基，皆為鈣與鎂。

有機物之作用 有機物對於土壤溶液之成分及濃度的作用，一若土壤膠體物者，即一方為供給，一方為吸收也。有機物所含之植物食料甚多，而硝之來源，幾皆為細菌分解有機物所含之蛋白質而放出者。土壤無機膠體物之溶解，為單純之化學作用，此作用不若微生物分解有機物之迅速。故對於供給土壤溶液之化合物，以有機物較為有效。至於吸收方面，按希生克有機物吸收鈣之力較黏土者可高五倍，由是可知有機物所含之代換性鹽基必特多也。

#### 土壤水溶化合物之損失

土壤中之植物食料可由四種原因而損之：(1) 植物吸收。若所

① bicarbonic acid radicle

生長之植物，收穫之以作人及動物之食料，則此損失為量至巨。(2)揮發作用，此損失甚有限，僅硝酸還原作用，可損失氮。(3)機械的損失作用，即冲刷損失，風之吹失等。(4)滲濾，即滲濾水將水溶化合物洗滲於地下水中而流失之。

**作物之吸收** 作物由土壤中所吸收之食料量，可由作物之分析與產量而計算之。各種作物之成分不一，而各處之產量亦異，故對於此項損失，僅可以指定之土壤與其所生長之作物產量，用化學分析方法求得之。美國康奈爾試驗場曾有一五年之作物吸收及排水流失試驗，其結果見第三五表。

**揮發作用** 土壤氮素由於硝酸還原作用之損失量，依土壤之情形而定。凡空氣不流通之土壤中，若多含新鮮有機物及硝，則不免有硝酸還原作用。普通在此種情形中者甚少，故非不可免之損失。

**機械的損失** 冲刷損失頗難計量，因手續上之困難，復因測定器之不易製作，故少見關於此種損失之記錄。對於表面之損失，杜來①與米勒爾②曾作研究。按其所得，每年由小麥與金花菜田，每英畝所流失之水溶植物食料總量為166.8磅。而又一田中，於春季鋤掘四英寸，以代犁耕全年作蕪田，流失380.1磅。鈣與硫損失最多，鉀之損失較少，氮，鎂，鈉之損失極為有限。

**滲濾損失** 土壤化合物之於溶液狀態損失者，為由於滲濾作用。對於滲濾作用之研究，以英國羅塞模斯台得與美國康乃爾二試驗場之紀錄為最長久。

① Duley, F. L. ② Miller, M. F.

第三五表 五年內每年平均每英畝由於作物吸收與排水滲洗

所損失之植物食料磅數(康乃爾)

試驗號	磷		硫		鈉		鉀		鎂		鈣		氮	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
3	20.6	31.8	11.4	99.9	9.9	52.7	90.9	30.2	8.3	200.7	13.0	7.3	81.0	
4	.....	44.0	.....	122.4	.....	73.3	.....	60.0	...	370.8	.....	102.7	.....	
5	21.0	31.5	10.5	68.0	8.3	39.7	90.5	28.0	8.9	104.6	16.9	5.1	81.0	
6	12.8	43.2	9.4	82.5	10.4	46.5	58.7	43.1	5.1	226.0	9.8	3.2	59.6	
7	20.0	43.9	11.0	70.2	.....	43.7	83.5	40.5	8.0	167.8	12.4	4.5	73.0	
8	.....	53.1	.....	82.9	7.5	48.8	.....	70.4	...	364.0	.....	75.0	.....	
9	20.8	41.0	9.3	78.8	10.8	45.9	91.1	42.9	7.8	186.6	17.6	5.6	82.6	
10	12.9	37.7	9.2	71.3	6.5	46.8	57.8	37.2	4.6	154.3	9.6	3.1	57.8	
11	17.0	56.4	8.8	84.1	6.3	43.7	77.5	49.2	5.8	213.1	10.2	5.3	68.4	
12	19.2	62.0	10.0	79.8	.....	40.3	84.0	37.1	6.4	199.7	11.5	6.8	73.8	
13	9.4	35.2	9.6	.....	.....	88.6	36.1	29.6	3.1	257.6	7.5	8.7	34.5	
14	.....	43.3	.....	.....	.....	99.1	.....	39.3	...	319.4	.....	46.0	.....	
15	11.1	33.7	10.7	.....	.....	57.8	33.1	31.7	3.9	255.1	10.1	26.6	43.4	
16	.....	39.0	.....	.....	.....	69.9	.....	51.6	...	383.4	.....	58.0	.....	

A 行爲排水洗失者。

B 行爲作物吸收者。

看可克黏性壤土

王路希泥沙壤土



作物制——試驗號 4, 8, 14, 16, 憇田。

試驗號 3, 7, 11, 12, 玉米, 莜麥<sup>①</sup>, 小麥, 及馬草<sup>②</sup>,  
二年輪種。

試驗號 5, 9, 玉米, 莜麥, 小麥, 馬草, 及金花菜, 二  
年輪種。

試驗號 6, 10, 莜麥, 馬草, 四年輪種。

試驗號 13, 15, 莜麥, 豇豆, 玉米。

施肥制——試驗號 3, 4, 5, 6, 13, 厩肥, 每四年施十噸。

試驗號 7, 8, 9, 10, 15, 16, 厩肥及  $1\frac{1}{2}$  噸生石灰 (石  
灰於試驗起始時施用)。

試驗號 11, 厩肥及硫酸鉀 ( $K_2SO_4$  每年每英畝施  
200 磅)。

試驗號 12 與 11 同, 但同時施有石灰。

由上表, 可見磷之損失, 幾完全由於植物之吸收。硫, 鈉, 鈣, 鎂  
之損失, 以滲濾為主。氮之損失則視植物之吸收力而定。

雨量低, 不含酸性反應之土壤中, 由排水而損失之植物食料甚  
少, 但為量亦頗可觀, 下表所列, 為福來浦斯<sup>③</sup> 於美國台克索斯<sup>④</sup>  
八種不同土壤之試驗結果。

① oats ② timothy ③ Fraps, G. S. ④ Texas

第三六表 台克索斯八種不同土壤，三年內每英畝  
所損失植物食料之磅數。

土壤標權	N(硝酸)	K	CaO	MgO
奴佛克沙土①	26.7	9.7	70.4	13.0
亞龍基堡細沙壤土②	81.9	32.1	181.0	26.8
米勒爾細沙壤土③	85.5	39.0	259.0	49.2
路夫金沙壤土④	75.6	58.6	172.0	52.7
胡斯頓壤土⑤	78.9	18.5	258.1	46.8
胡斯頓黑色黏土⑥	147.0	8.2	441.7	40.5
頁如黏土⑦	244.2	66.6	582.0	51.1
克拉福得黏土⑧	203.1	38.6	569.0	43.2

### 土壤水溶化合物之增加

水分不僅可由土壤體中攜帶水溶化合物而去，且可攜之而返。大氣之中，不論何時，皆可為風吹起之塵土。此塵土於空中與水氣接觸時，即凝集水氣而成雨滴。水氣凝集為雨滴之時，即溶解大氣中之氧，氮化合物如硝酸，氨等及二氧化碳等氣，亦可溶解由燃燒而放散之硫，氯等氣體。固體塵土，雖不能溶解，但亦與雨滴下降而同氣體落於土壤中。

與雨水降落於土壤中之元素態氧，與土壤溶液之關係，恐無研究價值，但各種溶於雨滴中之化合物，或各元素之化合體，則關係

- ① Norfolk sand ② Orangeburg fine sandy loam ③ Miller fine sandy loam ④ Lufkin sandy loam ⑤ Huston loam ⑥ Huston black clay ⑦ Yazoo clay ⑧ Crawford clay

切要。溶於雨滴中之二氧化碳的重要性，頗難測定，因土壤中由於有機物之腐爛與植物之吸收，皆可放散此氣體，其作用當已證明為溶解土壤礦物而增高土壤溶液之濃度。但此作用之若干部分為由於雨水所帶來之二氧化碳氣，則不可得知。大氣供給土壤以氮的重要，則可由下表所列克拉克之報告見之。

第三七表 雨水攜帶於土壤中之氮量(每年每英畝之磅數)

地點	全氮量	地點	全氮量
英國羅塞模斯台得試驗場	3.84	比國	9.20
法國巴黎	8.93	英國屬古亞納 <sup>①</sup>	3.54
美國堪塞司 <sup>②</sup>	3.69	新西蘭 <sup>③</sup>	2.08
美國猷塔 <sup>④</sup>	5.42	冰島 <sup>⑤</sup>	1.06
美國米西西北州 <sup>⑥</sup>	3.63	海卜利地 <sup>⑦</sup>	0.60

薛特<sup>⑧</sup>與海得來<sup>⑨</sup>曾有十七年之分析，以察雨雪攜帶於土壤中每種氮化合物之量。下列為平均每年每英畝所得之磅數。

氮化合物	雨	雪
游離氮	3.322	0.568
蛋白氮	0.654	0.194
亞硝與硝	1.762	0.142
總量	5.738	1.174

按薛海二氏之報告，每年每英畝由雨雪所攜帶於土壤中之氮為4.322至11.485磅，而十七年之平均為6.916磅。

① British Guiana ② Kansas ③ New Zealand ④ Utah ⑤ Iceland  
⑥ Mississippi ⑦ Hebrides ⑧ Schutt, F. T. ⑨ Hedley, M. A

羅素與里查慈<sup>①</sup>在英國羅場之二十八年的紀錄，平均每年每英畝得氮 2.64 磅，硝態氮 ( $N_2O_5$ ) 1.33 磅，氯 16 磅。

雨雪所攜帶於土壤中之硫的量，亦頗不少，惟紀錄年限不似氮者之長久。司徒亞得<sup>②</sup>於美國伊利諾州七年之紀錄，每年每英畝由雨雪所得之硫為 45.1 磅。司氏於該州又一地點所得三年之平均數為 40.8 磅。

莫金台爾<sup>③</sup>於台內西<sup>④</sup>州之三年紀錄，平均每年每英畝竟由雨水中得硫 124 磅。

克路若<sup>⑤</sup>與司徒爾特<sup>⑥</sup>於英國之里慈城<sup>⑦</sup>曾測三處之雨水含硫量，所得結果，每年每英畝為 330, 210, 及 160 磅。但於城外之紀錄僅得 60 磅。可見燃燒對於大氣成分之重要。

濱海之處，雨雪亦可攜帶鹽類於土壤中。下表所列取之克拉克之報告。

第三八表 雨雪攜帶於土壤中之鹽類 (每年每公畝之公斤量)

鹽類	公斤	鹽類	公斤
NaCl	37.5	$Na_2SO_4$	8.4
KCl	8.2	$K_2SO_4$	8.0
$MgCl_2$	2.5	$CaSO_4$	6.2
$CaCl_2$	1.8	$MgSO_4$	5.9

雨雪所攜帶之氯的量，亦頗可觀，惟與海之距離有關。下表所列為克拉克於世界各處所測得者。

① Richards, E. H. ② Stewart, Guy R. ③ McIntire, W. H. ④ Tennessee  
⑤ Crowther, C. ⑥ Steurt, D. W. ⑦ Leeds

第三九表 每年每英畝由雨雪所得之氣之量(磅數)

地點	磅數	地點	磅數
英國羅場	14.87	俄國奧代索①	17.00
印度西蘭②	180.63	卜巴到斯③	116.98
印度客克塔④	38.87	英屬桂亞訥	129.24
印度莫都拉斯⑤	36.27	新西蘭	61.20

我國北方每於乾旱之時，大風恆作，飛塵由西北方面向東南吹動，每遇阻礙，風率減低，則塵粒降落，如此而增加於土壤中之礦物質，有時可至數公絲之厚度，其中是否含有水溶化合物，及此種礦物質對於土壤溶液之影響為如何，大有研究之價值。

#### 參考書：

- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. pp. 210—251. The Macmillan Co., New York. 1930.
- Lyon, T. L., and Buckman, H. O.: The Nature and Properties of Soils. pp. 232—252. The Macmillan Co., 1930.
- Robinson, G. W.: Soils, Their Origin, Constitution, and Classification. pp. 28—32. Thomas Murby & Co., London. 1932.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., pp. 482—488, 502—503, Longmans, Green & Co., London. 1932.

劉和 土壤學 卷中 第七章 商務印書館 民國二十四年

① Odessa ② Ceylon ③ Barbados ④ Calcutta ⑤ Malras

## 第八節

## 應用植物食料

所謂土壤中之應用植物食料<sup>①</sup>者，乃指植物食料之可為植物所取用者而言，故亦謂之為可用植物食料，而美國土壤化學家福來浦斯<sup>②</sup>則名其為土壤所可給予植物之食料。

由化學的研究，吾人已知土壤所含之植物食料化合物，有可溶解於水中者，是為土壤溶液之成分；有為土壤膠體所吸收者，即所謂之代換性植物食料；有極不易溶解者，乃未風化之礦物及未分解之有機物所含者。

由植物生理的研究，吾人已知植物由土壤溶液中吸取食料，是以凡土壤中之水溶性植物食料，皆為植物之應用食料。土壤膠體複合物所吸收之代換性植物食料，可由於反應的變化及鹽基代換作用，離開膠體物而入於土壤溶液中，故此種植物食料，可謂為半應用植物食料。植物之根部可分泌碳酸以溶解礦物而取其所含之食料。土壤微生物可分解有機物而解放其所含之植物食料，或生成有機酸溶解礦物而生成水溶鹽類，是以不易溶解之礦物與有機物亦可供給應用植物食料。因而吾人不能單就土壤溶液之成分以斷定土壤供給植物食料之能力，亦不能單就土壤所含之代換性植物食料量而確定土壤之生產力，更不能依土壤所含植物食料之全量而

① available plant food ② Fraps, G. S.

測定其肥沃度。由上述之複雜情形觀之，若欲求得方法而測定土壤所含之應用植物食料量，不僅方法之不易求得，即有之亦恐難有廣大之應用性。然土壤之應用植物食料含量，為必須求知者，蓋自肥料工業發達以來，農業經濟已與工業經濟密切繁連。但若以歷年來之肥料價值的漲落與農產物者相比，則可知肥料之價值非完全受農產物價值之支配。（見下圖）舊時代之肥料問題幾皆由農家自決，所施用者為廐肥，綠肥，堆肥等。此種肥料成分既低，且為有機肥料，施量之大小無特別限制。遇有不足用時向鄰里購買，索價十分低廉。今日之化學肥料，價值昂貴，成分甚高，施量不適，即受經濟損失，故僅可用之以補充植物食料之不足，而不能特之以作培肥土壤之工具。郝務得<sup>①</sup>曾云：『凡非必需之肥料花費，皆可使生產費增加，而減低農民應得之利益。』是以為獲得肥料之最大的經濟利益，於未施肥之前應測知土壤所缺乏者為何種肥料，及所需補充之量為若干。

#### 土壤所含應用植物食料測定法之研究經過

土壤應用植物食料含量測定法之研究已有百餘年之歷史，但至今日始有極有價值之發展，蓋植物營養，土壤供給與固定植物食料各問題，自二十世紀以來，始能逐漸求得真確之答覆也。

土壤之應用植物食料含量，自然的可有四種方法測定之。（1）直接的栽培植物，以施肥者與未施肥者作比較，由生長之狀況與所

<sup>①</sup> Howard, A.

收穫之量而求得所試土壤與所試作物之肥料需求。此為普通之肥料試驗。(2)根據植物吸收食料之能力與其生長上之各種定律，以收穫量為標準而計算土壤之需肥程度。此為米采利希①之盆植法與腦包爾②之幼苗法。(3)分析植物體某部分細胞之汁，由其所含各種食料的量而推測土壤之供給食料能力。此法可簡名之為植物汁分析法。(4)分析土壤而測定其應用植物食料含量。此法可簡謂之為化學分析法。茲將各種方法之發明經過與所根據之原理簡述之。

普通肥料試驗法 普通肥料試驗法之創始者為得尙舍③(1804)，而承其後者英國有勞阿斯④與基博爾特⑤，法國有包生剛⑥與希路生⑦，德國有利比希⑧等，英國羅塞模斯台得試驗場之肥料試驗田已有將近百年之歷史。包生剛之盆植試驗結果雖至今日多為學者所引用。利比希之思想與理論常為農業科學之革命先聲。然各人所用之方法，手續既繁，而肥料之施量與所施者之種類無預先測知之可能，惟有擴大處理之種類與數目，由其試驗中而尋求合理之結果耳。二十世紀以前之學者莫不視肥料試驗為得失不可逆料之工作，所得結果常與所希望者不符，或無法解釋之而不得不忍置之。許來那⑨為使所施肥料之量與種類的趨異有一定之統系，乃於1918年創所謂之三角制肥料試驗法⑩。許氏創此法之原

① Mitscherlich, E. A. ② Neubauer, H. ③ de Saussure, Th. ④ Lawes, J. B. ⑤ Gilbert, J. H. ⑥ Boussingault, J. B. ⑦ Schloesing, Th. ⑧ Liebig, G. von. ⑨ Schreiner, O. ⑩ the triangular system of fertilizer experiments.



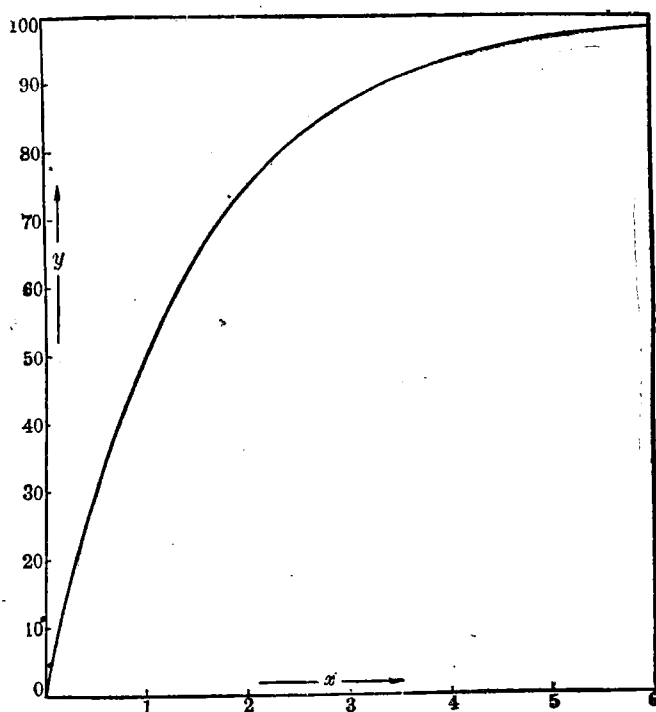
理，基於肥料之要素僅限於氮磷鉀三種元素。若欲將此三個因子之關係以圖表之，可製一三角形，每邊代表一個因子，則此三種肥料要素皆可畫入圖中。若由每邊各線之中點畫一直線，與邊線成正角，復將各直垂線分為數段，每段代表一階級之量的趨異，以隣邊線之段代表最低量者，離邊線愈遠，量愈增加，則此三直垂線之聚點代表三要素皆為同量，而聚點外之其他部分各代表一不等之施量與不同之肥料種類。用此法而作試驗後，所得結果，不論增加與減少，皆可指出其為由於何種肥料或何種施量所致。（參照劉和肥料學講義第176—182頁）許氏之方法發表之後，曾風行於世，堪稱為肥料試驗法中之最大的進步，惟不論用之田間或盆植，皆需要長久之時間與繁費之手續，金錢之消耗亦自必甚大，且溫度，雨量，病蟲害，機械的損失等因子，既無法節制，意外損失亦在所不免，因而生長不良者，未必皆由於應用植物食料之缺乏所致也。

米采利希之方法 1840年之前，學者對於植物之營養要素，假說甚多，各言其是。1840年後，德國學者利比希創礦質營養要素說<sup>①</sup>，植物營養要素研究之基礎，由是以立。利氏由其礦質營養要素之研究求得其所謂之最低限定律<sup>②</sup>，其意即土壤之生產力受必需營養素中之最少者之支配。里卜西<sup>③</sup>復補充利氏之說而創最適限定律<sup>④</sup>，即植物營養要素中其他要素愈在適當量，植物利用其中之最少者之效率愈高。米采利希踪利氏與里氏之後而求得進一步

① the mineral theory    ② the law of minimum    ③ Liebscher, G.  
④ the law of optimum

之定律，即所謂之生理關係定律<sup>①</sup>，其大意即任何一種影響植物生長之因子，雖其量不在最低限，但凡未至最高限者，增加其量，植物之產量亦可增加。假定氮磷鉀為本問題中之植物生長因子，設其中之一者，例如氮為最少者，則依利氏之最低限定律，氮即為限制植物生長之因子，磷與鉀之量即超過最適量，植物亦不能利用之。但按里氏之最適限定律，則設三者均缺乏，則所得之植物生長量，不若一者缺乏而其他均為適當量者之高。至於米氏之生理關係定率，則尤易解釋，即所缺乏之生長因子，不必缺乏至最低限時，增加其量，始可增加植物之產量，不論缺乏在任何程度，但於未達最高限時，則增加其量，亦可使植物產量增加。例如以 1 為氮之最低限，而 5 為其最高限，則不論由 1 增至 2，或由 2 增至 3，凡增加量未超過 5 時，每次增加，均可使植物之產量增加。然每增加一單位之因子所可致之產量的增加非為直線的<sup>②</sup>而為對數曲線的<sup>③</sup>。表明此種事實者，最初為黑爾利蓋爾<sup>④</sup>於 1883 年所得之盆植試驗結果，博藍克門<sup>⑤</sup>與米采利希等皆曾得同樣結果。(見下圖)米氏取其自得之結果以及其他各學者所得者而加以數學的研究時，乃得每個植物生長因子之每單位的增加對於植物生產量之增加的效率，可以下列公式代表之：

- 
- ① law of the physiological relationships
  - ② linear
  - ③ logarithmic
  - ④ Hellriegel, H.
  - ⑤ Blackman, F. F.



第七圖 生長因子之增加對於產量增加之關係  $x$ . 生長因子  $y$ . 產量

$$\frac{dy}{dx} = K(A - y)$$

$x$  代表因子。

$\frac{dy}{dx}$  為  $x$  之施量增加植物產量增加之速率。

$K$  為一常數，名之為比例常數①。

$A$  為  $x$  增加至最適限時所致之最高產量。

設將上述之關係根據包勒②所創之生長因子單位變為數目字

① proportionality constant ② Baule, B.

而代表之，則可易於明瞭。包氏所規定之一個生長單位或一個植物食料單位<sup>①</sup>，為食料之量施用之後，所可增加之植物生產量為其所可致之最高產量之百分之五十。故：

食料單位	最高產量
增加五單位( $100 - 96.875 = 3.125$ , $3.125$ 之 $50\%$ $= 1.5625$ , $96.875 + 1.5625 = 98.6325$ )	100 98.6325
增加四單位( $100 - 93.75 = 6.25$ , $6.25$ 之 $50\%$ $= 3.125$ , $93.75 + 3.125 = 96.875$ )	96.875
增加三單位( $100 - 87.5 = 12.5$ , $12.5$ 之 $50\%$ $= 6.25$ , $87.5 + 6.25 = 93.75$ )	93.75
增加二單位( $100 - 75 = 25$ , $25$ 之 $50\%$ $= 12.5$ , $75 + 12.5 = 87.5$ )	87.5
增加一單位( $50\% \times 50\% = 25\%$ , $50 + 25 = 75$ )	75
單位起點	50

米氏由試驗結果所求得之實際上的食料單位為：

	百公斤/公畝	公分/盆鉢	百磅/英畝
氮(N)	0.122	0.40	0.153
磷酸( $P_2O_5$ )	0.60	1.95	0.753
加里( $K_2O$ )	0.93	3.02	1.17

植物食料單位與其對於產量上之影響既皆有定量的規定，則經過相當之試驗後，必可由肥料之施量與作物之產量比較研究而

① "food unit"

求得土壤所缺乏之食料爲何者及各需何量。

米氏於其方法成功之後，以最大的自信力設法推廣，有米采利希會①之組織，集合農民合作肥料試驗。惟米氏個人雖認其方法爲定量的，但米氏曾建議於其組織，以首數年內所得之結果，須視之爲定性的，經數年之試驗後，始可繼續求定量的肥料需求量。

腦包爾之幼苗法 腦包爾與西奈多②於1923年發表其用幼苗以測土壤應用植物食料含量之方法。此方法曾引起全世界土壤化學者之極大的注意。二氏於植物在幼苗時代吸收土壤養分之研究中，乃得幼苗所吸收之磷酸與加里之量依土壤而變異，換言之，即供給幼苗以磷酸及加里之能力屬於土壤，是以生長多數之幼苗於少量之土壤中，於短時間內，幼苗定可將土壤中之『根可溶』③食料完全吸收。分析幼苗所含之磷酸與加里之量，由所得者減幼苗原含者，即得土壤所供給者。腦氏之方法經多數學者之精確的比較研究後，已公認爲良法。晚近學者每於求得一新的土壤應用植物食料含量測定法時，恆取腦氏之法爲標準而定該新法之準確度。

尼克拉斯之霉菌法 博開衛齊④於1909年曾提議 *Aspergillus niger* 可用之以測土壤之應用磷與鉀含量。康塞斯基⑤根據博氏之原理而創用 *A. niger* 以測土壤應用磷含量之法。由此方法而測得之應用磷的量與以稀酸提取土壤而測定者頗相符。惟康氏之論文用俄文發表，故未獲得其他各國學者之注意。於是在美國有卜

① "Mitscherlich-Gesellschaft" ② Schneider, W. ③ "root soluble"

④ Butkewitsch, W. ⑤ Koszeleskii, A. K.

浪<sup>①</sup>與施密斯<sup>②</sup>者，指明菌類之生長頗需磷素，黨克斯<sup>③</sup>乃由菌中擇出 *A. niger* 為對於磷素之感力最強者，而德國學者朋達內里<sup>④</sup>曾於1924年亦發表一文，以 *A. niger*, *A. oryzae* 及 *A. flavus* 三種菌類以測土壤之應用磷含量，並指明三者之中以 *A. niger* 及 *A. oryzae* 所測得者較為可靠。尼克拉斯<sup>⑤</sup>總各人之所得，加以修改後，乃將以 *A. niger* 測土壤應用磷含量之法告全功。尼氏法之要點為配製一培植液，使其含有 *A. niger* 所需之各種食料，惟磷則由定量之土壤供給之。接種<sup>⑥</sup>之後，於有定之生育期後，將 *A. niger* 之菌絲取出，乾之，秤得其重量，根據重量與成分而計算磷之量。據一般學者之批評，此法亦頗可靠，於時間及手續上較米氏與腦氏皆大可節省，足可取而代之。惟一部分學者對於其培植液中含有1.0%之檸檬酸一點頗抱懷疑，蓋此酸之濃度可使溶液之pH價成4.05，故對於磷之作用為由於檸檬酸或為 *A. niger* 自有者，不能辨之。

氮氣固定菌法 土壤細菌學者由試驗結果中得知非共生氮氣固定細菌 *azotobacter* 之工作效率與磷肥之施量幾成正比例。溫腦格蘭斯基<sup>⑦</sup>根據此原理而創以 *azotobacter* 之工作效率測土壤所含應用磷素量。此法較上述各法更可節省手續與時間，惟從未獲得良好批評，例如格林<sup>⑧</sup>之報告，用此法以測石灰性土壤時，三十五種土壤之中僅有四種與田間試驗結果符合。

① Brown, P. E.    ② Smith, F. B.    ③ Dox, A. W.    ④ Pantanelli, E.  
⑤ Niklas, von H.    ⑥ inoculation    ⑦ Winogradsky, S.    ⑧ Greene, R. A.

上述各種方法所依據之原理，概言之，皆為以植物吸收食料之能力而測土壤之供給植物食料能力，其中含有植物生理的關係，故所得結果應認為可靠，惟有一最大缺點即時間，手續，與金錢上皆不若化學分析法較為經濟。

**植物細胞汁分析法** 植物細胞汁之成分的研究，已有長久之歷史，但研究對象多為由細胞汁之濃度，pH 價，及成分的變化所引起之生理上或形態上之變化。以細胞汁之成分為土壤供給應用植物食料能力之指示者，或者以厚福爾①為第一人。厚氏於 1926 年求得凡含鉀素不足之土壤，所生長之玉蜀黍的節部②細胞汁皆含過量之鐵。鐵之量與鉀者似乎成反比例關係。此種現象尤以泥炭土中所生長之玉蜀黍為明顯。厚氏之發現曾受一般學者之特別注意，故引用之者甚多。惟最近由衛利斯③與彼蘭得④之研究證明在此種情形下，鉀之功用非為營養而為阻止鐵之被植物吸收，蓋施硫酸銅於泥炭土壤中後，玉蜀黍之節部細胞汁中亦可無過量之鐵的聚集，證明銅之功用與鉀者相同。

基爾博特⑤與哈丁⑥於 1927 年求得凡多施肥料之田中，所生長之玉蜀黍的細胞中，多含鉀素，故分析細胞汁之含鉀量，即可測知土壤之應用鉀素含量。

根據上述之原理，莫克基利衛⑦於 1930 年乃創一定量方法以測土壤之應用鉀素含量。

① Hoffer, G. N. ② node ③ Willis, L. G. ④ Piland, J. R.

⑤ Gilbert, B. E. ⑥ Hardin, J. L. ⑦ McGillivry, J. H.

潘亭格①於 1930 年作一大規模之研究，綜合二年之結果，共作分析數百個，以玉蜀黍幹之汁為研究材料。由其所得之結果中乃求出下列之定量的關係；潘氏名之為暫定標準：

土壤應用植物食料含量特別低微：

硝酸鹽態氮 <100 p.p.m. (指細胞汁含氮量)

全磷酸 ( $P_2O_5$ ) <0.10 mgm. (每細胞汁 1 c.c. 之含量)

全加里 ( $K_2O$ ) <1.0 mgm. (每細胞汁 1 c.c. 之含量)

土壤應用植物食料含量低微：

硝酸鹽態氮—200 p.p.m.

全磷酸 —0.10 至 0.20 mgm.

全加里 —1.5 至 2.0 mgm.

土壤應用植物食料含量充足：

硝酸態氮 >300 p.p.m.

全磷酸 >0.2 mgm.

全加里 >2.0 mgm.

繼潘氏之後而作進一步之研究者，有尙騰②與愛謀爾特③。尙氏曾改進細胞汁之鉀的分析法使其簡易而準確，並曾以此法與腦包爾法作比較研究而得極相符之結果。愛氏曾指明應以水溶氮為準而不宜僅測硝酸態氮。

植物細胞汁之成分與土壤供給食料之能力當然有連帶關係，故此種方法在原理上可謂毫無差謬，且此種方法所得之結果可指

① Pettinger, N. A. ② Thornton, S. F. ③ Emmert, E. M.



明於採取分析樣品之時，該樣品所生長之土壤的供給植物食料能力。最經濟的施肥法或培肥土壤法為使土壤於植物需要食料時供給足量之應用食料，而於植物不需要食料或無植物生長時，可將植物食料保存於土壤中。施用肥料以何時為最適宜或可以此種方法分期分析植物細胞汁之成分而測得之。

土壤化學家對於以化學方法分析土壤，而測其應用植物食料含量之研究，並未後人，所創方法為數甚多，蓋每於植物吸收食料或土壤供給食料之生理的或化學的原理進一步時，必有新的方法求出，或必將舊有方法加以修改。

戴爾之方法 土壤所含之植物食料有所謂水溶性者及酸溶性者，所用之酸，普通為 N/5 硝酸，鹽酸，硫酸等，但分析結果每與田間之試驗所得者不符。戴爾①於 1894 年指明用稀酸之原理非為溶解土壤中易溶植物食料而為模仿植物之吸收食料能力。植物於生長之際，其根部分泌碳酸，凡此酸能溶解之食料即為植物之應用食料，故所用之酸應為一種有機酸而其濃度或溶解力應與碳酸相仿。根據此原理，戴氏乃改用 1% 檸檬酸。惟戴氏之法僅可應用於磷素，而按戴氏之意，凡土壤之檸檬酸可溶磷酸在 0.01%  $P_2O_5$  以上者施用磷肥即不能生效。

戴氏之方法發表後，引用者甚多，於二十年之久，未聞有求改進之者。土壤含磷素甚少，而應用磷素為量尤微，若欲提出相當之量足以供定量的測定，自必用大量之土壤。此為戴爾之方法的缺

① Dyer, B.

點，但去除此缺點的方法於 1920 年前未能求得之也。

登尼艾<sup>①</sup>於 1920 年創一比色定磷法<sup>②</sup>，凡微量之磷酸鹽溶解於水中，均可以此法定其量。登氏之法發表後，土壤化學者乃知戴爾之法有改進之餘地，於是土壤應用磷素含量之化學測定法的研究乃得復活，而所創之簡便測定法為數之多，實足驚人，例如亞特金斯<sup>③</sup>法(1924)，勃克爾<sup>④</sup>法(1927)，卜來<sup>⑤</sup>法，施浦微<sup>⑥</sup>法(1929)，特路亞格與美伊爾<sup>⑦</sup>法(1929)，特路亞格法(1930)，福來浦斯<sup>⑧</sup>法(1933)，皆逐漸表明顯著之進步。但按各專家之比較試驗結果，上列各方法中以特路亞格者較為準確。

特路亞格之方法 特氏方法之優點為以 0.002 N 硫酸，加以硫酸銨而緩衝之，使其 pH 價為 3，概拉西門<sup>⑨</sup>(1927)曾指明土壤之 pH 價在 3 至 3.5 時，其膠體固定磷之力最強，是以由此法而測得之磷酸量不能超過植物所能吸收者。惟特氏方法之應用度恆因土壤之種類而可有差異。例如特氏曾云：『有機物所含之磷素不能以稀硫酸提出，但可由分解作用而變為應用者，故此方法應用於有機土壤或含有機物甚多之土壤時，所得結果必較低也。』

特氏暫定之應用磷素最低標準量為：

普通作物—黏性土壤，每英畝 70 磅。

—沙性土壤，每英畝 50 磅。

---

① Denigès, G. ② colorimetric determination of phosphorus ③ Atkins, W. R. G. ④ Parker, F. W. ⑤ Bray, R. H. ⑥ Spurway, C. H. ⑦ Meyer, A. H. ⑧ Fraps, G. S. ⑨ Roszmann, C. A.

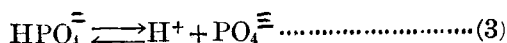
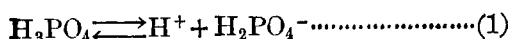
蔬菜作物—每英畝 150 磅。

以上適用於北方之情形中。

南方情形，普通作物，每英畝 20 至 30 磅。

凡土壤所含之應用磷素量低於上列之最低標準時，即須施用磷肥。

土壤之 pH 價大可支配磷素之應用性。強鹼性之土壤中 (pH 價在 8 以上) 雖含大量之水溶及由特氏方法而測得之應用磷酸，然植物常表現磷素供給之不足。強酸性反應土壤中雖含應用磷素甚少而常可滿足植物之需求。磷酸可電離為  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  三種離子：



此三種離子之相對量受 pH 價之支配。pH 價低時， $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  離子較為多，而按莫克喬治①，博利塞爾②，與布齊奴③等由細胞汁分析所得者，植物或者以  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  離子為其磷素食料，是以按博利塞爾，福來浦斯，浦金斯④等之研究結果，特氏方法不適用於鹼性土壤或含石灰甚多土壤之用，蓋所提出者未必皆為植物所可取用者。

最近(1933)羅斯⑤與龍克⑥提議以 0.01 M 之  $\text{KHSO}_4$  溶液，pH. 價為 2.14，為提出應用磷之劑，指明此劑之優點為不能溶解

① McGeorge, W. T. ② Breazeale, J. F. ③ Buchrer, T. F. ④ Perkins, H. H. ⑤ Lohse, H. W. ⑥ Ruhnke, G. N.

鐵與矽酸，故凡已提出之磷不能復於提液中為鐵與磷所固定，且  $\text{KHSO}_4$  有羣集膠體之能力，故提液可清亮，便於比色。至於此法是否優於特氏者，尚待研究結果以證明之也。

哈浦耳① (1934)根據酸基代換②原理，用膜分法③而提取土壤溶液以分析土壤之應用磷素含量。按其結果，於所用之 83 種土壤及八種作物，凡由此法所測得者與田間產量及特路亞格法測得者皆頗相符。

土壤應用鉀素含量測定法之論文，不若磷素者之多，其原因乃由於缺乏鉀肥之土壤不若磷肥者之普遍也。卜來於 1932 年曾創一測土壤水溶及代換鉀含量之簡便方法。但植物所取用之鉀是否僅限於此二種，於 1933 年經候格蘭得④最精密的研究後，始知卜氏所根據之原理無謬，惟用卜氏方法所測得之結果每與田間試驗結果不符，於是引起特路亞格之研究以謀改正。

特路亞格應用鉀測定法 特氏曾試用提取劑十餘種，而於所得結果中擇出 N 醋酸銨溶液 (pH 價為 6.8)，可將水溶及代換性鉀完全提出，故採用之以作提取劑而創一土壤應用鉀含量之新測定法。特氏以由此方法所得之結果而與腦包爾法，米采利希法，尼克拉斯法，及田間試驗所得者相比時，各皆極度相符。特氏暫定之最低應用鉀含量標準為每土壤 100 gm. 含鉀 10 mgm.，低於此量時，即須施鉀肥以補充之。但對於豆科植物，則雖低於特氏之暫定標準，常無施鉀肥之需要，蓋豆科植物之需鉀量較低，或者非由於

① Harper, H. J. ② anionic exchange ③ dialysis ④ Hoagland, D. R.

其需鉀量低而由於其可利用雲母，長石所含之鉀也。至於馬鈴薯，煙草，甘蔗，及蔬菜作物，則所需之鉀量應高於特氏之暫定最低標準。

關於各方法之詳細作法，可由參考材料之各原文或譯文中見之。

### 主要植物食料及其應用度

植物之食料原素中，以氮，磷，鉀，鈣，硫為常感不足而必須以人工方法節制其供給與損失者。人工肥料工業所以能發展者，乃由於普通土壤皆缺少氮，磷，鉀，鈣中之一者或數者，而此種肥料之施用上的最經濟辦法，為於植物需求食料之時，能有充足之供給量，而於其不需要之時，無大量之餘剩，以供害草之繁殖，或排水之洗失。凡所施於田中之肥料，或土壤所儲存之植物食料，於何種情形下可於植物生長之際變為應用性者，於下列各段中討論之。

氮 土壤所含氮素之全量約為百分之 0.15，其中以有機氮化合物如蛋白質為最多，約佔十分之九，其餘者為有機氮化合物之分解生成物如， $\text{NH}_3$ ， $\text{NO}_2$ ， $\text{NO}_3$  等。氮化合物為土壤中最不固定之物質，其變化程序已於第三節中詳細加以討論。簡言之，其中以氨化作用及硝化作用為由有機氮化合物變為植物氮素食料之主要作用，是以於討論有機氮化合物之應用度時，應特別注意於此二種作用。

在土壤培肥或作物生產方面，氮素肥料之碳與氮的比率，頗能

左右氮之應用度，其重要性不在氮化作用與硝化作用之下，故亦有略述之必要。

碳與氮的比率 土壤有機物所含之碳與氮的比率約為 10 比 1。不論施用何種有機物於土壤中，於短時間內，由於土壤微生物之分解作用，必使其碳與氮的比率變為 10 比 1；或相近之數。是以若所施之有機物含氮甚少，其碳與氮的比率較高於 10，則土壤微生物之作用為消耗碳而吸收氮，於是土壤中之游離氮化合物損失，而游離碳化合物增加。若所施肥料之碳與氮的比率較低於 10，則土壤中可有游離氮化合物，以供作物取用。本此原理，凡有機氮素肥料之碳與氮的比率在 10 比 1 或較高者，皆非應用肥料。

碳與氮比率較寬之有機物，不僅不能供給作物以氮素食料，且分解亦較為緩慢，可於下列施塔開①之結果見之：

第四〇表 數種有機物每日之分解量百分率

有機物	日 數									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
織 微 質	0.23	0.45	0.68	1.55	2.39	5.84	9.28	12.59	15.90	20.01
黑 麥 秸	11.13	15.52	21.19	24.64	27.13	29.02	30.98	32.91	34.38	35.84
苜 蓿 磨 粉	15.98	26.14	36.37	41.98	46.14	48.46	50.64	52.71	53.95	55.20
菌 絲 物 質	11.96	18.62	28.16	38.20	46.20	52.40	57.41	61.75	64.06	66.54
乾 血	1.05	7.08	17.01	28.98	40.95	49.19	56.26	60.83	64.61	67.98
糊 精	12.37	35.16								

氮化作用與硝化作用之適當環境 氮化作用與硝化作用皆為土壤微生物之工作。微生物之生活條件如水分，溫度，空氣等，皆為

① Starkey, R. L.

有定的，或皆有一定之適當量，若欲使微生物工作迅速，必與其以適當之生活環境。氮化細菌與硝化細菌之適宜環境約為如下：

	氮化細菌	硝化細菌
最適水分	土壤儲水量之 60%	土壤儲水量之 50—56%
最適溫度	20—30°C.	35°C.
空氣需求	非必需，但可催速作用	必需
適宜反應	微鹼性	中和至微鹼性

設土壤中之水分，溫度，空氣，反應等條件，能與上述者相近，則有機氮素肥料之應用度必能高。

磷 普通土壤含磷酸約百分之 0.15 至 0.20。此磷素之化合物分為有機與無機二種。有機者屬於含磷蛋白質之類，其分解條件與普通蛋白質相仿。無機者為種類甚多之磷酸鹽，其在植物營養上情形十分複雜，茲彙集各研究家之結果而分段述之。

植物所吸收之磷的成分問題 一般學者皆認植物所吸收之磷化合物為  $PO_4$  離子，但莫克喬治①則於 1933 年創一新說，以  $H_2PO_4$  或  $HPO_4$  為植物所吸收之磷素離子。蓋按莫氏， $H_3PO_4$  之電離步驟為：

1.  $H_3PO_4 \rightleftharpoons H_2PO_4 \cdot HPO_4$  ?
2.  $HPO_4 \rightleftharpoons H \cdot PO_4$

磷酸雖可電離為 H 與  $PO_4$  離子，但不論在何種情形之下， $PO_4$  離子為量甚微，故實際上土壤中僅可有  $H_2PO_4$  與  $HPO_4$  二種

① McGeorge, W. T.

離子以供植物之吸收。此二種離子之比例量，與土壤之反應頗有關係。土壤反應為 pH 6.8 時， $H_2PO_4$  與  $HPO_4$  之量相等。在酸性土壤中， $H_2PO_4$  較多，而在鹼性土壤中，則  $HPO_4$  為較多者。植物根汁之反應為 pH 5.5，而植物根附近之土壤水分的反應亦為酸性，故植物所吸收之磷必為  $H_2PO_4$  離子。強鹼性反應之土壤中，恆有含磷甚多而植物呈缺乏磷素現象者。(參照下表)

磷酸電離情形與 pH 價之關係 (每公升中含磷酸 1 mgm. 時各離子之 mgm. 量):

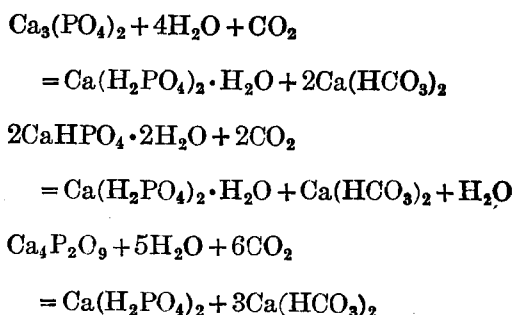
pH	$H_3PO_4$	$H_2PO_4$	$HPO_4$	$PO_4$
4	0.0091	0.99	0.0019	$7.0 \times 10^{-13}$
5	0.00089	0.98	0.0194	$6.9 \times 10^{-10}$
6	0.00076	0.78	0.164	$5.9 \times 10^{-8}$
7	$3.1 \times 10^{-6}$	0.33	0.66	$2.4 \times 10^{-6}$
8	$4.4 \times 10^{-8}$	0.048	0.94	$3.4 \times 10^{-5}$
9	$4.6 \times 10^{-10}$	0.0049	0.98	$3.5 \times 10^{-4}$

莫氏之說既有事實可據，則學者應承認其價值。而最堪注意者，為土壤反應與磷肥之應用度的關係也。

影響磷酸肥料應用度的因子 土壤所含之非水溶性磷化合物，可因數種因子之作用而變為植物之應用磷素食料，而施於土壤中之水溶性磷肥，亦可因數種因子之作用而變為不能溶解之磷化合物。



1. 有機物之分解與磷肥應用度之關係 有機物分解之結果為生成各種之陰電離子或酸根，其中以  $\text{CO}_3$  為最多。按每細菌細胞一公分於二十四小時內，可生成二氧化碳氣 0.25 至 0.5<sup>3</sup>公絲。每英畝之正常土壤於 200 日內可生成二氧化碳氣 6000 磅。此大量之二氧化碳氣對於土壤礦物之溶解力頗堪注意，其對於磷化合物之溶解作用為：



按施唐克拉索①，一公斤之土壤，其原有之  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量為 0.13%，以水提取五次，每次提取時間為五日，共提出  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.002 公分，而於相等時間內以含二氧化碳氣之水提取時，乃提出  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.0085 公分。

有機物分解所生成之有機酸亦有溶解土壤礦物之能力，可於下表硝化作用與磷酸三鈣之溶解度見之。

以磷灰石粉與硫及土壤作堆肥，利用細菌之作用將硫氧化為硫酸，而後溶解磷灰石粉，可變大部分之磷為應用者。

① Stoklasa, J.

第四一表 硝化作用與磷酸三鈣之溶解度

所 施 物 質	28 日 後			57 日 後			157 日 後		
	NO <sub>3</sub> -N p.p.m.	Ca p.p.m.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p.p.m.	NO <sub>3</sub> -N p.p.m.	Ca p.p.m.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p.p.m.	NO <sub>3</sub> -N p.p.m.	Ca p.p.m.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p.p.m.
標準	20.0	45.0	13.1	25.5	50.6	11.0			
1. CaCO <sub>3</sub>	22.0	56.5	11.9	29.0	70.8	13.2			
2. Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	21.0	53.5	24.2	28.0	58.8	25.0			
3. CaCO <sub>3</sub> +Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	22.0	59.1	17.3	28.0	70.1	22.4			
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.0	219.4	18.5	99.0	225.4	19.4	114.0	232.1	8.0
5. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +CaCO <sub>3</sub>	97.0	254.4	18.5	98.0	270.5	7.4			
6. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	99.0	217.7	52.1	99.0	229.6	38.0	111.0	218.4	30.0
7. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaCO <sub>3</sub>	100.0	253.4	26.6	101.0	230.4	13.9			
乾血	91.0	107.7	9.7	90.0	113.9	10.0	94.0	116.4	5.7
乾血+CaCO <sub>3</sub>	89.0	107.2	9.8	90.0	140.2	11.5			
乾血+Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	82.0	111.7	24.3	88.0	117.7	22.2			
乾血+CaCO <sub>3</sub> +Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	81.0	118.2	19.5	87.5	138.1	18.3			

2. 土壤之反應與磷之應用度 施於土壤中之水溶性磷素肥料，不能長久保存其水溶性質，而必與土壤中之鹽基化合，生成非水溶性之磷化合物，使植物不能吸收之以作食料。新生成之磷化合物的成分，頗與土壤之反應有關。在強酸性反應之土壤中，一般學者以為磷酸必與游離之鐵及鋁化合而生成極不易溶解之磷酸鐵或磷酸鋁。(福來浦斯以為土壤中之游離鐵與鋁僅有小部分可與磷酸化合，而學者從未能由土壤中取出大量磷酸鐵及磷酸鋁。)在強鹼性反應之土壤中，按莫克喬治磷酸可與石灰化合而生成碳酸化磷酸鈣<sup>①</sup> ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ )，又名為石灰化磷灰石<sup>②</sup>，但一般學者則認之為一種返原作用<sup>③</sup>，即磷酸一鈣與石灰化合而成不能溶解之磷酸二鈣或磷酸三鈣。以上之變化，不論新生物之成分為何者，皆為不易溶解之化合物，除磷酸二鈣外皆非植物之應用食料。

3. 土壤性質與種類對於磷素之應用度的關係 磷素之應用度與土壤之無機膠體含量似成反比例，蓋按福得<sup>④</sup>之所得，土壤中固定磷酸之物質為其所含之無機膠體，其結果可於下表見之。

伊來特<sup>⑤</sup>與希爾<sup>⑥</sup>曾證明土壤之年齡與磷肥之固定有關。成年土壤有固定磷肥之力，幼稚土壤則無之。(『土壤年齡』參照卷上第四節)

登納王得<sup>⑦</sup>得知土壤所含應用磷素之量，與雨量有關，雨量愈增加，應用磷素之量愈減少，其原因乃由於滲洗之損失。

① calcium carbonato-phosphate    ② carbonato-apatite    ③ reversion  
 ④ Ford, M. C.    ⑤ Ellet, W. B.    ⑥ Hill, H. H.    ⑦ Dunnewald, T. J.

應用磷酸之大部分聚積於表層土中，蓋表土中多含有機物，且表土之吸收力及固定俱較強。

第四二表 土壤中各機械部分所含之磷的量(%)

土壤之機械部分	無肥田		過磷酸石灰處理田	
	機械成分	磷	機械成分	磷
粗黏土	11.32	0.0743	10.72	0.0982
極細沙	15.36	0.0057	15.23	0.008
泥沙	49.21	0.0097	50.09	0.0117
附於泥沙上之膠體	1.42	0.0547	1.42	0.1122
細黏土	18.16	0.1492	19.13	0.1592

表土中多含膠體物，而由上表之所列可見含磷最多之土壤部分為膠體部分及細黏土，是以表土多含磷素也。

4. 石灰對於磷肥之應用度的關係 福得①曾作一精細之研究，證明石灰可增加磷灰石之應用度，亦可增加過磷酸石灰之應用度。施過磷酸石灰於固定磷酸力甚強之土壤中時，石灰解放磷酸之效力更大，或者石灰之功用為減低土壤膠體之固定磷酸力也。

酸性土壤宜施用磷灰石，而不宜施用過磷酸石灰。其原因，按特路亞格之解釋為磷灰石分解所生成之碳酸鈣及重碳酸鈣與酸土中之陰電離子化合而生成水溶性鹽類與排水流失，碳酸鈣既不能積存，故磷灰石可繼續分解。

包爾②為證實特氏之說，乃用沙植法③作一試驗，使碳酸鈣由沙中自由洗失，磷灰石乃能繼續變為應用者。

① Ford, M. O. ② Bauer, C. F. ③ sand culture

施客塞斯①與梯得麻②曾施數種磷肥於酸土中而以植物產量為比較標準以測各磷肥之應用度，乃知各磷肥之相對的應用度以磷酸一鈣為100時，為：

磷酸一鈣	磷酸三鈣	磷酸一鉍	磷酸鐵	過磷酸石灰
100	57	110	25	117

但上列各磷肥之應用度皆不若磷酸二鈣者。施梯二氏又得施碳酸鈣於土壤中，待平衡成立後，再施磷肥，則碳酸鈣可增高磷肥之應用度。

5. 作物之種類與磷之應用度 作物有不等之吸收磷素力。植物生理學家名此現象為植物之求食力③。苜蓿，紫雲英，金花菜等豆科植物及洋白菜，蘿蔔等可利用磷灰石，骨粉等非水溶性磷素肥料。大麥，小麥，馬鈴薯等亦可利用能力，但甚微弱。

鉀 普通土壤含鉀約百分之1.75至2.50，其大部分非為應用者，故含量雖多，而仍不免有不能滿足植物之需求之時。植物所吸收之鉀大部分為代換性者，礦質鉀素必須於礦物分解之後始可變為應用者。然施於土壤中之水溶鉀鹽可變為礦質鉀鹽。故影響鉀素應用度之因子為固定，溶解，與鹽基代換。

1. 固定 按吳克④，施於土壤中之鉀鹽可為土壤膠體所固定而變為雲母態礦物。膠體固定鉀素之力與膠體之量無關，而受其種類的支配。磚紅土含膠體百分之九十者並無固定鉀素之力，而美亞

① Scarseth, G. D.      ② Tidmore, J. W.      ③ feeding power

④ Volk, N. J.

米<sup>①</sup> 泥沙黏土含膠體僅百分之二十四，但可固定所施鉀肥之半量。固定後之鉀多存留於表土中，而乾燥與潤濕迭次變更，可促進鉀素之固定。吳氏得此種結果後，曾提議水溶性鉀素肥料應分數次施用，且於施用之時應擇土壤水分量變化最微末之時。

2. 溶解 正常土壤所含之鉀素量應足供普通作物之所需，惟以植物於需鉀之時，土壤所含之應用鉀素甚少，故有施用鉀肥之需要，但最經濟之方法為使土壤鉀素變為應用者，而各方法之中以施用有機物最為有效。石灰之施用亦可增加應用鉀素之量。有機物施於土壤中後，由於分解作用而生成酸類。此種酸類可溶解非水溶性鉀化合物而解放其所含之鉀以供植物所取用。

土壤中之非應用性鉀化合物為雲母，長石等礦物。土壤中所發生之有機酸對於此種礦物之溶解力依其種類與微細程度而趨異。按浦龍摩之所得，各種含鉀礦物之溶解度為如下表之所列：

第四三表 普通土壤鉀礦之溶解度 (K<sub>2</sub>O p.p.m.)

礦 物	蒸餾水	碳酸水	碳酸水+Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
黑雲母	26.3	261.3	257.5
白雲母	24.2	169.4	170.5
正長石	20.4	94.0	96.7
鉀微斜長石 <sup>②</sup>	18.1	61.4	60.9

風化未進步之土壤中，鉀礦多成粗大粒籽，不易溶解，故常有施用鉀肥之需要。風化進步之土壤中，鉀礦物之大部分為屬於泥沙及黏土之微細土粒，與土壤酸類之反應力甚大，故易生成應用鉀素。

① Miami ② microcline

3. 鹽基代換 黏土或土壤膠體所吸收之鉀不能為植物所取用以作食料，但亦為應用鉀素，蓋若有鹽基與其代換，則黏土或土壤膠體物可將鉀素放出於土壤溶液。土壤溶液中所含之鉀素量，不論有否植物生長，似可保持一常數，可見溶液中之鉀與膠體所吸收者必常時成一平衡狀態，而不論何時，必以代換性鉀之量較為多。

凡於鉀素之供給量不能滿足植物之需求時，若施以食鹽，可減除鉀素不足之徵象。蓋食鹽之鈉可代換鉀也。

硫酸鈉與硫酸鎂之施用，可增加植物之鉀的吸收量，證明此二種鹽類之作用，為使鉀應為應用性者。至於此作用之物理化學者的解釋，則為簡單之鹽基代換作用。（參照第四四表）。

鈣 酸性反應之土壤中含鈣甚少，常不及百分之一。乾燥氣候中之土壤，如華北之黃土，有時可含鈣百分之十以上，且常有石灰凝集體，成瘤狀，名之為沙薑。

鈣對於土壤之最大的功用為改良其物理與化學狀態，使土壤中之生物及化學的作用迅速進行，以連續的產生植物應用食料。華南農民之施用石灰者，不謂石灰可改良土壤性質，中和土壤酸性，乃謂石灰可分解草肥及堆肥，其理一也。

土壤中之有機酸，肥料殘留於土壤中之無機酸根，皆須與鹽基結合而由排水洗失，或滲濾於下層土中而聚積之，是以鈣之損失為量甚巨，而凡呈酸性反應之土中，皆應施用石灰，使土壤常時成石灰飽和狀態。

第四四表 硫酸鈉與硫酸鎂對於作物之鉀的吸收  
量之關係(勞阿斯與基博耳特)

	鉍	鉍鹽 + 過磷酸石灰	鉍鹽 + 過磷酸鈉	鉍鹽 + 過磷酸石灰 + 硫酸	鉍鹽 + 過磷酸石灰 + 硫酸鎂	鉍鹽 + 過磷酸石灰 + 硫酸鉀	鉍鹽 + 過磷酸石灰 + 硫酸鎂 + 硫酸鉀
1852—1861槽灰所含之 $K_2O$ %	18.8	14.8	20.1	22.0	24.1	23.7	
實灰所含之 $K_2O$ %	33.9	31.7	32.8	32.6	32.9	32.9	
十次收穫共含之 $K_2O$ 磅數	300	309	454	498	532	560	
1862—1871槽灰所含之 $K_2O$ %	14.5	14.1	17.2	18.5	25.0	24.6	
實灰所含之 $K_2O$ %	34.1	32.1	33.3	33.1	33.5	33.4	
十次收穫共含之 $K_2O$ 磅數	240	260	578	391	552	530	
二十年中作物吸收 $K_2O$ 的總量磅數	540	569	832	889	1084	1090	



土壤中之鈣化合物，除長石外，皆易變為應用者，尤以施用之石灰為然。施用之石灰中，以氧化鈣之化學反應最速，故可謂為即時應用者，碳酸鈣之反應較緩，然與細度有關，極細之石灰石粉亦可謂為應用鈣之給源。

第四五表 各級不等細度之石灰石粉的應用度

	100 網 眼以下	60-80 網眼	20-40 網眼	8-12 網眼
碳酸水溶解度	100	57	45	28
中和酸性價	100	57	27	18
生成硝酸之效率	100	94	56	12
營養植物之效率	100	69	22	5

硫 土壤含硫素甚少，以  $SO_3$  計算，鮮有超過百分之 0.1 者。此微量之硫素尚分為有機與無機二種。無機硫素為硫酸鹽與亞硫酸鹽及游離硫素。有機硫素為含硫蛋白，allyl sulphide 等，及各種分解生成物，如硫化氫等。

由於硫化細菌之作用，硫化氫與游離硫素即氧化為硫酸，此硫酸可溶解土壤中之磷質與鉀質礦物，使其解放磷與鉀，以供植物所吸收。硫酸鹽之硫亦為植物之應用食料。

#### 參考書：

- Bauer, C. F.: The Effect of Leaching on the Availability of Rock Phosphate to Corn. *Soil Sci.* 9:235—251. 1920.
- Bray, R. H.: A Field Test for Available Phosphorus in Soils. III. *Agr. Exp. Sta. Bul. no. 337.* 1929.
- Bray, R. H.: A Test for Replaceable and Water-soluble Potassium in Soils. *Journ. Amer. Soc. Agron.* 24:312—316. 1932.
- Denigès, G.: Reaction de Coloration Extremement Sensible des Phosphates

- et des Arseniates. Ses Applications. Compt. Rendu. 171: 802—804. 1920.
- Dunnewald, T. J.: Available Phosphorus of Soils Resulting from Moisture and Temperature Variations. Big Horn Mountain, Wyoming. Journ. Amer. Soc. Agron., 21:934—937. 1929.
- Dyer B.: On the Analytical Determination of Probable Available Mineral Plant Food in Soils. Chem. Soc., (London) Trans., 65:115—167, 1894.
- Ellett, W. B. and H. H. Hill: Contributions to the Study of Phosphoric Acid in Soils and Fertilizers. Va. Agr. Exp. Sta. Bul. no. 200. 1912.
- Emmert, E. M.: New Methods for the Determination of the Availability of Nitrogen and Phosphorus to Plants. Journ. Amer. Soc. Agron., 27:1—8, 1935.
- Ford, M. C.: The Distribution, Availability, and Nature of the Phosphates in Certain Kentucky Soils. Journ. Amer. Soc. Agron., 24:395—411. 1932.
- Fraps, G. S.: Active Phosphoric acid and Its Relation to the Needs of the Soil for Phosphoric acid in Pot Experiments. Tea. Agr. Exp. Sta. Bul., no. 126. 1909.
- Fraps, G. S.: How Reliable are Existing Chemical Methods for Determination of Soil Deficiencies in Ash Constituents of Plants. Journ. Amer. Soc. Agron. 23:337—351. 1931.
- Fraps, G. S. and J. F. Fudge: Rapid Chemical Methods for the Estimation of the Capacity of the Soil to Supply Phosphoric Acid to Plants. Journ. Amer. Soc. Agron. 25:217—230. 1933.
- Gilbert, B. E. and J. L. Hardin: The Current Mineral Nutrient Content of the Plant Solution as a Possible Means of Chemical Control of Optimum Fertilization. Journ. Agr. Res. 35:185—192. 1927.
- Greene, R. A.: Some Factors Limiting the Applicability of Biological Methods for the Determination of the Availability of Plant Food Elements in Calcareous Soils. Soil Sci., 36:261—266. 1933.
- Harper, H. J.: The Easily Soluble Phosphorus Content of Soils as Determined by Electrodialysis, Extraction with Dilute Acid Solutions, and Crop Response to Fertilization. Soil Sci., 35:1—16. 1933.
- Harris, H. C.: Effect of Lime on the Availability of Phosphorus in Superphosphate. Journ. Amer. Soc. Agron. 20:381—393. 1928.

- Heck, A. F.: Phosphate Fixation and Penetration in Soils. *Soil Sci.*, 37: 343—356. 1934.
- Hoagland, D. R. and J. C. Martin: Absorption of Potassium by Plants in Relation to Replaceable, non-replaceable and soil Solution Potassium. *Soil Sci.*, 36:1—34. 1933.
- Hoffer, G. N.: Testing Cornstalks Chemically to aid in Determining their Plant Food Needs. *Purdue Univ. Agr. Exp. Sta. Bul.* 298. 1926.
- Jenny, Hans, and E. R. Shade: The Potassium-lime Problem in Soils. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 26:162—170. 1934.
- Lohse, H. W. and G. N. Ruhnke: Studies on Readily Available Phosphorus in Soils. I. Extraction of Readily Soluble Phosphorus from, Soils by means of Dilute Acid Potassium Sulfate ( $\text{KHSO}_4$ ). *Soil Sci.* 35:437—458. 1933.
- MacGillivray, J. H., et al.: A Study of Plant Food Deficiencies in Tomato for Canning Factory. *Proc. Amer. Sci. Hort. Sci.*, 1929:132—136. 1930.
- McGeorge, W. T.: Phosphate Availability in Alkaline Calcareous Soils. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 25:5. 1933.
- McIntire, W. H. and W. M. Shaw: The Transition of Citrate-soluble Phosphate into Citrate-insoluble Form in Mixtures with Limestone and with Dolomite. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 26:656—665. 1934.
- Mehlich, A., Truog, E. and Fred, E. B.: The *Aspergillus niger* Method of Measuring Available Potassium in Soils. *Soil Sci.*, 35:259—277. 1933.
- Mitscherlich, E. A.: Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landw. Jahrb.*, 38:537—552. 1909.
- Mitscherlich, E. A.: Die Bestimmung des Düngebedürfnisses des Bodens. Berlin. Paul Parey. 1925.
- Neubauer, H. and W. Schneider: Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehalts der Eoden. *Zeitschr. F. Pflanzenernähr.*, A, 2, 329—362. 1923.
- Niklas, von H. and H. Poschenrieder, and J. Trischler: Die Kulture des Schimmelpilzes *Aspergillus niger* zur biochemischen Bestimmung die Kali- u. Phosphorsäurebedürftigkeit der Boden. *Ernh. d. Pflanzen*, B. 26:97—103. 1930.
- Pettinger, N. A.: The Expressed Sap of Corn Plants as an Indicator of

- Nutrient Needs. *Journ. Agr. Res.*, 43:95—121. 1931.
- Pettinger, N. A. and S. F. Thornton: A Comparison of the Neubauer, Plant-sap Analysis, and Hoffer Stalk-test Methods for Determining the Nutrient Supply of the Soils. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 26:537—547. 1934.
- Perkins, A. T. and H. H. King and E. J. Benne: Effect of Exchangeable Bases and Soil Treatment on Phosphorus Availability. *Soil Sci.* 34: 365—392. 1932.
- Ravikovich, S. Anionic Exchange: I. Adsorption of Phosphoric Acid Ion by Soils. *Soil Sci.*, 36:219—241. 1934.
- Ravikovich, S. Anionic Exchange: II. Liberation of the Phosphoric Acid Ions Absorbed by Soils. *Soil Sci.*, 38:279—291. 1934.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed. Chapt. I, Longmans Green, Co., 1932.
- Russell, and J. A. Prescott: The Reaction between Dilute Acids and the Phosphorus Compounds of the Soil. *Journ. Agr. Sci.*, 8:65—111. 1916.
- Scarseth, G. D. and J. W. Tidmore: The Fixation of Phosphates by Soil Colloids. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 26:138—152.
- Ibid*, 152—162.
- Schreiner, O. and J. J. Skinner: The Triangular System for Fertilizer Experiments. *Journ. Amer. Soc. Agron.* 10:5. 1918.
- Smith, F. B., P. E. Brown, and O. R. O'niel: A Comparison of Various Methods for Determining the Fertilizer Needs of Certain Soils. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 25:383—392. 1933.
- Stewart, R.: The Mitscherlich, Weissmann and Neubauer Methods of Determining the Nutrient Contents of Soils. *Tech. Comm.*, No. 25, The Imp. Bur. of Soil Sci., London. 1932.
- Truog, E.: The Utilization of Phosphates by Agricultural Crops, Including a New Theory Regarding the Feeding Power of Plants. *Wis. Agr. Exp. Sta. Res. Bul.*, No. 41. 1916.
- Truog, E.: The Determination of the Readily Available Phosphorus of Soils. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, 22:874—882. 1930.
- Truog, E. and A. H. Meyer, Improvements in the Denigès Colormetric Method for Phosphorus and Arsenic. *Anal. Ed. Ind. End. Chem.*, 1:

135—139. 1929.

Thornton, S. F.: Experiences with the Neubauer Methods for Determining Mineral Nutrients Deficiencies of Soils. Journ. Amer. Sci. Agron., 23:195—208. 1931.

Thornton, S. F.: A Rapid and Simple Chemical Test on Plant Material as an aid in Determining Potassium needs. Journ. Amer. Soc. Agron., 25:473—482. 1933.

Volk, N. J. and E. Truog: A Rapid Method for Determining the readily Available Potash of Soils. Journ. Amer. Soc. Agron., 26:537—547. 1934.

Volk, N. J. and E. Truog: The Fixation of Potash in Difficultly Available Forms in Soils. Soil Sci., 37:267—285. 1934.

Willis, L. G. and J. R. Piland: The Influence of Copper Sulfate on Iron Absorption by Corn Plants. Soil Sci. 36:79—83. 1934.

劉和 肥料學講義 第二十五節 民國二十二年

馬壽徵 檢定土壤養分之三大試驗法 肥料問題 浙江省建設廳肥料管理處

何尚平 羅柏艾氏幼植物法 新農村一號 浙江省農業改良總場

## 第五章

### 土壤反應

#### 第九節

##### 土壤反應概論

大多數之作物喜生長於中和性反應之土壤中，但其中之大部分對於微酸性或微鹼性尚可抵抗而不致受害。僅有少數之作物，必須生長於強酸性或強鹼性之土壤中。

羅素依作物對於土壤反應之行爲，而分其爲三組：

1. 以中和或近乎中和，或接近中和之鹼性方面爲最適宜，而僅可抵抗微末之反應變化者。
2. 以酸性方面較爲適宜，而僅可抵抗微末之反應變化者。
3. 對於反應之變化有強抗力者。

大多數之作物屬於第一組及第三組。

惠雷<sup>①</sup>曾將土壤之 pH 價與作物之種類及生長情形之關係列之如下表。(第四六表)

由上述各項觀之，可知土壤反應之變化對於作物可有二種影響，一爲限制其種類，一爲限制其產量。

土壤之風化作用的結果爲由礦物中解放鹽基，是以成年土壤

---

① Wherry, E. T.

少有中和性反應者。其生成於潮濕環境中者，大半為酸性，例如灰土，磚紅土，泥炭土等。其生成於乾旱環境中者，大半為鹼性，可以鹽土及鹼土為例。農業土壤更不易長久保存中和性反應，蓋耕耨與施肥為發生酸性之因子，而灌溉與蒸發為生成鹼土之原由。但酸土與鹼土皆可用人工方法改正之，且方法中有極簡單而極有效者，蓋土壤學者對於此種問題之研究已有長久之歷史，所得結果亦甚多也。

第四六表 土壤之 pH 價與作物之關係

pH	形容名詞	植物
3.1 ↓ 4.0	極強酸性或過酸度①	酸限
4.1 ↓ 5.0	強酸性或中酸度②	柏，樺，灌木小菓類③
5.1 ↓ 6.0	輕酸性或亞酸度④	雲杉，冷杉，松，落花生，馬鈴薯
6.1 ↓ 6.9	微酸性或低酸度⑤	燕麥，胡蘿蔔，麻， 蛋豆，豇豆，玉蜀黍
7.0	中 和	菓藝作物
7.1 ↓ 7.9	微鹼性或低鹼度⑥	苜蓿及其他豆科植物
8.0 ↓ 8.9	輕鹼性或亞鹼度⑦	可生長普通作物，但不適宜
9.0	中 鹼 度⑧	鹼限

土壤反應之研究為一化學問題，凡土壤中之一切化學作用莫

- ① super-acid      ② medium acidity      ③ shrubby small fruits  
 ④ subacidity      ⑤ low acidity      ⑥ low alkalinity  
 ⑦ sub-alkalinity      ⑧ medium alkalinity

不與其有關，尤以吸收，加水分解，鹽基代換等物理化學作用所關更爲密切。故凡研究土壤反應者，應對於此種作用有切實之了解。（吸收與鹽基代換作用參考第六節）

電離作用① 氣體之分子於活動之時，打擊其包圍體之力，謂之爲氣壓。氣壓，依包衣耳② 與蓋路索克③ 之定律，與絕對溫度成正比例而與容積成反比例。若以公式代表之，則爲：

$$p = \frac{KT}{v},$$

$p$  代表壓力， $T$  代表絕對溫度， $v$  代表容積， $K$  代表一常數。若  $v$  爲一分子量之物質的氣體，佔 22.4 公升之容積，則  $K$  變爲  $R$ ，而氣壓公式遂變爲：

$$p = \frac{RT}{v},$$

$R$  名之爲分子氣體常數④。實際上，不論何種氣體其  $R$  價相同，故可簡謂之爲一常數。

液體中所溶解之化合物的分子，於活動之時，打擊其包圍體之力，名之爲滲透壓。按溫郝夫⑤ 滲透壓亦可用氣壓之公式計算得之。惟大部分之鹽類，所有的強酸與強鹼之稀薄溶液的滲透壓，則不循此例，恆較所計算得者高。但若於氣壓公式上添一常數  $i$ ，則新公式  $p = \frac{iRT}{v}$ ，即可適用於此種特別溶液。

亞雷尼亞斯⑥ 爲解釋此  $i$  的來源而創電離說，並將生成  $i$  之

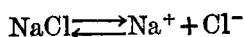
① electrical dissociation    ② Boyle, Robert    ③ Gay-Lussac, J. I.

④ molar gas constant    ⑤ van't, Hoff, J. H.    ⑥ Arrhenius, S. A.

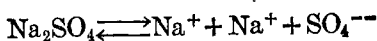


化合物名之爲電解物<sup>①</sup>。亞氏之電離說的要點爲：

1. 電解物溶解於水中之後，其分子即分離爲二或二以上之部分，各個均可自由行動，故命名爲離子<sup>②</sup>或游子。例如一分子之氯化鈉，電解之後，可生成鈉與氯二個離子：



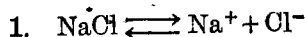
而一分子之硫酸鈉，可電離爲三個離子：



溶液中之活動份子既已增加，則其滲透壓自必隨之增高。

2. 電解物之溶液有導電力，故每個離子必負一電性，其金屬者負陽電，名之爲陽電離子<sup>③</sup>，而酸根或氫氧根負陰電，名之爲陰電離子<sup>④</sup>。但以全部溶液論之，陽電力與陰電力相等，是以溶液之電性仍不失中和。

電離常數<sup>⑤</sup> 電解物未必於其任何濃度之溶液中，皆可完全電離爲離子。乃於每種濃度之下各有一定之電離度。且各種電解物之電離度亦不相同，但不能出乎活動集體<sup>⑥</sup>之定律的範圍，而其電解部分與未電離部分必成一有定之平衡，以公式代表之，則爲：



$$2. \frac{C_{\text{Na}^+} \cdot C_{\text{Cl}^-}}{C_{\text{NaCl}}} = K_G$$

$C$  代表濃度， $K$  爲一常數，名之爲電離常數。

① electrolyte

② ion

③ cation

④ anion

⑤ dissociation constant

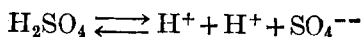
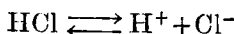
⑥ mass reaction

微量之鹽類或強酸或強鹼溶解於大量之水中，可有完全之電離，而上列之公式遂變為：

$$C_{A^+} \cdot C_{B^-} = K_C$$

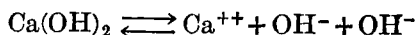
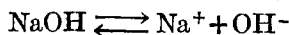
極不易溶解之鹽類，雖在其飽和液中，濃度亦極端稀薄，故可認為完全電解，而用  $C_{A^+} \cdot C_{B^-} = K_C$  公式以計算其電離常數。

酸與鹼 酸中有鹽酸(HCl)，硝酸(HNO<sub>3</sub>)，硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)，碳酸(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)等。此種酸類電離之後皆可生成氫素離子①：



是以所謂酸者，即化合物於電離之後發生氫素離子者也。但酸之強弱，則一視其電離之程度而定， $K_C$  之數愈大者，酸愈強。

鹼中有氫氧化鈉 (NaOH)，氫氧化鉀 (KOH)，氫氧化鈣 (Ca(OH)<sub>2</sub>) 等。氫氧化物電離之後，皆可生成氫氧離子②：



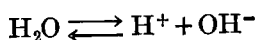
是以所謂鹼者，即化合物之於電離後可發生氫氧離子者也。而鹼之強弱，一若酸之強弱，亦視其電離之程度而定。

反應③ 反應分酸性與鹼性或鹽基性。酸性反應為氫素離子之作用，而鹼性反應乃由於氫氧離子之作用。普通測反應之法為利用試紙④之變色。使藍色試紙變為紅色，即為酸性反應。使紅色試

① hydrogen ion ② hydroxyl ion ③ reaction ④ litmus paper

紙變為藍色，即為鹼性反應。

水之電離度 水似一二離子電解物①，電離之後生成氫離子與氫氧離子：



其電離度極低，類似極不易溶解之鹽類的飽和液，故其電離常數，可用  $C_{A^+} \cdot C_{B^-} = K_C$  公式計算之。實際上，溫度在  $21^\circ\text{C}$ . 時，每公升之純水中有  $\text{H}^+ 10^{-7}$  克離子②及等量之  $\text{OH}^-$ ，故  $K_C = 10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$ 。(克離子之意義與克分子③相同，一克離子之氫 = 1 公分)

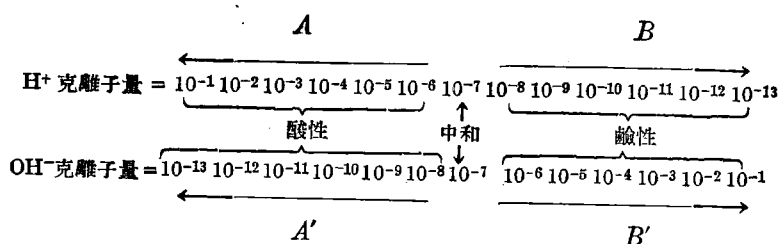
若於水中加以酸類，則  $\text{H}^+$  之克離子量增加而成酸溶液。反之，溶氫氧化物於水中，則  $\text{OH}^-$  之克離子量增加而成鹼溶液。但  $\text{H}^+$  與  $\text{OH}^-$  之積數，不論在任何反應之溶液中，必為一常數。一公升之水在  $21^\circ\text{C}$ . 之平常溫度中  $K_C = 10^{-14}$ ，則  $\text{H}^+$  離子與  $\text{OH}^-$  離子之濃度各為  $10^{-7}$ 。若  $\text{H}^+$  之濃度增加至  $10^{-5}$ ，則  $\text{OH}^-$  之濃度必減至  $10^{-9}$ 。

pH 之意義 水在  $21^\circ\text{C}$ . 之平常溫度中，每公升含  $\text{H}^+$  與  $\text{OH}^-$  各  $10^{-7}$  克離子，則可以  $10^{-7}$  為中和，而僅計氫離子之克離子量以表示反應，即  $10^{-1}$  至  $10^{-6}$  為酸性， $10^{-8}$  至  $10^{-14}$  為鹼性，而無需氫離子與氫氧離子之濃度並用。讀者若觀下表與其解釋則更易於明瞭矣。

① binary electrolyte

② gram-ion

③ gram-mol



上表每上下二數之積皆為  $10^{-14}$ ，向左之箭頭表示酸度增加之方向，向右之箭頭表示鹼度增加之方向。可見不論取  $AB$  或  $A'B'$  皆足適用，不必取  $A$  與  $B'$ 。

上述之表示反應法復由索龍申<sup>①</sup>之提議再行縮簡，即僅取其對數，而於對數之前冠以 pH 字樣。是以 pH 7 即為中和。<pH 7 至 pH 1 為酸性。>pH 7 至 pH 14 為鹼性。而 pH 即氫離子之濃度的負對數 ( $pH = -\log(H^+)$ ) (p 代表 potential, H 代表 hydrogen ion)。

當溶液<sup>②</sup>與 pH 價之關係 pH 之測定僅應用於極稀薄之溶液中的酸度與鹼度。由下表所列酸與鹼溶液之當度<sup>③</sup>與 pH 之關係即可明矣。

當度	.0001	.00001	.000001		7	NaOH	.000001	.00001
HCl								
pH	3.1→4	4.1→5	5.1→6	6.1→6.9		7→7.9	8→8.9	9.0

緩衝作用<sup>④</sup> 溶酸類於水中，由於氫素離子之生成，即發生酸性反應。於此溶液中施以相當量之鹼類，則可以鹼類之氫氧離子中

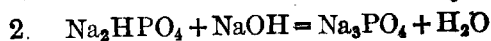
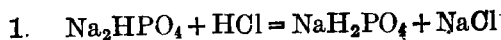
① Sørensen, S. P. L.    ② normal solution    ③ normality  
 ④ buffer action

和酸類之氫素離子。氫氧化物於溶液中依同樣原理而發生鹼性反應，亦可依同一原理以氫素離子中和之。若施酸類於中和性土壤中，未必能依酸之濃度而減低其 pH 價。施鹼類於中和性土壤中，亦未必能依鹼之濃度而使其 pH 價增高。蓋土壤中有膠體物，可吸收氫離子或氫氧離子而消除其自由行動之能力。此種吸收作用實際為鹽基代換作用，即膠體所吸收之鹽基與氫離子或氫氧離子交換位置也。(參照第六節)

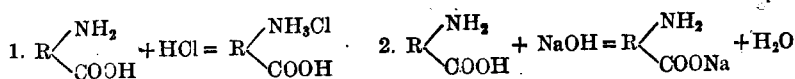


由上列之化學作用觀之，氫離子在土壤中之作用與金屬離子相同。

土壤中所含之磷酸鹽，可與酸類或鹼類化合而生成中和性鹽類，或取消其一部分之酸性，或變其為重酸鹽。



蛋白質所含之氨基酸為一兩性化合物<sup>①</sup>，其氨基可中和酸類，而其酸基可中和鹼類。



蛋白質為土壤有機物中之成分。

① amphoteric compound

若欲以人工方法，使中和性反應之土壤，發生酸性反應，或使酸性反應之土壤，增加酸度，必須以酸類之溶液，滲洗土壤，直至膠體物吸收氫素離子，已至飽和程度，且磷酸鹽類等緩衝物，已完成其與氫離子化合之作用後，土壤溶液中始可有游離之氫素離子，而土壤始可發生酸性反應。以人工方法製鹼性土壤，或增加鹼性，亦須依上法之原理作之。故所謂緩衝物者，可定義為物質，因其存在之故，必須增加酸與鹼之量以致成一 pH 單位之變化。

緩衝作用之定量的表示名之為緩衝價<sup>①</sup>。其定義為：緩衝價為一之溶液，為每公升之容積中，需一克等量<sup>②</sup>之強酸或強鹼，以致成一單位 pH 之變化。

所有土壤皆有緩衝能力，此能力測定與改良酸性或鹼性至中和程度有重要關係。卡耳登<sup>③</sup>曾提議以 pH 4.5 至 pH 9.5 為土壤之緩衝限，蓋超過此範圍，則經濟作物不能生長。此範圍內之緩衝力名之為土壤之總緩衝量<sup>④</sup>。向酸性方面之總緩衝量為所需  $H_2SO_4$  之當溶液的 c. c. 數，以使 100 公分之土壤的 pH 變為 4.5。而向鹼性方面之總緩衝量為所需  $Ba(OH)_2$  之當溶液的 c. c. 數，以使 100 公分之土壤的 pH 變為 9.5。

皮愛耳<sup>⑤</sup>提議比緩衝價<sup>①</sup>一名稱以與全緩衝量並用，而代表土壤之緩衝力。比緩衝價為多數 pH 價相近之土壤的緩衝價的平均，由測驗之結果而計算得者。若以公式代之，則為：

① buffer value

② one gram equivalent ③ Charlton, J.

④ total buffer capacity

⑤ Pierre, W. H. ⑥ specific buffer capacity

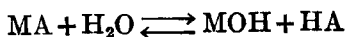
$$\text{向酸方面之比緩衝價} = \frac{\text{向酸方面之全緩衝量}}{x - 4.8}$$

$x$  為土壤原有之 pH 價。

第四七表 數種土壤之緩衝力

土 壤	原 pH 價	至 pH 4.8 之緩衝力	
		比緩衝	全緩衝
那佛克沙土①	5.65	0.35	0.30
西塞耳沙壤土②	5.90	1.45	1.60
梯夫登沙壤土③	5.80	0.94	0.94
林陶尼亞泥沙壤土④	6.20	1.00	1.40
康培泥沙壤土⑤	5.60	1.60	1.28
黑格耳斯城泥沙壤土⑥	5.60	1.50	1.20
姚樂泥沙黏性壤土⑦	7.00	5.32	11.70

加水分解作用<sup>8</sup> 弱酸與強鹽化合而成之鹽類，例如碳酸鈉，溶於水中之後，溶液呈鹼性反應。弱鹼與強酸化合而成之鹽類，例如氯化鐵，溶於水中之後，溶液呈酸性反應。鹽類溶解於水中後，使所成之溶液呈酸性或鹼性反應即名之為加水分解作用。設 MA 代表一鹽類，M 為鹽基，A 為酸基，其加水分解之公式為：

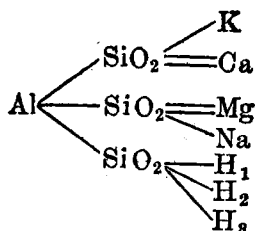


設 MOH 為不溶於水中之鹼類，或不電離者，而 HA 為電離者，溶液即為酸性。若反之，HA 為不電離者，而 MOH 為電離者，則溶液為鹼性。若所生成之酸與鹼皆非水溶性者，則 MA 直至完全變為

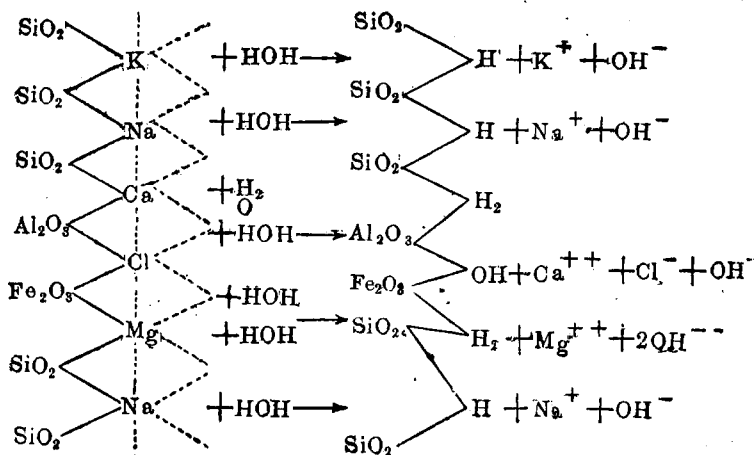
- ① Norfolk sand      ② Cecil sandy loam      ③ Tifton sandy loam  
 ④ Lintonia silt loam      ⑤ Colby silty loam      ⑥ Hagerstown silt loam  
 ⑦ Yolo silty clay loam      ⑧ hydrolysis

酸與鹼爲止，而水之反應仍爲中和。

加水分解與土壤反應 愛謀爾生以下列之構造公式代表土壤無機膠體之成分：



由上列之公式觀之，每一土壤無機膠體粒，可視之爲一鹽類。其所吸收之金屬 K, Na, Mg, H 爲鹽基，SiO<sub>2</sub> 爲酸基。此膠體粒遇水時，可發生加水分解作用而生成酸性或鹼性反應。此作用與登以下圖表之：





上圖中之虛線表示未飽和之餘剩愛力①，實線表示飽和之結晶的構造鎖線②。

奧登之圖表，指明水之氫離子或氫氧離子，皆可為膠體土粒所吸收而附於土粒之表面，生成所謂之酸性或鹼性之愛力點③。土壤中之礦物的  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$  分子比例與風化作用有關，已詳述於前。(第二節)若此比例高，即礦物中含  $\text{SiO}_2$  甚多，則多吸收氫離子。反之，若  $\text{R}_2\text{O}_3$  較多，則多吸收氫氧離子。至於吸收作用與加水分解作用的速率，或簡言之，膠體粒與水之作用的速率，則依下列各因子而決。

(1) 原子之化學性與礦物結晶構造。

(2) 加水分解作用之速率。

(3) 氫離子與氫氧離子由吸收表面電離而生成外圍活動性離子之速率。

(4) 氫離子或氫氧離子破開表面鎖線，以使  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$  入於溶液中之能力。 $\text{SiO}_2$  與  $\text{Al}_2\text{O}_3$  可為離子態，亦可為受離子之包圍的膠體態。

(5) 膠體粒與離子之電力的充足而可保持自由，不致與其他份子結合。

若溶液由土壤中滲出，則反應趨於酸性方面。若溶液聚集於土壤中，則反應趨於鹼性方面。前者為潮濕區之現象，而後者則常於乾旱區中見之。

① residual affinity    ② crystallographical bonds    ③ affinity point

土壤反應之測定 測土壤反應有電定<sup>①</sup>及色定<sup>②</sup>二法。電定法所測者為土壤提液之通電力，所得結果以 pH 價表明之。色定法所測者為土壤提液對於各種試藥液<sup>③</sup>之色的作用，由色的變化而定 pH 價。此二法中以電定法較為精確。（詳細手續見藍夢九『土壤肥料實驗法』，第三節，第五節。王正『農藝化學實驗』，234 頁至 259 頁。以上二書皆為國立北平大學農學院出版。西文書籍見下列之參考書。）

#### 參考書：

- Russell, E. J.: "Soil Conditions and Plant Growth." 6th. ed., pp. 488—499 196—200. Longmans, Green & Co. London, 1932.
- Emerson, Paul: "Principles of Soil Technology". Chaps. 17, 20. The Macmillan Co., New York. 1930.
- Getman, F. H.: "Outlines of Theoretical Chemistry". pp. 21—23, 174—181, 212—223, 311, 421, 444. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1922.
- Comber, N. M.: "An Introduction to the Scientific Study of the Soil". pp. 200—203. Edward Arnold & Co. London, 1932.
- Mattson, S.: The Laws of Soil Colloidal Behavior: II. Proteins and Proteinated Compounds. Soil Sci. 33: 41—72. 1932.

### 第十節

#### 酸土

所謂酸土<sup>④</sup>者，乃指土壤之含有酸味或可變藍色試紙為紅色者而言。歐洲農民名此種土壤為酸味土壤<sup>⑤</sup>。土壤化學家名其為酸土或酸性土。此種土壤常有施以大量之肥料而不見效者，故中國農

① electrometric

② colorimetric

③ indicator solution

④ acid soil

⑤ sour soil

民以寒字或慢字形容之。不論中西農民皆知施用石灰或草木灰，即可改良此種土壤。

按蕭查理<sup>①</sup>之報告，中國土壤，約以淮河爲界，其北爲聚鈣土壤，其南爲聚鐵土壤。凡聚鐵土壤皆有發生酸性反應之可能性，是以酸土問題在我國農業上，不可輕視之也。（『聚鈣土壤』與『聚鐵土壤』參考卷上第二十二節）

酸土之研究史 美國土壤學者愛謀爾生云：『土壤學之論文幾可有四分之一爲關於土壤酸性者。』可見土壤學者對於酸土之注意的一斑。

舊時代之研究土壤化學者，以爲酸土中含有酸類，且以泥炭多爲酸性者，故假定酸土之酸與泥炭之酸性質相同。至於此種酸之來源，則爲有機物分解所生成者，蓋植物遺體於分解至一種程度時即生成酸類，若排水不良，空氣不能流通，則此酸類聚積，而使土壤發生酸性反應。然酸土非僅限於泥炭類，或含有有機物甚富，而排水不良，空氣不流通之土壤，礦質土壤之含有有機物極微，或有有機物分解迅速，排水性良好而空氣易於流通者，亦可發生酸性反應，故土壤酸之來源，非完全由於有機物之分解，而必承認土壤中含有酸性礦物質。若以二氧化碳氣溶液處理高陵土，可使溶液呈酸性反應，漸變藍色試紙爲紅色。高陵土爲土壤中之普通礦物，而二氧化碳氣爲有機物分解之終點生成物，二者發生反應之後，即可生成酸類。

① Charles F. Shaw

化學的解釋雖甚圓滿，但研究酸土者，從未有一人，曾由酸土中取出相當量及有定成分之酸類。因而開木拉①乃根據貝美倫②之研究而創一新說。貝美倫為研究膠體化學者，膠體物之特性經其所測定者甚多，其對於土壤學之貢獻，為證明腐植質為膠體物。開氏根據貝氏之所得，乃指明土壤酸的現象可以膠體物的作用解釋之，無需假定土壤中可有酸類存在。膠體物對於藍色試紙之鹽基的吸收力較強。鹽基被吸收之後，殘餘之酸基即使試紙現紅色。棉絮不含任何酸類，但由於其吸收作用，可變藍色試紙為紅色，故此種現象為吸收體通有之性質。

贊助開氏之說者大有人在，例如鮑蒙③與格來④證明未分解之水苔⑤亦可變藍色試紙為紅色，與泥炭之酸性作用相仿，故土壤酸非分解生成物。以水提取酸性泥炭，所提出之液並無酸性反應，故設假定泥炭中可有酸類存在，亦非水溶性者。但以中和性鹽類如氯化鈣，硝酸鈉等之溶液處理泥炭與水苔，則所提出之液含酸性甚強，是以設泥炭與水苔中含有酸類，亦必為一種儲酸⑥且其力必甚強也。有此種試驗結果之後，鮑格二氏乃結論曰，『化學家既不知酸類中有所謂儲酸者，則土壤中之酸性反應認為一種吸收作用較為合理。』

其他贊助吸收說者，曾舉下列四種現象以反駁酸類之存在。

1. 以等酸量之一種鹽基的鹽類溶液處理泥炭與水苔之後，所

① Cameron, F. K.      ② Bemmelen, J. M. van      ③ Baumann, A.  
④ Gully, E.            ⑤ sphagnum                      ⑥ potential acid

提出之溶液中不含等量之酸類，證明此作用為物理的吸收而非化學的變化。

2. 以不同鹽基之鹽類溶液處理泥炭或水苔，被吸收之鹽基量不相等，鉀被吸收之量較鈉者多。

3. 被吸收之鹽基量，依溶液之濃度與水苔之量而變異，但不依化學作用的定律。

4. 泥炭之通電力甚低。若以溶解磷酸三鈣之力為準，則與泥炭有相等溶解力之酸類的通電力，較泥炭者高。

漢里斯①曾依上述原理而研究礦質土壤之酸性的現象，所得結果與由泥炭之研究所得者相似，即酸土可將藍色試紙變為紅色，其水提液為中和性，以中和性鹽類溶液處理之，則提出之液為酸性。是以必須假定礦質酸土中含有一種儲性之礦質酸，但若以選擇吸收作用解釋此現象則較為合理，且可與開木拉之說符合。

日本學者大工原銀亦為贊助吸收說者，但曾證明此吸收作用非一簡單的表面凝積，而為一鹽基代換作用。大工原以化學家既不能承認土壤中可含有一種不能溶解之儲酸，何以能承認一不平衡之鹽類的分解為合理。蓋大工原於分析以鹽類溶液所提出之酸土液時，乃得一鋁鹽，且此鋁之量與被吸收之鹽基有約等量的關係，故可承認吸收作用為鹽基與鋁之代換作用。鋁鹽可變藍色試紙為紅色故為酸性，而礦質土壤之酸性現象乃游離之代換性鋁的作用也。

① Harris, J. S.

證明大工原之說爲然者有來斯①，哈特衛②，朋博③等。來斯曾以硝酸鋁溶液之氫離子之濃度與以硝酸鉀處理酸土所得之提液者相比，測出之結果幾相等，是以在化學的原理上，大工原之說當可成立。

哈特衛與朋博曾以真酸類施於培植液中，以察其對於大麥及裸麥生長之影響，乃知二者之受害情形相同。以酸土之提液試之，則影響情形各異，故酸土中必含有非真酸類所具有之物質。分析提液之時，乃得鋁。

不論何種學說必須以原理上的新發現以補充之，始克臻於完善。土壤酸之測定法由試紙之變色而進化至氫素離子之濃度的測定。土壤化學家引用膠體化學之原理，已能將土壤膠體之成分，構造，化學作用等，探討明晰或與以合理之解釋。

土壤化學界中之領袖，如奧登與特路亞格皆以酸性土壤中可有游離之酸存在，否則不能測出其氫素離子之濃度。鹽基代換作用亦可使土壤發生酸性反應，蓋膠體物所吸收之氫素可與鹽類之鹽基代換而變爲游離之氫素離子。氫黏土亦可電離而生成氫素離子圈，此氫素離子之作用與真酸者相同，惟其活動之範圍有限。膠體沈澱之時，其氫素離子亦相隨沈澱。是以衛格納與樸門④分土壤酸類爲二種：一爲水溶性者，如硫酸，磷酸，碳酸等。一爲水不能溶者即土壤中之吸收複合體所吸收之代換性氫。而卡本⑤則分土壤之酸性爲下列四種：

① Rice, F. E.

② Pallmann, H.

③ Hartwell, B. L.

④ Kappen, H.

⑤ Pember, F. R.

1. 活動酸性① 土壤中之游離酸所發生之酸性，謂之活動酸性。

2. 加水分解酸性② 施鹼性鹽類如醋酸鈉於土壤中後，所發生之酸性，即謂之為加水分解酸性。

3. 代換酸性③ 施中和性鹽類溶液於土壤中後，鹽類之鹽基與土壤中之鋁代換所發生之酸性，即卡氏所謂之代換酸性。

4. 中和性鹽類分解酸性④ 此酸性之生成與代換酸性者相同，但無鋁放出於溶液中。

#### 土壤酸之來源

土壤中繼續不斷的有酸類生成，其主要來源可有五項。

有機物之分解 有機物所含之碳以分解為二氧化碳氣為其終點生成物。按英國羅塞模斯台得試驗場所測定者，每平方公尺之土壤中，每日可發生二氧化碳氣 20—50 公分。二氧化碳氣溶解於水中後即生成碳酸。碳酸雖為弱酸，然其作用日積月累，若以土壤的年齡計其作用之長久性，則其可使土壤變為酸性，不足奇矣。蓋碳酸於生長之後，即與土壤中之鹽基化合而與排水流失，待鹽基之量不足以中和所生成之碳酸時，土壤中由於游離碳酸之存在，遂發生酸性反應矣。

有機物所含之氮與硫於分解完成之後，氮變為硝酸，硫變為硫酸。此二種酸類必與鹽基化合而成硝酸鹽或硫酸鹽。若鹽基不足用

① active acidity  
③ exchange acidity

② hydrolytic acidity  
④ neutral salt decomposing acidity

時，亦可使土壤發生酸性反應。但硝酸根與硫酸根皆可為植物所吸收以作食料而還鹽基於土壤中。其不為植物所吸收者，仍與鹽基相偕與排水洗失。

含氮甚少之有機物如綠肥與禾稈於分解之際可生成有機酸而使土壤之 pH 價增高。若空氣流通，水分適當，則有機物繼續分解而解放鹽基以中和有機酸而使土壤之 pH 價返回原有之狀態。若水分過度，空氣不能流通，則分解甚緩，或不能解放鹽基以中和酸類，是以泥炭之 pH 價可高至 3.2。

肥料之施用 施用酸性肥料為增加土壤酸之一主因。下表所列為硫酸銨之施用與土壤 pH 價之關係。

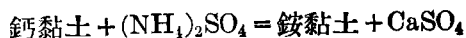
第四八表 硫酸銨之施量與土壤 pH 價之關係 (皮愛爾)

土壤種類	土壤反應		
	原 pH	每英畝施硫 酸銨 500 磅	每英畝施硫 酸銨 1000 磅
那佛克①沙土	5.85	5.00	4.80
洛斯登②沙壤土	5.40	4.65	4.35
奧龍基堡③沙壤土	6.00	5.07	4.75
格林衛④沙壤土	5.80	5.00	4.77
那佛克沙壤土	5.25	4.70	4.45
地卡圖⑤泥沙壤土	5.75	5.20	5.05
西席⑥黏性壤土	6.15	5.88	5.60
地卡圖泥沙壤土	5.85	5.45	5.20
地康博⑦細沙壤土	5.90	5.15	4.85
米西西北⑧三角洲壤土	6.00	5.65	5.50
梯夫登⑨沙壤土	5.89	5.40	5.00
巴斯馬⑩細沙壤土	5.15	4.90	4.70
西席沙性壤土	5.75	5.48	5.18
林陶尼亞⑪泥沙壤土	6.40	5.85	5.65

- ① Norfolk    ② Ruston    ③ Orangeburg    ④ Greenville    ⑤ Decatur  
 ⑥ Cecil    ⑦ Dekalb    ⑧ Mississippi    ⑨ Tifton    ⑩ Portsmouth  
 ⑪ Lintonia



硫酸銨與土壤接觸之後，第一步之變化為與鈣黏土發生一種二重分解作用，或鹽基代換作用：



硫酸鈣為水溶化合物，故即溶解於土壤水分中而與排水流失。第二步之變化即為銨黏土之銨經硝化細菌之作用而變為硝酸。硝酸於生成之後，即與土壤中所儲藏之碳酸鈣化合而生成硝酸鈣。若土壤中無游離之碳酸鈣，或於游離之碳酸鈣已用盡之後，則取黏土所吸收之代換性鈣。如此而生成之硝酸鈣一部分為植物吸收，一部分與排水流失。其為植物所吸收之部分，於植物取用酸根後，可將鈣復歸還於土壤中，其與排水流失之部分，則鈣與氮俱失。

若全部之硝酸鈣與排水流失，則每施硫酸銨 100 磅，碳酸鈣之損失為 150 磅。若硝酸鈣全部為植物所吸收，則碳酸鈣之損失量可減至 75 磅。至於平均之碳酸鈣之損失量，可於下列諸人之計算見之：

胡地希 <sup>①</sup>	100
哈特衛 <sup>②</sup> 與戴門 <sup>③</sup>	110
皮愛爾	120

土壤中由於代換性鈣之損失，致使吸收複合體之代換性鹽基以氫為主體時，即發生酸性反應。酸性反應土壤中之吸收複合體頗不固定，可向土壤溶液中放出鐵與鋁之氧化物。若於此時再行施用硫酸銨，則硫酸根與鐵或鋁化合而生成硫酸鐵或硫酸鋁，此二種化

① Hudig, J.

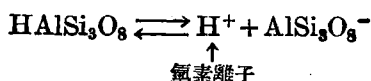
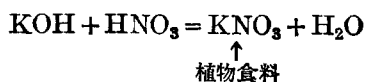
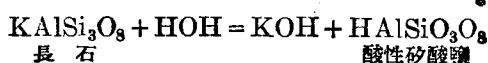
② Hartwell, B. L.

③ Damon, S. C.

合物皆有毒害作物之劣性。

其他酸性肥料如氯化鉀，硫酸鉀皆為消耗土壤鈣者，故皆有使土壤變為酸性或增加酸土 pH 價之傾向，其中尤以硫酸鉀為甚。

矽酸鹽礦物之加水分解作用 矽酸鹽礦物加水分解之後，放散鹽基於土壤溶液中，鹽基被植物吸收，或與排水流失，殘留酸性矽酸鹽於土壤中，致使土壤發生酸性反應。例如：



矽酸鹽礦物喜取氫為其吸收體，於其加水分解之後，氫游離於礦物粒之四圍，使包圍礦物粒之溶液發生酸性反應。（參照第九節奧登之礦物加水分解圖）

植物之生長 植物於生長之際，由其根部分泌碳酸為量甚多。豆科植物可取用磷灰石之磷素，即由於其所分泌之碳酸將磷灰石溶解為水溶化合物之故。植物生理學者創所謂植物之求食力<sup>①</sup>一名詞，即指植物分泌碳酸以溶解土壤礦物而取食料之能力而言。

菌類於生長之際可分泌羧酸，果酸等。

雨水之攜帶 雨水中含有硝酸，硫酸，鹽酸等，其來源為燃燒

① the feeding power of plants

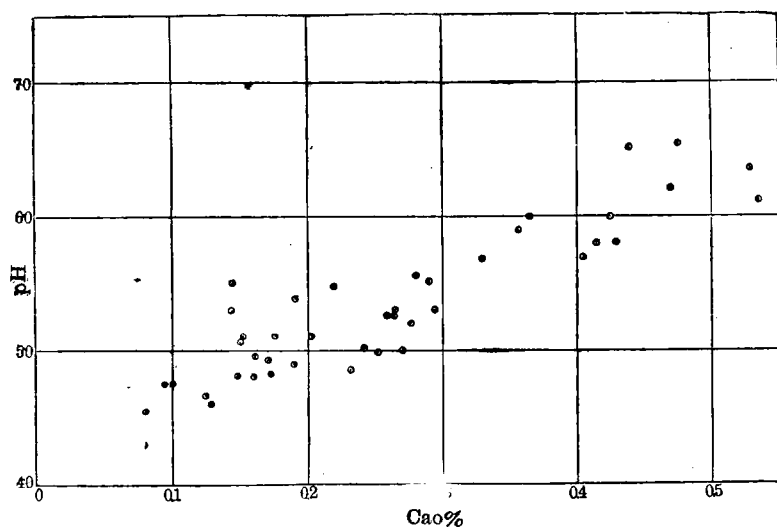
作用所揮發者。羅塞模斯台得試驗場每年每英畝由雨雪帶入土壤中之硝酸為 2.81 至 2.98 磅。

土壤中之植物應用食料，一面由植物吸收，一面由排水洗失，若繼續此損失工作，而無新的應用植物食料生成，則不需長久時間，土壤即可損失其生長植物的本能。供給此項應用植物食料者，除肥料外，即土壤中之礦質植物食料。但礦質植物食料必須於溶解之後，變為水可溶或稀薄酸可溶之化合物，始可供植物所取用。溶解土壤礦物之物質，當然為土壤所生成或由雨雪所帶來之酸類。是以應用植物食料既繼續不斷的損失，則酸類必須繼續不斷的生成，以維持土壤之生產力，但每生成一酸根，土壤礦物必須放出一鹽基，及至鹽基損失過度之時，酸根不能完全中和，則氫素離子成游離狀態，遂使土壤發生酸性反應矣。故土壤之酸性度與其所含之鹽基量成反比例，（見下圖）若使土壤長久成鹽基飽和狀態，則雖酸根繼續不斷的成生，亦不致發生酸性反應，而石灰之施用於酸土中的意義，即維持土壤之鹽基飽和狀態也。

#### 酸土對於植物之影響

酸土對於植物之影響可分為三端：一為氫素離子之為害，一為游離態鐵及鋁之毒性，一為鈣之缺乏。

氫素離子之為害 酸土中之氫素離子可傷害植物至若何程度為一不易答覆之問題。土壤之 pH 價少有在 5 以上者，而其在 6 以上時，植物即明顯受害。若在培植液中，則 pH 價雖在 4 以上亦無害。



第八圖 代換性鈣量與 pH 價之關係

於植物。例如英國羅塞模斯台得試驗場之所得，最適於大麥生長之培植液的 pH 價為 3.8，而往本①田中，pH 價為 4.5 時，大麥已不能生長。況吾人於測定土壤中之 pH 價時，不能得土壤之真溶液，而必以水沖淡之，（普通為一比五）此沖淡工作可增高 pH 價，故事實上，植物根所接觸之土壤溶液的 pH 價，不若以化學方法所測定者之高也。

氫素離子於土壤中是否能直接為害植物，既不能以化學及植物生理學方法求得之，則必須採用他種方法，於是奧爾生②乃用調查與統計方法，以求得 pH 價與植物分佈之關係，下表所列為其一部分之結果。

① Woburn

② Olsen, C.

• 第四九表 土壤之 pH 價與植物之分佈

植物	pH 組									調查區數
	3.5-3.9	4-4.4	4.5-4.9	5-5.4	5.5-5.9	6-6.4	6.5-6.9	7-7.4	7.5-7.9	
<i>Deschampsia flexuosa</i>	86	68	40	—	—	—	—	—	—	13
<i>Calluna vulgaris</i>	20	47	10	20	—	—	—	—	—	13
<i>Gallium hercynicum</i>	94	77	40	20	15	—	—	—	—	18
<i>Potentilla erectum</i>	67	99	63	73	48	45	10	20	—	39
<i>Agrostis canina</i>	—	100	100	73	63	100	—	—	—	12
<i>Festuca ovina</i>	—	100	47	35	20	20	50	—	—	12
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	33	47	79	80	83	76	27	30	30	46
<i>Ciridium oleraceum</i>	—	—	—	40	67	62	33	52	23	33
<i>Angelica sylvestris</i>	—	—	—	—	—	—	50	100	80	8
<i>Tussilago farfara</i>	—	—	—	—	—	35	33	48	30	14
<i>Tussilago farfara</i>	—	—	—	—	—	10	10	55	80	9
<i>Agrostis alba</i>	—	—	—	—	—	—	30	65	60	7

除上表所列者外,其他普通植物之分佈爲:

pH 4.5 及以上: *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Carex pilulifera*, *Luzula pilosa*, *Convallaria majalis*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea*.

pH 4.5 至 6.0: *Melica uniflora*, *Milium effusum*, *Asperula odorata*.

pH 6.0 至 7.4: *Hordeum sylvaticum*, *Mercurialis perennis*, *Allium ursinum*, *Aegopodium podagraria*, *Brachypodium sylvaticum*, *Ficaria verna*, *Geum urbanum*, *Anemone hepatica*, *Sanicula europaea*.

由奧氏之結果，吾人可知土壤之 pH 價可支配植物之種類與數目，但實際上是否完全由於氫素離子之作用，則尙未能確定之也。

游離態鐵與鋁之毒性 自大工原以鹽基代換作用解釋土壤所以能發生酸性反應之原理後，一部分之研究酸土者，乃轉其注意力於鐵與鋁之毒害性。哈特衛與朋博之結果已述於前。米樂向 ① 證明酸土中普通皆含活性鋁 ②，但賴恩 ③ 則以普通低酸度之土壤中，水溶鋁之量甚低，不足以毒害植物。惟李根 ④ 與皮愛爾由培植液之試驗結果已證 1 p. p. m. 之水溶鋁即可毒害作物，而 pH 4.5-5.0 之土壤中均可有 1 p. p. m. 之游離鋁存在。

酸土中之水溶性鐵，雖為量甚低，但其若為亞氧化物 ⑤，則毒性甚大，雖微末之量亦可傷害植物。

總之，鐵與鋁之為害與否，或與植物之種類及土壤之性質有關也。

鈣之缺乏 土壤之所以能發生酸性反應者，乃由於鹽基損失之過度，而土壤鹽基之最易於損失者為鈣。鈣為植物必需食料中之一者。鈣有造成土壤良好物理性之能力。鈣可促進硝化細菌與氮氣固定細菌之工作率。鈣之重要由此可見。按魯賓生英國北衛爾斯 ⑥ 之酸土為害，乃由於鈣之不足。該處之高地與山谷皆為酸土，高地土壤最受酸性之害，施用石灰最為有益，山谷土壤雖亦為酸性，但植物不受其害，施用石灰亦無特別利益，由分析結果，乃知高地土

① Mirasol, J. J.

② active aluminium

③ Line, J.

④ Ligon, W. S.

⑤ ferrous compound

⑥ North Wales

壤含代換性 CaO 甚低，皆在 0.05% 以下，而山谷土壤則含 0.2 至 1% 以上。

### 酸土對於土壤生物之影響

土壤酸性之程度，可影響於土壤生物之種類及數目。蚯蚓最不喜歡酸土，其原因或由於鈣之缺乏，不足以滿足其營養上之需求。細菌中如硝化細菌，氮氣固定細菌，纖維質分解細菌等，皆以中性土壤中為最適宜。大多數之病菌喜生長於酸性土中，而土壤微生物之繁殖處，普通皆為酸性者。總之，凡土壤中之有益生物皆喜生長於中性或近乎中性之土壤中。

### 土壤 pH 價之變異

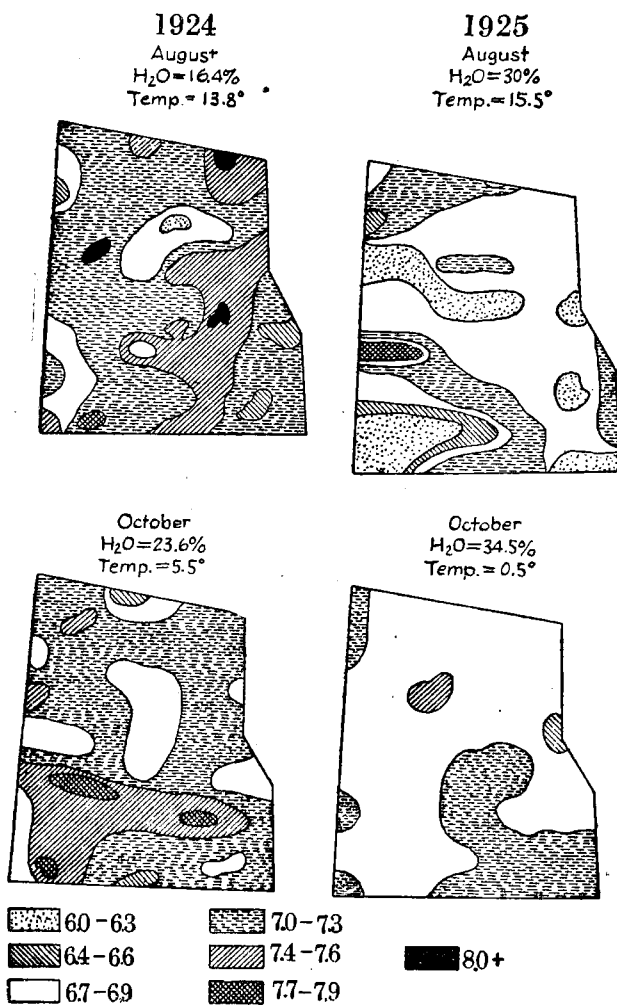
土壤之 pH 價，不僅非固定者，且變異甚速，變異的因子以水分溫度為主因，植物之作用副之。下圖為海摩林<sup>①</sup>所得俄國一灰土之 pH 價的變異情形。（此圖所代表之面積約為十六畝）

土壤之 pH 價所以能變化的原因甚多，按希得斯<sup>②</sup>之報告，冬季雨量，土壤中之碳酸增加，土壤受酸性滲瀘水之洗滌，損失鹽基，故其 pH 價可變低。

土壤 pH 之變化在農業上含有重要意義，而在科學上亦頗有研究價值，惟關於此問題之論文異常稀少，蓋測定土壤酸度之方法，尚未臻於完善。是以研究土壤酸性者，少有注意於酸土在自然環境中的變化情形也。

① Hemmerling, V. V.

② Siders, C. P.



第九圖 土壤 pH 價之變化 (Hammerling)



## 土壤酸度與土壤之石灰需量

所謂酸性者既為氫素離子之作用，則酸度即為氫素離子之濃度。測氫素離子之濃度的方法有二種，一為以氫氧化物之溶液滴定酸溶液之氫素離子的量，一為取酸溶液而電定或色定其氫素離子之濃度。(方法手續見參考書)

以氫氧化物溶液滴定 循化學的定律，以含氫氧離子之溶液滴定酸土之提液，應可測定每一定量之酸土，於滴定至中和點時，所需之氫氧化物的量，由此量即可算得所試土壤之氫素離子含量。但事實上則不然，蓋酸土之酸性不能與硫酸，鹽酸，硝酸等強酸之酸性相比，而類似有機酸者。強酸之氫在稀溶液中完全為離子態。弱酸則以電離度甚低之故，僅可有一部分之氫素成離子態，但於滴定之時，因受氫氧離子之影響，使加水分解作用連續的進行，致使不能達明顯之中和點，且於未達中和點之前，膠體可吸收氫氧離子之量至破壞其固定性之程度，是以化學的滴定法不能用之於土壤酸度之測定也。

氫素離子之濃度的測定 塞戴爾①於1913年，首創以電定法測土壤中氫素離子之濃度以定土壤酸度之方法。塞氏之法曾經諸研究家之逐步的改善，其最要者為彼爾門②之 quinhydrone 電極以代塞氏之氫素電極，而使手續簡便，結果精確。但電定法所測者為土壤中之活動酸性，或存在於土壤液中之氫素離子。此種氫素離

① Seidel, Th.

② Billmann, E.

子有二種狀態，一為絕對活動者，屬於真酸類，一為半活動性者，乃膠體所吸收之代換性氫。此種氫可因加水分解作用而變為土壤溶液中之氫素離子，但其活動範圍受膠體之限制，膠體於沈澱之時，此種氫素離子亦離開土壤溶液相隨而沈澱，是以土壤懸液之 pH 價恆較土壤溶液者高也。

為求節省手續，減輕設備，且可攜之於田中就地測定土壤之 pH 價，土壤化學家乃利用試藥之變色而創氫素離子濃度之色定法。此法所測之氫素離子與電定法所測者相同，惟必須用土壤之提液，蓋混濁之懸液，使色之變化不能明顯，大可影響於結果之精確度也。

土壤之石灰需量<sup>①</sup>的測定 電定法與色定法固為測定土壤酸度之最精確方法，但實際上學者與農人所以欲測知土壤之酸度者目的在求知使酸土改善至中和點時，所需之石灰的量。惟土壤之酸度與其石灰需量顯明為二個不同之問題。施於土壤中之石灰，除其可中和土壤所含之游離氫素離子外，尚與土壤膠體之飽和度或土壤之緩衝量有關，且須減低或消除土壤中之游離鋁與鐵，是以有土壤石灰需量之測定的需要。

所謂土壤之石灰需量者，乃指於一酸土中，施以若干量之石灰，即可使其中和或近乎中和之謂也。此量不僅與土壤之酸度有關，亦須滿足土壤之緩衝量。同一 pH 價之二種土壤，黏性者之石灰需量必較沙性者高，泥炭土者為最高者。

試紙法 測土壤石灰需求量之方法的演進，為土壤化學進步

① lime requirement.

的歷史中之最感興趣的一頁。最初之研究此問題者，以藍色試紙變為紅色之速度及紅色之濃度而表示土壤之石灰需量。創用此法之時，土壤化學家對於氫素離子之濃度的測定，土壤之緩衝力，鹽基代換作用等問題，所知極為有限。惟藍色試紙除可與土壤中之氫素離子發生反應外，尚可表示土壤之吸收力或鹽基代換力，故此方法雖失之過簡，然尚有相當之實用價值，是以雖至今日尚有有用之者。

**稀鹽酸法** 為求方法之科學化，學者乃利用酸與碳酸鈣發生反應時放散二氧化碳氣之化學作用而測土壤之石灰需量。凡土壤於受酸之處理後，設無氣泡發生即為酸性土壤而必須以石灰中和之。但此法僅可測知土壤中是否含有游離之碳酸鈣，而不能測知土壤之飽和度或不飽和度。石灰岩原積土，常有含游離碳酸鈣而需要石灰者，蓋土壤中常有粗大之石灰塊，可與所施之酸發生反應，而不能放其鈣於土壤中，以為膠體所吸收。在土壤培肥與植物生長方面，代換性鈣之充足，較之游離而無效之碳酸鈣的存在尚感重要也。

**中和性鹽類溶液代換法** 上述方法之缺點，為未能測知膠體之不飽和程度，換言之即未測代換性氫之量，於是大工原，特路亞格，焦恩斯<sup>①</sup>等乃創以中和性鹽類溶液處理酸土，以代換膠體所吸收之氫，然後以簡便方法測定溶液中之總酸度，由所得結果而計算所試土壤之石灰需量。在理論上，如此而測得之石灰需量當代表中和游離性氫素離子與代換性氫素離子所需石灰之總量。若依所

① Jones

測得之量，而施石灰於所試之土壤中，除能中和酸性外，尙可使該土壤成鹽基飽和狀態。特氏與焦氏之方法已被美國之土壤化學家採爲標準方法，蓋由作物之產量的統計，已能證明由此二法所測得之石灰需量與事實上農田所需求者頗相符也。惟土壤與中和性鹽類溶液發生反應之時，所可發生之酸度與鹽類及溶液的相對量有關，或者尙有他種因子影響此種作用，故特，焦，大工原三氏之方法不能不謂爲含有人工性也。

直接中和法 中和酸土之惟一的物質既爲石灰，則以石灰爲藥劑，施大量於所試之酸土中，然後測土壤減低所施石灰溶液之鹼性的度所得之石灰需量較爲合理。創此種方法者，有衛區① 郝慶生② 與曼克賴南③。但此種方法亦有缺點，蓋土壤與游離鹽基發生反應之時，鹽基被吸收之量與溶液之濃度有關，而鹽基與土壤之相對量亦大可影響所得之結果，是以此種方法亦含有人工性也。

上述各種石灰需量測定法，雖在農業上已給予農民以莫大之裨益，但其科學上的缺點，不能不設法矯正之。

代換性鈣與石灰需量 晚近希生克與蓋得路伊茲等之研究結果，指明土壤所含之代換性鈣的量，對於作物之產量及土壤良好物理性之維持，較之 pH 價與石灰需量者，關係更爲密切。此種事實對於石灰需量之測定法的改善，不無重要表示。按一般學者所見到者，與其測土壤吸收石灰之力，勿寧測其所含之代換性鈣的量，及土壤之總代換量，而由此二數自字中或可求得一相關之數，足以表

① Veitch, F. P.      ② Hutchinson, H. B.      ③ MacLennan, K.

示土壤之最經濟的石灰需量。

希生克名土壤所可吸收之鹽基的總量為  $T$ ，土壤原含之代換性金屬離子的量為  $S$ 。由  $T$  減  $S$  ( $T-S$ ) 即為土壤原含有之代換性氫離子量。若以  $V$  代表土壤之鹽基飽和度<sup>①</sup>，則  $V$  為  $\frac{100 S}{T}$ 。 $V$  與作物生產量有極密切之關係，故應可由  $V$  求得一數以代表最經濟的石灰需量。

英國學者對於此種研究，亦有最感興趣之貢獻。其工作步驟分為如下：

1. 以供試土壤之一部分測得所含之代換性鈣量。此量以  $a$  代表之。

2. 以供試土壤之另一部分測得其石灰需量。此量以  $b$  代表之。

(英國學者多用郝慶生與曼克賴南方法)

3. 以酸處理供試土壤之第三部分，將其鹽基完全以氫代換，然後測其石灰需量，所得結果名之為最高石灰需量<sup>②</sup>，此量以  $c$  代表之。

4. 由  $c$  減  $b$  ( $c-b$ ) 所得之數在理想上應代表供試土壤原含之石灰量。

5. 將由第四項所得之數( $c$  與  $b$  之差數)算為  $c$  之百分率，乃得一與土壤之經濟的石灰需量極相關之數。(見下表)

① degree of base saturation

② maximum lime requirement

第五〇表 英國姚克西<sup>①</sup>數種土壤之代換性鈣量,石灰  
需量,及最高石灰需量

土壤號	施用石灰代換性鈣之利益	石灰需量 (a)	最高石灰需量 (b)	石灰需量 (c)	(c-b)	(c-b)算為(c)之百分率
		% Ca	% Ca	% Ca		%
1		0.556	0.038	0.336	0.298	83.69
2	施用石灰無利益	0.334	—	0.225	0.225	100.00
3		0.305	—	0.211	0.211	100.00
4		0.208	0.018	0.139	0.121	87.06
5		0.208	0.030	0.103	0.076	71.69
6		0.183	0.110	0.200	0.090	45.00
7		施用石灰有益	0.155	0.122	0.188	0.076
8	0.099		0.093	0.144	0.051	35.41
9	0.094		0.105	0.152	0.047	30.92
10	0.064		0.141	0.157	0.016	10.19
11	0.047		0.173	0.195	0.022	11.28
12	0.039		0.085	0.105	0.020	19.04

由上表可見 (1) 酸土之代換性鈣含量在百分之 0.183 以下時,施用石灰始可有效; (2) 石灰需量與石灰之效率無明確關係; (3) (c-b) 對 c 之百分率在 45 以下時,所施石灰始可有效。

參考書:

Camargo, T. de, and Mello, P. C. de: Influence of Eight years Successive Fertilizing with Concentrated Potash Salts and with Kianit on the Replaceable Bases of the "Terra roxa" soil. Soil Sci. 37:167-178, 1934.

Comber, N. M.: An Introduction to the Scientific Study of the Soil. pp. 109-124. Edward Arnold Co., London, 1932.

Dutcher, R. A., and Haley, D. E: Introduction to Agricultural Bioche-

① Yorkshire

- mistry. Chapt. X. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1932.
- Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. Chapt. 17. The Macmillan Co. New York, 1930.
- Ligon, W. S. and W. H. Pierre: Soluble Aluminum Studies: II. Minimum Concentration of Aluminum found to be Toxic to Corn, Sorghum, and Barley in Culture Solutions. Soil Sci. 34:307-317, 1932.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 5th. Ed., pp. 109-113, Longmans, Green & Co., London, 1921.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th., Ed., pp. 488-489. 1932.
- Shaw, C. F.: The Soils of China. Soil Bulletin, The Geological Survey of China. Peiping. 1930.
- Siders, C. P. and Krauss, B. H.: The Effect of Sulfur and Phosphorus on the Availability of Iron to Pineapple and Maze Plants. Soil Sci. 37:85-97. 1934.
- Wiley H. W.: Principles and Practices of Agricultural Analysis. pp. 494-522. The Chemical Publishing Co., Easton, Pa., 1926.
- Wright, C. H.: Soil Analysis, A Handbook of Physical and Chemical Methods. Thomas Murby & Co., London, 1934.
- 王正 農藝化學試驗 234 至 254 頁 國立北平大學農學院 民國二十一年
- 藍夢九 土壤肥料實驗法 第五章 第三節 第五節 國立北平大學農學院 民國二十三年
- 劉和 土壤學 卷上 第二十二節 商務印書館 民國二十四年

## 第十一節

## 農用石灰

關於酸性土壤之科學的認識，雖疑問尙多，但其生成的主因為由於鹽基損失之過度，或活動性鹽基之缺乏，（指代換性及水溶性

鹽基)則已爲土壤化學者所公認之事實,是以改良酸性土壤之方法,當爲供給活動性或易變爲活動性之鹽基,以使酸土中和,或成鹽基飽和狀態,或由經濟方面觀之,使酸土可不由酸性反應或植物食料之供給上的不正常情形而限制作物之產量。

供給鹽基之物質中,價值最廉,分佈最廣,採取最易,製法極簡者,厥爲石灰。鹽基中之在改良土壤物理,化學,及生物狀態,最有效率者爲鈣與鎂。排水由土壤中所洗失之鹽基,以鈣及鎂爲最多。故可供改良酸土之物質,不論科學上的需求,或經濟上的需求,捨石灰外,無他較爲適宜者。

石灰有改良土壤之能力,並非科學上之新發現。英國農學者戴衛<sup>①</sup>於1813年曾云:『石灰之功效,在其能溶解堅固之有機物。』由此可見農學者對於石灰之功用的注意,僅百有餘年之歷史。惟以農業及土壤之歷史觀之,石灰之爲用恐不在千年以下。華南農民有視石灰爲必須施用之肥料者,且施量甚大,每畝施生石灰三百斤,爲習見之事。施量不能以需要爲依據,致使過量與不足皆可影響農民之經濟,農學者不可不引以爲憾。

#### 農用石灰之種類

農用石灰之來源,以石灰石爲主體,其次者有白雲石,白堊,及泥炭,貝殼等。石灰石之基本礦物爲方解石。方解石之化學成分爲碳酸鈣( $\text{CaCO}_3$ )。碳酸鎂亦爲石灰石之必含有的成分,而其含碳酸鎂甚多者,名之爲白雲石。除此二主要成分外,石灰石尙可含砂,

① Davy, H.



鐵，鋁，鉀，鈉等之化合物。此種化合物可認為石灰石之雜質。下表所列為 345 個石灰石樣本之平均化學成分。

SiO <sub>2</sub>	5.19%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.54%
CaO	42.61%
MgO	7.90%
Na <sub>2</sub> O	0.05%
K <sub>2</sub> O	0.33%
CO <sub>2</sub>	41.58%

石灰石之質體疏鬆者，常成白色，故名之為白堊。岩石態之石灰石，有質體極堅，碎之現貝狀裂線（參照卷上第五頁），擊之發金屬之音者，但普通者皆為質脆而易碎為粉者。石灰石若含炭甚多，則成灰色，但燃燒之後，即變白色。其含氧化鐵較多者，現紫或紅色。貝殼為水塘，湖池中新堆積之貝殼動物遺骸。此種遺骸若堆積已久，部分的已成破壞狀態，且雜之以泥土，則為灰泥，為農業上之應用。此數種石灰之選擇，常以運費為先決條件，而以品質為次要者，蓋若就地可得灰泥，則雖其含鈣較少，亦常可廉於由遠方購買石灰石也。

以石灰石而加以極簡單之製造，可成四種農用石灰：(1) 石灰石粉，(2) 生石灰，(3) 熟石灰，(4) 氣化石灰<sup>①</sup>。

① air slaked lime

石灰石粉 碎石灰石使成細末，即為石灰石粉。石灰石粉之細度與其效力，有密切之關係，蓋粒體愈微細化時，則反應面積愈大，故微細之粒必較易於溶解，且石灰石粉與土壤之作用，以接觸為第一步，接觸之後，包圍土粒之溶液對於石灰粒始可發生作用。石灰石粉之粒愈細者，必愈易與土粒接觸，故效力愈速也。下表所列為惠特<sup>①</sup>之結果。此結果對於石灰石之細度與其效力之關係表示甚為明顯也。

第五一表 同量之細度不一的石灰石粉之效力的比較

(以 100 網眼之細度為 100)

作用種類	100 網眼及以上	60—80 網眼	20—40 網眼	8—12 網眼
碳酸水中之溶度	100	57	45	28
改良酸性之效能	100	57	27	18
生成硝酸之效率	100	94	56	12
增加作物產量之效率	100	69	22	5

石灰石粉雖以粒愈微細者效力愈速，但由經濟方面觀之，則以一粗細相摻者，較為適宜。蓋粒體微細之石灰石粉於施播之時，循風而飛揚，損失甚多，且運輸亦不方便。是以效力之增加每不能償磨細之花費與施播及運輸時之損失。若施用粗細相摻者，微細之粒可當年見效，而較粗大者可逐漸見效，且可每隔三或四年施用一次以節省人工。美國各農事試驗場所認為最善之細度為全部可篩過 10 網眼之羅，百分之七十可篩過 50 網眼之羅，百分之五十可篩過

① White, J. W.

100 網眼之羅。

關於石灰石粉之各細度的經久，惟惠特亦曾得一良好結果，指明凡在六十網眼以上之粒，於三年內，幾可完全生效。

第五二表 石灰石粉於施用三年後之分解率

網眼	分解百分率	
	高鈣石灰①	高鎂石灰②
100 網眼及以上	92.4	91.2
60—80 網眼	81.5	72.2
20—40 網眼	46.7	34.9
8—12 網眼	14.9	5.9

含 MgO 較多之石灰名之為高鎂石灰，其含 MgO 甚少者謂之高鈣石灰。

按惠氏之結果，石灰石粉之細度全部在五十網眼以下者，可認為效力太緩，不合經濟原則也。

生石灰 以石灰石燃燒之，驅逐其二氧化碳氣，即成生石灰，故生石灰之成分為氧化鈣與氧化鎂：



生石灰之成分依所用石灰石者而定，最純者可含 CaO 與 MgO 至百分之九十，而僅含百分之六十及以下者亦有之。以白雲石所燒成之生石灰可含氧化鎂至百分之四十以上。生石灰之雜質為鐵化合物，泥土，石塊等。此種雜質，凡可以羅篩之而分離者，應於未售賣之前除去之。

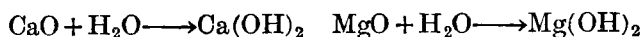
燃燒石灰石使成生石灰以為農業之用可得三種利益：(1) 生石

① high calcium lime

② high magnesium lime

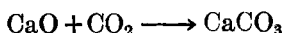
灰易碎爲細末，(2)石灰石燒爲生石灰後，雜質易於去除，(3)生石灰之效力迅速，並可節省施量。此三種利益足可償燃燒之花費。

熟石灰 以水處理生石灰即成熟石灰，故熟石灰之成分爲氫氧化鈣與氫氧化鎂：



熟石灰可含氧化鈣與氧化鎂百分之五十至八十。此爲建築用之石灰。其在農業上之利益，爲作用較溫和，管理較便易，但處理費之增加，與有效物質之成分變低，爲其缺點。

氣化石灰 生石灰與熟石灰皆可吸收空氣中之二氧化碳氣而返原爲碳酸鹽。故氣化石灰之成分與石灰石者相同，惟無大量之雜質，且於施用之後易與土壤粒密切結合，但氣化作用爲自然的，不易免除，非因其優點而特別加以人工製造也。



白堊，泥灰，與貝殼皆爲碳酸鈣。此種石灰每因含雜質過多，而無製造價值，且灰泥與貝殼含有機物甚多，若燃燒之，必致使氮損失，故以乾之，碎爲細末即施用，較爲適宜。

#### 石灰施於土壤中後之變化

氧化鈣與氫氧化鈣施於土壤中後，皆可於最短期內變化其成分，變化之速，尤以潤濕之土壤中爲甚。氧化鈣即刻與土壤中之水分化合而變爲氫氧化鈣，而氫氧化鈣亦急速吸收二氧化碳氣而變爲碳酸鈣。故土壤中之石灰，不論所施者爲何種皆爲碳酸鹽，碳酸

鹽為較固定之化合物，故此後之變化即較為遲緩。由第五三表所列侯格蘭<sup>①</sup>與克利斯梯<sup>②</sup>之結果，可見施大量之氧化鈣於土壤中後，土壤之 pH 價立刻即變為鹼性，此乃氧化鈣變為氫氧化鈣之故，但此鹼性反應於四日之後即減低。由第四日後，土壤之 pH 的變化即變微，直至十個月後，少有變化一 pH 單位者。

第五三表 不等量之氧化鈣施於土壤中後，對於土壤反應之變化的速率

土壤種類	處理	處理後即刻之 pH 價	四日後之 pH 價	七日後之 pH 價	十八日後之 pH 價	二十六日後之 pH 價	四十六日後之 pH 價	八十日後之 pH 價	一八七日後之 pH 價	且處理後十個月後	施 0.10% CaO <sub>2</sub>	施 0.40% CaO <sub>2</sub>
黏性磚土	未受處理	7.56									7.39	7.39
黏性磚土	0.07% CaO	8.56	8.36	8.56	8.00	8.50	8.05	8.74	8.00	8.22		
黏性磚土	0.28% CaO	10.16	9.26	9.43	9.08	8.74	8.94	9.00	8.70	8.84		
沙性壤土	未受處理	7.56									7.87	7.80
沙性壤土	0.07% CaO	9.26	8.18	8.50	8.25	8.25	8.11	8.56	8.29	7.87		
沙性壤土	0.28% CaO	10.96	10.00	9.85	9.05	9.05	8.94	9.00	8.67	8.43		
泥沙黏性壤土	未受處理	7.77									7.80	7.81
泥沙黏性壤土	0.07% CaO	9.05	8.43	8.63	8.36	8.29	8.15	8.15	8.15	7.80		
泥沙黏性壤土	0.28% CaO	10.30	9.43	9.47	8.84	8.94	8.88	8.91	8.50	8.32		
海濱沙土	未受處理	7.35									8.08	8.18
海濱沙土	0.07% CaO	10.82	9.00	9.43	8.53	8.53	8.32	8.29	7.92			
海濱沙土	0.28% CaO	12.45	11.68	11.51	10.89	10.65	9.61	9.05	8.39			

磚土，見上卷 112 頁。

① Hoagland, D. R.

② Christie

施於土壤中之石灰，若為氧化鈣或氫氧化鈣，則中和土壤活動酸性之效率皆甚速。至於飽和土壤膠體或與膠體之鹽基代換作用，則或須於石灰均勻分佈於土壤中與土壤膠體接觸後，始可發生。雖於極酸性之土壤中，pH 價於未變為中和之前，土壤中可有碳酸鈣存在，可見石灰中和酸性及飽和膠體之作用非為即刻的而為緩進的。

第五四表 石灰施於土壤中後，其自身上及對於土壤反應上之變化 (希生克)

	土壤未中和				土壤已中和		
	土 壤 號				土 壤 號		
	VII	IV	V	VI	III	I	II
土壤之 pH 施石灰	4.6	4.8	5.2	6.1	6.3	7.6	8.0
未施石灰	5.5	6.8	5.9	6.6	7.2	7.8	8.0
所施 CaO 變為代換性 CaO 之百分率	88	100	95	50	28	12	2
餘留於土壤中成 CaCO <sub>3</sub> 之百分率	12	無	5	50	72	88	98

總之，施於土壤中之石灰，不論其為何種，其所經過之變化可有四端：

1. 變為碳酸鈣而儲存於土壤中以備將來之需用。
2. 與酸類化合變為水溶鹽類而與排水流失。此種損失之為量最大者，或為酸性碳酸鈣，其生成之化學作用為：



其損失量之次多者或為硝酸鈣與硫酸鈣。

3. 與膠體發生反應，鈣為膠體所吸收，而等量之氫或其他金屬放出於溶液中，使土壤中之吸收複合體飽和以鹽基。

4. 土壤中之游離碳酸鈣與代換性碳酸鈣皆可經過第二項之變化而與排水流失，使飽和之土壤復變為不飽和者。

下表所列為美國紐約州康奈爾試驗場於十年內，每年平均由土壤中所洗失之鈣與鎂的量。由所列之數目字觀之，可見鈣與鎂之供給，為維持土壤生產力之一大要素也。

第五五表 登克爾克<sup>①</sup> 泥沙黏性壤土十年內每年平均之  
CaCO<sub>3</sub> 及 MgCO<sub>3</sub> 由排水所洗失之量

土壤處理	每英畝每年之磅數		
	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	總量
無作物生長(裸田)	995	218	1213
含豆科之輪種	535	153	638
不含豆科之輪種	615	149	764
連續種植牧草	650	174	824

### 石灰對於土壤之作用

石灰對於土壤之作用以中和酸性為中心，由此作用而使土壤之物理，化學，及生物的特性皆可改善，其利益可分九項分別述之：

黏合土粒與羣集膠體 沙土每因缺乏膠體物，不能將沙粒黏合，故成散漫之態，改善方法為施用石灰與有機物及種植深根作物

① Dunkirk

如苜蓿與灌木，受其粒結合，以保存水分與免除風之吹動。

酸性土壤中之膠體物，常因電解物損失之過度而成羣散狀態，致使空氣與水分皆不能流通，濕時泥濘，乾時密結，耕作感莫大困難。若施以石灰，則於其變為酸性碳酸鈣之狀態時，即可將膠體物羣集，而使土壤成團粒構造。英國羅塞模斯台得試驗場之土壤物理學家金恩<sup>①</sup>等，曾測犁耕過土壤所需之拉力與土壤之特性的關係。所得結果為含黏土愈多之土壤，所需拉力愈大。減低此拉力的方法，為施用石灰與有機物。

減除土壤中之游離態鋁，鐵與錳 鋁，鐵與錳均可於酸土中變為游離態者。(見第五六表) 水溶性之鋁，鐵與錳似具有毒害作物之劣性。故石灰之施用為減低土壤中之活動酸性而使鋁，鐵，錳變為非水溶性之化合物。

減低鉀素之損失 按莫金台爾<sup>②</sup>與亨得利克<sup>③</sup>之所得，施氧化鈣於土壤中後，排水中所含之鉀與鎂的量即減低。舊時代學者以為石灰之施用可增加鉀之應用度或溶解力。土壤中之化學作用至為複雜。石灰是否直接的與鉀之應用度有關，頗難證實。但由莫氏與亨氏之結果觀之，石灰之功用恐為保存鉀素以備植物取用，而非使鉀素變為應用植物食料也。

① Keen, B. A.

② Mac Intire, W. H.

③ Hendrick, J.



第五六表 土壤之 pH 價與水溶性鋁之量的關係 (p.p.m.)

pH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	pH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	pH	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3.92	1000.0	4.51	6.5	8.95	34.6
3.94	600.0	4.65	2.3	9.28	63.4
3.95	400.0	5.22	1.2	9.49	124.0
3.96	200.0	5.40	0.8	9.75	200.0
4.02	150.0	7.00	0.4	10.10	400.0
4.19	79.0	7.55	2.0	10.15	600.0
4.27	43.0	8.35	8.4	10.43	1100.0

石灰對於磷肥之關係 石灰對於磷肥之關係，為使水溶性之磷酸一鈣返原為非水溶性之磷酸三鈣，此作用似不利於磷肥之應用度，但設於酸土中，不施用石灰，則磷肥可變為極不易溶解之磷酸鋁與磷酸鐵。水溶性磷酸肥料不應與石灰同時施用，而應首先施用石灰以中和酸性，然後施用磷肥。由經濟方面着想，酸土中應施磷酸三鈣或磷酸二鈣，一方供給磷肥，一方供給鈣素。

催速有機物之分解 有機物之分解，為一生物的化學作用。普通之纖維質分解細菌，硝化細菌，蚯蚓等土壤生物，皆喜中和性之土壤與充足之鈣的供給。施用生石灰後，土壤有機物之損失，進行甚速。舊時代學者以為生石灰可燃燒有機物，經莫金台爾之精確研究後，乃知生石灰對於中和酸性及供給應用鈣之效力甚大，故使土壤中有機物分解微生物加速工作，而破壞有機物。中國農民多以石灰之功用為分解有機肥料，不亦宜哉。

石灰對於土壤細菌之數目的關係 土壤細菌之生成物中有酸

類。此種酸類必須中和之，否則有害於細菌之繁殖。由下表所列石灰之施量與土壤細菌數目之關係，即可知欲使土壤中之細菌盡量繁殖，以促成有機物之分解，及氮氣固定工作，施用石灰乃為良法。

第五七表 石灰施量與細菌數目 (以百萬為單位)

每土壤二百萬 磅中所施之 CaCO <sub>3</sub> 磅數	每 土 壤 一 公 分 中			
	土壤 I 無磷肥	土壤 I 施磷肥	土壤 II 無磷肥	土壤 II 施磷肥
0	3.341	4.150	3.503	3.438
250	4.127	4.320	3.418	3.536
500	3.537	3.540	4.614	4.421
1,000	3.439	2.750	3.781	5.207
2,000	3.930	2.520	4.472	5.781
3,000	4.127	4.090	4.919	5.683
中 和 點 (銜區方法)				
4,000	4.422	5.820	7.348	10.005
5,000	5.306	7.700	9.741	17.392
7,500	5.601	7.070	15.827	14.297
10,000	3.341	6.680	14.937	7.959
20,000	6.682	10.750	14.892	3.635
40,000	9.335	13.050	18.199	9.826

施過量之氧化鈣於土壤中，對於土壤之生物，有部分殺滅<sup>①</sup>之效力，即將微生物殺滅，以利細菌之繁殖。此種作用頗有益於土壤之培肥，蓋微生物之存在，為與細菌競爭食料及吞食細菌以作其食料，因而減低有益細菌之工作效率。

① partial sterilization

鎂中和有機酸之力較鈣者尤大，故以等量之鎂與鈣相比，鎂更可促成細菌數目之增加。

石灰有中和土壤毒質之效能 按許來那等之所得，有機物分解生成物中，有數種化合物，可毒害作物。此種化合物之毒性可施用石灰以中和之。(參照第三，四節)

供給鈣與鎂以作植物食料 酸性土壤所以不利於作物之生長的原因，常由於鈣之不足，故石灰亦可視之為一直接肥料。烟草之葉常有由綠色而轉變為黃色者。美國農民名此病狀為『沙淹病』<sup>①</sup>。蓋沙性土壤，施以大量之硫酸鉀或碳酸鉀以作烟草之肥料時，鉀為烟草所吸收，而酸根與鈣及鎂化合而與排水流失，致使烟草所需之鎂，不足供用。鎂為組成葉綠素之必需成分，於其供給量不足之時，烟草之葉即由葉邊起始，漸現黃色斑點，病狀較重者，使全葉變黃。

殺滅土壤中之植物病菌 植物病菌多喜生長於酸性土壤中，故施用石灰以中和土壤反應，即可減少植物病害。惟馬鈴薯癬病菌(Act. scabies)，則不喜酸性。故欲生長品質良美之馬鈴薯以酸性土壤為適宜。

### 作物對於石灰之要求

施用石灰之後，是否可增加作物之產量，似不限於土壤對於作物之影響，作物之個性亦為一重要因子。豆科植物中如苜蓿與金花菜，每施石灰必可增加產量。大豆，蠶豆，豌豆等亦可因石灰之施用

① "sand-drown"

而增加產量，但所增加者甚為有限。豇豆之產量少有因石灰之施用而增加者。

蔬菜作物中如糖蘿蔔，包頭白菜<sup>①</sup>，菜花等，皆為喜石灰之作物。茄子，西瓜等，則不喜石灰。（參照劉和，肥料學講義，第五十九頁）

關於作物對於石灰之要求一問題，雖研究報告甚多，但結果頗不一致，若欲求一結論，甚感不易。由農業經濟的原理上觀之，若能求得一較良好之石灰需求量測定法，而依測定之量施用之，應為最有益之辦法。但若施用石灰石粉而每隔三四年施用一次，則應於種植最喜石灰之作物時施用之。

### 各種農用石灰之比較

農用石灰間接的可使植物食料變為應用性者，而直接的為含鈣與鎂之肥料，故在功用方面，與其他肥料無異。肥料學者與肥料商於評定肥料之優劣時，分肥料之價值為商業價值<sup>②</sup>與農業價值<sup>③</sup>。商業價值指每單位之植物食料的價值而言。例如硫酸銨含氮百分之二十，每擔之價值為十元，則每斤氮之價值為五角。智利硝含氮百分之十五，每擔價值為十元，則每斤氮之價值為六角六分。如此則智利硝之商業價值較之硫酸銨者高百分之三十二。若施用適宜，一元價值之智利硝所增加之作物產量可高於同值之硫酸銨者。若然，則在農業價值上以智利硝較為優。農用石灰亦可依此法比較之。

① cabbage

② commercial value

③ agricultural value

爲求效率之迅速，則生石灰優於熟石灰，氣化石灰居第三位，而石灰石粉爲最緩慢者。若爲求長久效力，則以石灰石粉爲最優。以上爲農業價值上之比較因子。

若運輸不便，則運費可高於石灰之原值，如此則生石灰之價值或可爲最廉者，因其所含之鈣與鎂的成分較爲高也。計算農用石灰之價值時，似以生石灰之成分爲依據較爲適宜，蓋其品質較爲純潔，故成分較爲有定也。

僅就中和酸性而言，氧化鎂之效力較之氧化鈣者應高 38.9%，氫氧化鎂者較氫氧化鈣者應高 26.9%。以其碳酸鹽相比則鎂較鈣者應高 18.6%。（鈣之原子量爲 40.07，鎂之原子量爲 24.32）但普通均以鈣爲計算依據，其意即設一種生石灰，含 CaO 百分之八十，MgO 百分之十五，概依 CaO 百分之九十五算之。

若所購之農用石灰皆爲品質極高者，則各應索之商業價值，可以溫斯來克①之例爲依據而計算之：

第五八表 農用石灰之商業價值比較

生石灰每噸之價值	其他石灰每噸應索之商業價值	
	熟石灰	石灰石粉
\$ 8.00	\$ 6.05	\$ 4.50
\$ 7.00	\$ 5.30	\$ 3.95
\$ 6.00	\$ 4.55	\$ 3.40
\$ 5.00	\$ 3.80	\$ 2.80
\$ 4.00	\$ 3.05	\$ 2.25
\$ 3.00	\$ 2.30	\$ 1.70

( $\text{CaCO}_3 \times .560 = \text{CaO}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \times .757 = \text{CaO}$ )

① Van Slyke, L. L.

## 鈣與鎂之比例 ①

土壤中若含鈣甚少，而含鎂甚多，則鎂可毒害植物。按格納 ② 施硫酸鎂十二磅於每英畝之土壤中，植物可現不正常之生長。此不正常之狀態可施鈣以消除之。是以羅吳 ③ 以爲植物對於鈣與鎂之需求有一定之比例，但哥索耳 ④ 與賴莫門 ⑤ 皆未能證實此說。在實際上，普通農用石灰所含之鈣與鎂的比例，對於作物不能發生毒害也。

## 參考書：

Emerson, F. V.: Agricultural Geology. pp. 42—45. John Wiley & Sons, New York. 1920.

Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. Chapt. 17—18. The Macmillan Co., New York. 1930.

Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth, 6th. Ed., pp. 12, 120, 232—235, 471—474. Longmans, Green & CO., London, 1932.

Lyon, T. L. and H. O. Buckman: The Nature and Properties of Soils Chapt. XIV. The Macmillan Co., New York 1930.

Van Slyke, L. L.: Fertilizers and Crops. Chapt. XX, Orange Judd Co., New York. 1915.

劉 和 土壤學 卷上 第 5, 26—28, 112 頁 商務印書館 民國二十四年

劉 和 肥料學講義 第十節 第二十五節 中華農學會 民國二十二年

① calcium and magnesium ratio ② Garner, W. W. ③ Loew, O.

④ Gössel, F. ⑤ Lemmermann, O.

## 第十二節

## 鹽鹼土

農人常名土壤之含水溶性鹽類超過正常量而能傷害作物者為鹼土<sup>①</sup>。農學者亦依此習慣而引用『鹼土』一名詞於土壤學中。但鹼之一字，在化學上有二個用意：一為酸之相對名詞，指 OH 離子之反應而言，有鹼性<sup>②</sup>及鹼性反應<sup>③</sup>等名詞。一為指鈉之碳酸鹽而言，故碳酸鈉及酸性碳酸鈉名之為鹼<sup>④</sup>或鹼質<sup>⑤</sup>。但所謂之鹼土者，未必皆含鹼性反應，亦未必皆以碳酸鈉為其主要鹽類，其呈中和性反應而以氯化鈉，硫酸鈣，硝酸鉀為主要鹽類者，在科學上不應名之為鹼土。歐洲學者早有鹽土<sup>⑥</sup>與鹼土<sup>⑦</sup>之分。凡含鹽類過量之土壤名之鹽土，而鹽土中之代換性鹽基以鈉為主體呈鹼性反應者，則名之為鹼土。作者以鹽土與鹼土應皆認為獨立名詞而分別討論之，惟鹼土乃由鹽土受環境的作用而變成者，二者之初步的生成情形相同，故為討論上之方便，以鹽鹼土為本節立名。

鹽鹼土之生成 吾人於討論岩石及礦物之分解時，已指明長石類礦物所含之鹼金屬及鹼土金屬，於分解進行之際，由礦物中解放而與自然界所生成之酸類如鹽酸，硫酸，硝酸，及碳酸等化合而生成此種酸類之鹽類。如此而生成之鹽類，若在潮濕之區或雨量大而蒸發低之區，可溶解於雨水中，滲濾過土壤層而入於地下水中，或沖洗之於河水中而入於海。按克拉克之計算，全地球表面每年所

① alkali soil    ② alkalinity    ③ alkaline reactor    ④ alkali  
⑤ alkali material    ⑥ saline soil    ⑦ alkaline soil

受之雨量約有 29,347 立方英里,其中之 6,524 立方英里由陸地排出而流於海中。每一立方英里之河水的重量為 4,205,650,000 噸,其中含有雜質 420,000 噸。依此計算,則每年由陸地所洗失之溶解物,可有三十億噸之巨量。雨水如此洗失鹽類之作用,已進行無數之年期,而在今日尙繼續進行,將來恐有加無已,於是(1)凡雨水聚積之處亦聚積鹽質,(2)生成新礦物,如石灰石與磷灰石等。若雨水缺乏,不足以將此種鹽質洗出,則必存留於土壤中,故凡每年平均雨量在十五英寸以下之各處,其土壤中必多含鹽類。但鹽類之聚積程度,必須至可傷害作物之程度,始可謂為鹽鹼土,故非每年平均雨量在十五英寸以下之土壤均為鹽鹼土,乃由於一種特別環境,在此特別環境中,鹽類聚積量常超過於洗失之量,故易積至可傷害作物之程度。所謂特別環境者,可有下列數者。

(1) 低窪之地 低窪之地常為四隣之洩水池。每於落雨之後,雨水溶解土壤中之鹽類,隨排水而注於低窪之處,迨水分蒸發後,即留鹽質於其中,久之則成鹽田。故凡低窪之處,在多雨之區為沼澤,塘湖,而在乾旱之區,則為鹽鹼灘。

低窪之處,地下水常接近土壤之表面。毛細管引地下水而上昇,水分蒸發而留鹽質,亦為生成鹽鹼土之一主要原因。

(2) 鹽水灌溉 乾旱區之河水及井水中常多含鹽質,若用之以灌溉農田,即可生成鹽土。乾旱區雨水不足,需要灌溉,而凡乾旱區之河水,必含鹽質,可於下表見之:

第五九表 用作灌溉之大河流及其鹽質成分(百萬分中)



河流名稱	含鹽成分	備註
白尼羅①(埃及)	150	可用
藍尼羅②(埃及)	120	可用
謀雷③(澳洲)	96.5	可用
尼樂④(印度)	1350—3600	不可用
亞肯薩⑤(北美)	2000	不可用
賈登⑥(北美)	860	可用

河水之含鹽成分以春日為最高，秋夏較低。水愈大，含鹽愈少。愈至下流，含鹽愈多。

(3) 海股 大河入海之口往往積沙成沙州或三角州，而將海之一部隔離，生成海股。若海股與海之本部間之水道斷絕，則海股之水蒸發而生成鹽田。

海水所含之鹽質，以食鹽為最多，除食鹽外，尙可有十數種之鹽類。(第六〇表) 海水之濃度，雖較河水及井水者有定，但亦可有小變化，平均為百分之 3.5，最高者，按克拉克之所得，曾有至百分之 3.735 者。

第六〇表 海水之成分

鹽類	百分率
食鹽 NaCl	77.76
氯化鎂 MgCl <sub>2</sub>	10.88
硫酸鎂 MgSO <sub>4</sub>	4.74
硫酸鈣 CaSO <sub>4</sub>	3.60
硫酸鉀 K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.46
溴化鎂 MgBr <sub>2</sub>	0.22
碳酸鈣 CaCO <sub>3</sub>	0.34

(4) 古代之海或鹽湖 死海或死湖，已將水分蒸發，故今日所

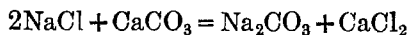
① White Nile ② Blue Nile ③ Murry ④ Nira ⑤ Arkansas ⑥ Jordan

見者僅鹽田耳。

以上所述為生成鹽土之原因，至於鹼土之生成，乃由於代換性鈉加水分解，生成 OH 離子之故，是以可有鹼性反應。研究生成鹼土之原理的經過，乃土壤化學中之一頁最光明的歷史，茲述之於下以供讀者之玩味。

鹽土變為鹼土之化學原理 鹽土與鹼土之成分上的最大分別，似乎決於鈉鹽之酸根。若鈉鹽為氯化鈉，則為鹽土，若為碳酸鈉，則為鹼土。此乃舊時代之土壤化學家所公認之事實。

十八世紀之末葉，拿破崙征服埃及，法國之化學家乃注意於埃及之鹽鹼土而起始作化學之研究。卜索來特①以為碳酸鈉之生成，乃由於氯化鈉與碳酸鈣之相互的作用②：



此說於該時頗得一般歐美學者之稱贊。1905年開木拉，郝爾與米勒③對此說乃發生異意而加以修改。三氏皆以碳酸鈉之生成乃由於植物的作用，但開氏與郝米二氏之主張略異。開氏以為植物吸收鹽基原素之量，較酸根為多，此過度之鹽基於植物腐爛之後，與有機物分解所生成之碳酸化合而生成碳酸鹽。郝氏與米氏則以植物多吸收酸根，(指  $\text{NO}_3$  離子而言) 遺留鹽基於土壤中，與碳酸化合而生成碳酸鹽。此種解釋，以今日之眼光觀之，當不能認為滿足。

現時所認為適當之解釋，曾於 1888 年，受法國學者蒙得首④之研究後，樹立基礎。蒙氏曾分析隣近海濱之土壤，而由水提液中

① Berthollet, C. ② interaction ③ Miller, N. H. J. ④ Mondésir, Paul, de

得氯化鈣。蒙氏認明此化合物爲由氯化鈉所生成者，但鈉既不能爲植物所吸收，則必爲土壤所吸收。試以人工方法於實驗室中作之，乃知土壤可與氯化鈉發生反應而生成氯化鈣與一種不能溶解於水中之鈉化合物。將氯化鈣洗出之後，則此不溶解之鈉鹽，即於含有二氧化碳氣之環境中，分解而生成碳酸鈉。蒙氏首以一公斤之土壤，施以氯化鈉，然後以水洗之，末則以水及二氧化碳氣處理之，乃得一百公分之碳酸鈉。此試驗結束之後，蒙氏遂證明氯化鈉不能直接與碳酸鈣發生化合作用而生成碳酸鈉，僅可與土壤發生作用而生成一鈉性之吸收複合體。此複合體於氯化鈣洗出之後，即可爲二氧化碳氣或碳酸鹽所分解而生成碳酸鈉。蒙氏之發現，惜未受學者之注意，而美國之學者，仍依卜索拉特之說，繼續尋求新的證據。迨三十年後，俄國學者蓋得路伊茲復發表同樣之論文，但於十二年之久，亦未受學者之注目，且蓋氏未提及蒙氏之結果，可知蓋氏亦未聞蒙氏之研究也。土壤膠體化學之研究，於晚近十年來始有長足之進步。土壤吸收複合體之吸收作用與鹽基代換作用之重要，乃可漸漸闡明，一般學者於是乃能認明蓋氏之重要發現。美國農部土壤局於1924年將蓋氏之論文由俄文譯爲英文後，世界各國之學者乃得窺其全豹。

蓋得路伊茲於研究俄國之驗土時，乃知以水提取土壤中之碳酸鈉時，每次所可提出之量，必少於土壤中所含者，且逐次提取，必逐次減少，似乎土壤中之碳酸鈉爲繼續生成者，或爲土壤所吸收者。

蓋氏又得，施氯化鈉或硫酸鈉於土壤中後，水可洗出之碳酸鈉

量即減少，但於此種鹽類去除之後，則碳酸鈉之洗出量復可增加。此結果益可證明碳酸鈉被土壤所吸收之說的合理，蓋氯化鈉與硫酸鈉之施用，正可增加土壤吸收碳酸鈉之力也。同時，若碳酸鈉為氯化鈉與硫酸鈉所生成者，亦非若舊時代學者所認為直接之變化也。

蓋氏為證實卜索來特之假說的差誤，復作一試驗，即以氯化鈉與碳酸鈣同時施於土壤中，然後以水提取之，但所得碳酸鈉之量甚微。若單施以氯化鈉，以水洗之，再施以碳酸鈣，復以水提取之，乃得大量之碳酸鈉。有此試驗後，則碳酸鈉之生成，非由於氯化鈉與碳酸鈣之直接的相互作用，可無疑問矣。

由蓋氏所得之結果觀之，可知碳酸鈉之生成分為三個步驟：第一步為氯化鈉與土壤之反應。第二步為水溶性鹽類之洗出。第三步為非水溶性鈉化合物與碳酸鈣之反應而生成碳酸鈉。

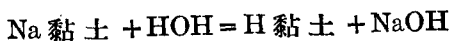
按農人與土壤學者之經驗，鹽土之滲水力甚強，證明其有疏鬆之構造。若以沖洗法求其改良，則於鹽質洗出之後，土壤反變密結而不滲水。由此可知密結土壤之因子不存在於鹽土中，亦非由於鹽質之所致，而為鹽質洗出後所新生成之物質，且此新生成之物質，或者含有氫氧離子，否則土壤不能發生鹼性反應。今設根據上述之結果，以現代之膠體化學的原理，而求一適當之解釋，則可分項列之如下：

- (1) 鹽土含鈉鹽與鈣鹽，故其吸收複合物為鈉黏土與鈣黏土二種。

(2) 若於上述之土壤中，施以氯化鈉，則發生基鹽代換作用，鈣黏土漸變為鈉黏土而生成氯化鈣。

(3) 氯化鈣類之鹽基代換生成物於未洗出時，鈉黏土之鈉受其作用而不能活動，此時之土壤尚呈中和性反應。

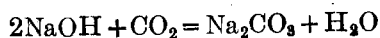
(4) 氯化鈣洗出之後，鈉黏土與土壤溶液間原有之平衡破壞，而鈉必向溶液中移動，其結果為與水發生化學作用，以水之氫離子代換鈉而生成氫氧化鈉：



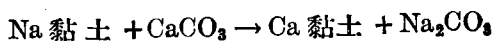
由於氫氧化鈉之生成，於是使土壤發生鹼性反應，而鹽土變為鹼土矣。

(5) 氫氧化鈉一方溶解土壤中之有機物而生成腐植酸鈉，使土壤之表面成黑色，一方分散膠體土粒而使土壤密結，於是鹼土之特性發現矣。

(6) 氫氧化鈉為強性之鹽基化合物，不能長久存在於土壤中，而必與有機物腐爛所生成之二氧化碳氣化合而生成碳酸鈉：



(7) 但碳酸鈉之生成似乎不僅限於此一種作用，鈉黏土與碳酸鈣之鹽基代換作用亦可生成之：



得西格門<sup>①</sup>總鹽鹼土之演進為四期：

第一期 鹽化<sup>②</sup> 由於海水之淹沒，鹽類之聚積，地下水平面

① De Sigmond, A. A. J.      ② salinization

之上昇，使土壤中之水溶性鹽質之量增加，生成鈉黏土。

第二期 鹼化<sup>①</sup> 鹽土之代換性鹽基以鈉為主體後，（因鈣易於洗失）鈉發生加水分解作用，而生成氫氧離子，使土壤呈鹼性反應。

第三期 去鹼化<sup>②</sup> 由於人工之施以改良，或天然氣候之轉變，滲濾作用增加，而鹽類洗失，土壤發生鹼性反應，使土粒羣散，而向下移動，生成洗入平際，或結成硬盤。

第四期 退化<sup>③</sup> 此期與灰土化作用相仿，結果為生成矽酸。

#### 鹽鹼土之分類

美國 美國農人與學者將鹽鹼土分為三種，以色為分類根據：

1. 白鹼土<sup>④</sup> 美國農人與學者所謂之白鹼土，實乃鹽土，其所含之鹽類，不以碳酸鈉為主體，且未受沖洗作用，故鈉黏土之鈉不能與水之氫發生鹽基代換作用。鹽質於乾旱之時，由毛細管水將其移置於土壤之表面，迨水分蒸發後，使土面積白色之鹽質結晶體，故以白鹼名之。

2. 黑鹼土<sup>⑤</sup> 美人所稱之黑鹼土即鹼化後之鹽土，其主要鹽類為碳酸鈉，有鹼性反應，表土成黑色，土體密結，不滲水分。

3. 棕鹼土<sup>⑥</sup> 美人稱含硝甚多之鹽土為黃鹼土。硝與有機物發生作用後，即生成一種棕色物質，染土壤為棕色，是以美人以棕鹼土名之。

① alkalinization    ② dealkalinization    ③ degradation    ④ white alkali  
⑤ black alkali    ⑥ brown alkali

歐洲 歐洲農民與學者亦分鹽鹼土為三種：

1. 鹽土① 俄人名鹽土為 Solontschak。此種土壤即鹽化後之土壤，與美人所謂之白鹼土相同

2. 鹼土② 俄人名鹼土為 Solonetz。此種土壤即鹼化後之鹽土，與美人之黑鹼土相同。

3. 退化鹼土③ 俄人名此土壤為 Solod，乃改良後之鹼土。俄國之 Solod 可變為齊奴生或棕色土。

開來④ 與卜浪⑤ 最近提出一科學的鹽鹼土分類法：

1. 含過度之代換性鹽基量的土壤，但其中之鈉的量與鈣及鎂之量約相等，或較低。此種土壤即美人之白鹼，歐人之鹽土，俄人之 Solontschak。

2. 土壤中之代換性鈣與鎂之大部分已為鈉所代換。此種土壤即美人之黑鹼，歐人之鹼土，俄人之 Solonetz。

3. 黏土之代換性鹽基為鈣與鎂，且土壤中之代換性鈉之量亦多過度，故雖有鈉存在，但不能代換鈣與鎂。此種土壤即歐人之退化鹼土，俄人之 Solod。

以上三種分類法，在原理上，無大差別，惟在命名上，則有極大差異，但作者以歐人之命名法較為適宜，我國學者亦應採用鹽土鹼土及退化鹼土三名詞。

#### 鹽鹼土之分佈

① saline soil    ② alkaline soil    ③ degraded alkaline soil

④ Kelley, W. P.    ⑤ Brown, S. M.

鹽鹼質原為土壤中之必有的成分，蓋礦物分解的結果即生成鹽鹼質，惟在正常之土壤中，鹽鹼質之生成量與其損失量約可相抵，故必須於特別情形之下，使土壤自有者不能消除，而他處生成者向一處聚積，以至可傷害作物之程度。然此種特別情形，並不奇罕，凡每年平均雨量在十五英寸以下，或地勢低窪，或遭海水淹沒之區地皆可有鹽鹼土，是以五大洲中皆有之，惟其面積則大小無定，濃度與鹽鹼之種類，亦無常規也。

中國 我國長江以北及沿海各省，鹽鹼土佔極廣大之面積，尤以蒙古，綏遠，晉，冀，豫，魯，各省分佈最廣。蒙綏之鹼，晉冀之鹽，魯豫之硝，皆為鹽鹼土區之特產。

黑龍江之土壤，類似齊奴生，生產力甚高，但松花江與嫩江兩岸，亦有因含過量之鹽鹼質而限制作物生長之土壤。遼寧之柳河，大凌河，及小凌河流域，因河水氾濫之故，使地下水之平面接近或超過土壤，以致造成由錦縣至打虎山間之一大鹼灘。綏遠土壤無處不受鹽鹼質之害，蓋橫貫於其間之大青山，幾皆為火成岩所構成，而黃河與大黑河之流域又為一盆地，是以生成土壤之母石既多含鹽鹼質，而排除又甚不易，因而大部分之土壤，不作農業之用，而為產鹽鹼之原料矣。

河北省之濱海各縣，皆有鹽田，而以長蘆區域產鹽最多。北寧路沿線，由平南之豐台起直至秦皇島，幾皆為鹽鹼土。其濃度較低者可植麥，棉，麻等耐鹼作物，而其較高者僅有鹼草生長，不毛之鹼灘，亦常見之。



江蘇之東部，舊黃河入海處之三角洲，有鹽鹼土約一萬五千平方公里。華中人民之食鹽供給以此是賴。張季直先生曾提倡開墾，以增加我國之棉產。今日政府亦有大規模之墾植計劃，即所謂之鹽墾區是也。

印度 印度土壤亦有多含鹽鹼質者，其主要者分佈於西北各區。印度政府感於肥沃土壤變為鹼灘之為習見之事，乃於1876年成立鹼土研究委員會①，從事科學的研究。經此委員會之研究後，乃證明肥土之變為鹼土，乃由於濫用灌溉水使地下水平面上昇之故。我國綏遠省河套區之灌溉田，亦常有此種變化，惟缺乏研究，於一般走馬看花之調查報告中，不能得其真象也。

歐洲 歐洲為五大洲中含鹽鹼土最少者。然其中如匈牙利之Szik地及濱地中海之處，亦常與農人及土壤學者以極困難之題目。

美洲 北美洲之一半以上的面積位於乾旱及半乾旱區中。此處之土壤，皆含過量之鹽鹼質，其濃度足以傷害作物之生長者，有加拿大西部之亞爾卜塔②州之大鹼灘，與美國西部之大盆地，包括猶塔③，迺王達④二州；克拉來到⑤河流域之威奧明⑥，猶塔，克拉來到，亞里如訥⑦，及加里佛尼亞⑧各州；大河⑨流域之新墨西哥⑩及台克索斯⑪二州皆有面積廣大之鹽鹼土。

南美洲之鹽鹼土區位於恩地斯山⑫之西麓，太平洋海濱。智利之巨大硝床，即因雨水不足，不能將水溶鹽類由土壤中洗出之一明

① The Alkali Investigation Committee ② Alberta ③ Utah ④ Nevada  
⑤ Colorado ⑥ Wyoming ⑦ Arizona ⑧ California ⑨ Rio Grande  
⑩ New Mexico ⑪ Texas ⑫ Andes

證。

非洲 埃及之大部分爲不毛之沙漠，每年平均雨量僅一英寸有餘。其北部各地，除尼羅河之兩岸，有肥沃之沖積土外，其餘者大部分爲鹽鹼土。

澳洲 澳洲之大部分爲乾旱區，鹽鹼土則位於西部，蓋近百年來，由於灌溉之發達，已將西部之荒野墾爲農田，鹽鹼之爲害，已成爲該地農業上之一打擊矣。

#### 鹽鹼土之天然植物社會

天然植物社會之成立循一定之因子。乾旱區之植物，有僅可生長於鹽鹼土中者。按台威①之報告，美國加州有植物 197 種僅生長於鹽鹼土中。此 197 種鹽鹼土植物中，有對於鹽鹼質之濃度及種類有一定之要求者，常可作農人及改良鹽鹼土者之極好資料，以斷定鹽鹼土之價值。茲舉美國西部鹽鹼土中之主要植物數種以供參考：

*Suaeda* spp. 俗名爲墨草②或鹽菜③，乃一長年生灌木，其葉短而肥，每於初冬枯死至地平面，僅留黑色之樁。此植物可生長於極濃之鹼土中。表層一英尺厚度之土壤中，含鹽質在百萬分之 32,000 者，可有極茂盛之鹽菜生長於其中。凡有此種植物生長之處，其土壤中可含碳酸鈉 837 p. p. m. 及硫酸鈉 3,313 p. p. m. 其生長最繁茂之處，類皆爲黏性土壤，低窪之地，改良頗費金錢。

*Sporobolus airoides* 俗名紫頂草④，因其於晚夏之時，生紫色之花，是以得名。此植物生長之處，表層四英尺之土壤中，含鹽質之

① Davy, J. B.      ② inkweed      ③ saltwort      ④ purple top

濃度可至 31,190 p. p. m., 而在 3,000 p. p. m. 鹽質之濃度中, 生長最爲繁茂。按一般分析, 紫頂草生長最繁茂之土壤中所含之各種鹽類及其濃度約爲:

碳酸鈉	1,437 p. p. m.
氯化鈉	387 p. p. m.
硫酸鈉	1,227 p. p. m.

凡紫頂草單獨生長之土壤, 鮮有改良價值。

*Allenrolfea occidentalis* 俗名克恩油木<sup>①</sup>, 乃一長青灌木, 高一至四英尺, 其枝互生, 成筒狀, 多節而肥。其葉成三角形或鱗形。其根圓而長, 少生旁根。此植物爲南方溫暖區鹽鹼土中所常見者。

克恩油木生長最繁茂之土壤中可含碳酸鈉 300 p. p. m., 氯化鈉 13,000 p. p. m. 及硫酸鈉 17,000 p. p. m.。此植物對於氯化鈉之耐力最強。克恩油木生長之土壤皆爲無法改良之鹽鹼地。

*Distichlis spicata* 爲鹽鹼土中最普通之植物, 世界各國幾皆有之。其生長最茂盛之土壤中可含鹽鹼質 24,000 p. p. m.。其可耐之鹽類量爲:

碳酸鈉	8,517 p. p. m.
氯化鈉	4,398 p. p. m.
硫酸鈉	2,750 p. p. m.

此植物在美國之俗名爲鹽草<sup>②</sup>。

以上所述四種植物, 爲濃度極高之鹽鹼土中所常見者。鹽鹼土中若無他種植物生長, 而僅可生長上列四種植物, 則可視爲無改良

① kern grease wood      ② salt grass

價值，而不必空耗金錢也。

類似以上四種之鹽鹼土植物，尚有十餘種，例如 *Salicornia* spp., *Sarcobatus vermiculatus*, *Frankenia grandifolia campentris*, *Hemizonia pungens*, *Isocoma veneta*, *Pluchea sericea*, *Atriplex confertifolia*, *Kochia vestita*, *Cressa cretica truxillensis*, *Chrysothamnus* spp., 有其生長即為極強鹽鹼性之表示。他如 *Triglochin maritima*, *T. palustris*, *Puccinellia airoides*, *Spartina gracilis*, *Halerpestes cymbalaria*, *Dodecathean salinum*, *Glaux maritima*, *Aster augustus*, *A. pauciflorus*, *Crepis glauca*, *Pluchea camphorata*, *Myocurus apetalus*, *Valeriana furfuresceus*, *Pyrrcoma uniflora*, *Scirpus paludosus* 為生長於潮濕之鹽土區者，而 *Aster zylorhiza*, *Artemisia spinescens*, *Pyrrcoma lanceolata*, *Flaveria angutifolia*, *Lepidium montanum*, *Hordeum nodosum*, *Elymus salinus*, *Chenopodium rubrum*, *C. soccosum* 等為生長於較乾之鹽鹼土中者。

#### 鹽鹼土之形態

鹽土於夏秋多雨之季，有極疏鬆之構造，其外表類似肥沃土壤，惟植物生長則不茂盛。冬日雨缺風大，表土易於吹起，因其結構散漫，類似極細之沙，然體質極輕。春日乾旱之時，鹽質被毛細管水移至表面，使土壤蓋以白色之晶粉，因而美人名其為白鹼土。若於此時察其剖面，則見極簡單之組織；表及有白色之鹽殼，此殼之下為粉狀之乾土，隨其下者為較為緊密之濕土。（參照卷上第八圖甲）

鹼土之表面成油黑色，結構緊實，不滲水分，剖面中有柱形構造或硬盤，且有鹽質聚積之層位於下端。(參照卷上第八圖乙)

退化鹼土之表面為灰土，含酸性反應，甚疏鬆，與細沙無異。其下有已退化之柱形構造，此層之下常見石灰結瘤與石膏晶體。(參照卷上第八圖丙)

### 鹽鹼土之化學成分

鹽鹼質為礦物分解後所生成之水溶性鹽類，復於土壤中由於鹽基代換之作用而經過變化者。其種類極繁，惟其主要者則限於氯化鈉，碳酸鈉，硫酸鈉，及硫酸鈣等數種。至於各種鹽類之比例量，及所有鹽類之總量，則可因土壤之性質，地勢之高低，氣候之作用，灌溉之情形而有差別。

關於我國各處鹽鹼土之成分，分析甚少。其可引以為例者，有江蘇省三角洲之鹽鹼土分析，乃經北平地質調查所土壤研究室所調查並分析者。其所報告之成分，為如下表之所列。

第六一表 江蘇省三角洲地鹽鹼土之成分

土壤號碼	全鹽量%	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> %	NaHCO <sub>3</sub> %	NaCl%	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %
684	0.80	0	0.10	0.70	0
691	0.48	0	0.04	0.41	0.03
700	0.69	0	0.09	0.51	0.09
724	0.22	0	0.03	0.17	0.02
725	0.18	0	0.03	0.11	0.05
727	0.36	0	0.05	0.27	0.04
848	0.73	0	0.08	0.58	0.07
849	0.85	0	0.07	0.65	0.13
850	0.83	0	0.07	0.21	0.05
851	2.09	0	0.22	1.11	0.76
852	0.41	0	0.04	0.26	0.11

由上列之成分觀之，此土壤乃屬於鹽土之類。由梭頗<sup>①</sup>與侯光炯之報告，得知此土壤含鈣甚富，且土壤中有石灰凝集瘤，亦不現鹼土特有之柱形構造，是以在改良上，應無極大困難，希從事改良該區土壤者，能施以科學的改良方法，並將改良結果公諸於世，俾我國之習土壤者，得以明瞭其詳情也。

美國鹽鹼土之分析報告甚多，且甚詳細。吾人可舉其數者以作參考。

第六二表 美國主要鹽鹼土之化學成分

	加州 <sup>②</sup> 開恩 <sup>③</sup>	蒙塔那州 <sup>④</sup>	華盛頓州 <sup>⑥</sup>	加州杜落 <sup>⑤</sup>
		米格 <sup>⑦</sup>	開地塔斯 <sup>⑦</sup>	
K <sub>2</sub> O	5.14	1.18	9.58	1.76
Na <sub>2</sub> O	36.99	39.56	45.59	38.39
CaO	0.15	2.86	0.03	.....
MgO	0.23	1.81	0.07	.....
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	.....	0.04	.....
SO <sub>3</sub>	51.23	34.97	0.09	13.20
Cl	0.29	15.40	0.99	7.40
CO <sub>3</sub>	0.23	1.19	34.93	11.62
NO <sub>3</sub>	.....	5.37	.....	10.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	.....	1.05	1.05
SiO <sub>2</sub>	1.34	0.05	0.82	.....
有機物與水分	4.07	1.29	7.03	17.32

由上表所列之成分觀之，四種主要鹽鹼土中，皆以鈉為主要鹽基，鈣與鎂之含量皆為絕對之最低數，故皆可謂為鹼土。以之與我江蘇省三角洲之鹽土相比，在改良上，當不若我之易於為力也。

① Thorp, James    ② California    ③ Kern    ④ Montana    ⑤ Meagher  
 ⑥ Washington    ⑦ Kittitas    ⑧ Tulare

鹽鹼土中之鹽類常時改變其位。水分高時即向下移動，而水分低時復可向上移動。土層之構造，亦可影響鹽鹼質之位置。類如作者個人所見綏遠省民生渠灌溉區之土壤，由於黃河之沖積作用，堆成泥沙與黏土間疊成層之土層，而鹽鹼質之大部分皆存在於黏土層中，蓋黏土之吸收力較強也。是以分析鹽鹼土之成分所供分析之土壤樣本應分層採集，且須於一年內每一處分期採集數次，則所得結果庶可有實用價值也。下表所列為土壤剖面之各深度中所含鹽鹼質之量，可見其變化之一斑。

第六三表 鹽鹼土中各深度所含之鹽質量

(每英畝之磅數，加州杜落)

	自然土壤未施灌溉		無植物生長已灌溉四年
	(1895年五月)	(同年九月)	(1895年五月)
0—6	350	420	12,220
6—12	460	440	7,540
12—18	1,350	1,710	6,180
18—24	3,160	4,450	3,320
24—30	7,530	7,810	1,380
30—36	9,550	8,102	760
36—42	3,380	1,780	580
42—48	1,300	690	500

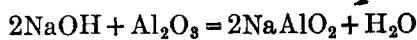
吾人由上表所得之最明顯的表示，為灌溉可使鹽鹼質向上移動。四年之短期的灌溉實施，已使表土之鹽鹼質的成分增高四十倍。由此可知鹽鹼土之灌溉施用，必須極端慎重焉。

## 鹽鹼質對於土壤物理性之作用

改良鹽鹼土以施用灌溉及排水方法，將土壤中之水溶性鹽類

洗出爲必須經過之手續。但按實際經驗，每於施行沖洗之際，鹽質雖漸見減少，而鹼性反應則漸見增加，同時土壤之物理性亦可大加改變；原有之疏鬆及易於排水之鹽土，可變爲密結而不易排水之鹼土。此種變化的原理有澈底明瞭之必要，蓋灌溉水雖可利用地勢之不平，而使高處者排入於低處，但疏鬆的土壤結構，必須設法維持，否則鹽質雖除亦無農業價值也。

土壤中之鹽類，即所謂之白鹼者，皆爲電解物。此種物質有羣集土壤膠體物之能力。（參照第六節）故此種土壤恆成極疏鬆之狀態，空氣與水分皆易流通，因而排水亦易。但於沖洗之際，鈣逐漸損失，鈣黏土由於鹽基代換作用而變爲鈉黏土。鈉黏土之鈉，於土壤中之鹽類的濃度減低時，即發生加水分解作用而生成氫氧化鈉。氫氧化鈉電解之後，生成氫氧離子。此離子負陰電性，故與土壤膠體之電性相同，二者相遇之後，使膠體羣散，（參照第六節）於是土壤之良好物理狀態破壞矣。但此作用，對於土壤物理性之變化，尙屬低微。其較強之作用，爲於鹽土變爲鹼土之過程中，於鹼性反應變強之時，黏土所含之鋁被溶解而生成膠體狀之鈉化鋁鹽<sup>①</sup>，此膠體在強鹼性反應中成懸液或懸膠狀，存在於土壤中成游離之體。但於沖洗工作進步之際，鹼性反應變弱鈉化鋁鹽遂沈澱於土粒之孔隙間，黏合土粒，使成不透水之密結結構。



由上述之原理觀之，可知鹽鹼土中之二價鹽基<sup>②</sup>與一價鹽基<sup>③</sup>

① sodium aluminate    ② divalent base    ③ mono-valent base



之比例量頗可影響土壤之物理狀態。下表所列為希新克之荷蘭土壤研究報告。

第六四表 二價鹽基與一價鹽基之比例量對於土壤  
物理性之關係

土壤狀態	代換性鹽基 100 分 中 所 含					
	Ca	Mg	二價鹽基總量	K	Na	一價鹽基總量
良好,正常黏土	79.0	13.0	92.0	2.0	6.0	8.0
尚佳	65.8	17.6	83.4	4.0	12.6	16.6
甚劣	42.1	25.0	67.1	6.5	26.4	32.9

### 鹽鹼質毒害作物之情形

鹽鹼土一名，在吾人之腦海中，似乎代表一種荒涼不毛之景况，蓋吾人於鹽鹼土區所見者，除短小枯黃之植物外，即白色及黑色之裸土皮。農民之生活情形，常為土壤生產力之反映。鹽鹼土區之農民，無時不現終歲勞瘁而尚不得維持溫飽之形態。然鹽鹼土有可以極簡單方法而改良之者，惟非一二農戶之力能以辦到，而必須借用政治之力量與巨額之資本，始可博得成功，蓋局部的改良，為不可能之事，而全部的改良，常須以千萬方里之面積為一單獨改良工作之對象也。

鹽質阻止植物之吸收水分作用 鹽質對於植物之傷害，以阻止其吸水作用為最重要。植物根借滲透壓之力，而由土壤中吸收水分。在正常情形之下，細胞汁之濃度，較高於土壤溶液者，是以土壤水分可滲過細胞膜，進入細胞之內部，以供其生長及繁殖之用。若情

形與此相反，則細胞汁之水分必向外滲出，其結果則使植物枯萎。鹽鹼土所生長之植物，在形態上頗與乾燥土所生者相似，蓋環境雖不同，水分不足之結果則一也。

**鹽質對於種籽之影響** 種籽必須吸收水分始可發芽。在正常情形下，種籽播於潤濕土壤中後，其體即膨脹，其所含之酵素即分解澱粉為醣類。種籽中之汁，因醣類之生成而增高濃度，以促速水分之吸收，於是根與葉得以生出。若置種籽於鹽類溶液中，或播之於鹽鹼土中，則因不能吸收水分之故而不發芽，一若置之於乾空氣中或乾土壤中。種籽雖有厚皮以作保護，不致為鹽鹼質所傷害，以待較適宜之機會，但各種作物皆有一定之生長期，發芽緩期，必有晚熟而受霜災之危險。

**鹽質與植物構造的變化** 生長於鹽鹼土中之植物，有特別之外表，類似沙漠中之植物，毫無茂盛植物之亮綠的顏色與肥大之枝葉。

**哈特爾**<sup>①</sup> 曾觀察植物之構造，以求知水溶鹽類之影響為如何。按其所得，生長於鹽質溶液中之小麥，大麥，及鈴鏜麥，曾現極大之構造上的變化，其最明顯者為葉面上生有臘質，及葉皮細胞之縮小與其膜之加厚。蓋此種變化皆為減低蒸發之特徵。

**鹽質對於樹皮之影響** 乾旱區，因日光充足，凡能灌溉之處，頗宜果樹之栽培。惟於果園成立之後，灌溉水引鹽鹼質而向上移動，聚積於土壤之表面，使接近表土之樹皮，受鹽鹼質之侵蝕，而現

① Harter, L. L.

腐爛之狀況。其受害較輕者，使枝葉枯黃，其較烈者，可將樹致於死命。

### 植物對於鹽鹼質之耐力及其原理

土壤之鹽鹼質成分，在何濃度，即可傷害植物，為研究鹽鹼土所必須確定之問題。研究此問題者頗不乏人，成績亦頗可觀，至於研究方法，則可簡分為三種。

植物生態學者，觀察鹽鹼土所生長之植物的種類及枯茂情形，以與鹽鹼土之化學成分相對照，以確定於每一種之濃度中所可生長之植物的種類。觀察結果集多之後，即可以分類方法而可求得各種植物對於鹽鹼質之耐力。

土壤學者取自自然之鹽鹼土，分析其成分，或以人工方法配製成分不一之鹽鹼土，生長各種之植物，以確定其耐力。

植物生理學者，用鹽鹼質之水溶液，栽培植物而定其耐力。

此三種方法，各有利弊，然皆可與吾人以極有價值之指示，以作改良鹽鹼土之施實上的領導。

植物對於鹽鹼質之耐力，不僅限於其濃度，種類亦有重要關係，亦可以上法求得之。

勞利基<sup>①</sup>經過多年之試驗與觀察後，對於各種植物之耐鹽鹼力，乃得下表所列之結果。

① Loughridge, R. H.

第六五表 作物之耐鹽鹼力（表中所列各量為每英畝四英尺深度中所含之磅數）

作物	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaCl}$	全鹽鹼量
葡萄	40,800	7,550	9,640	45,760
柑橘	18,600	3,840	3,360	21,840
梨	17,800	1,760	1,360	20,920
蘋果	14,240	640	1,240	16,120
桃	9,600	680	1,000	11,280
黑麥	9,800	960	1,720	12,480
大麥	12,020	12,170	5,100	25,520
糖蘿蔔	52,640	4,000	5,440	59,840
高粱	61,840	9,840	9,680	81,360
苜蓿	102,480	2,360	5,760	110,320
鹽草①	125,640	18,560	12,520	156,720

鹽鹼質對於植物之爲害，以種籽及幼苗所受最烈，換言之，即種籽與幼苗之耐力最低。按博利塞爾②，小麥幼苗之耐毒限③爲如下表之所列。（所謂耐毒限者，指阻止植物生長與停止植物生長間之鹽鹼質濃度）

第六六表 小麥幼苗之耐毒限

鹽類	耐毒限 p. p. m.
鈉— $\text{NaOH}$	150
鈉— $\text{Na}_2\text{CO}_3$	400
鈉— $\text{NaHCO}_3$	1,000
鉀— $\text{KOH}$	175
鉀— $\text{K}_2\text{CO}_3$	700
鉀— $\text{KHCO}_3$	2,300
鈣— $\text{Ca(OH)}_2$	40
銨— $\text{NH}_4\text{OH}^*$	20

① saltbush    ② Breazeale, J. F.    ③ limit of endurance

關於植物之耐鹽鹼能力，頗多相反結果，但美國農部土壤局尙能統計各方之結果，而作下表所列之總結。

第六七表 鹽鹼質之濃度與所生長之作物

鹽鹼質總量 %	黑鹼量% ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 與 $\text{NaHCO}_3$ )	作物
.00 — .20	.20—.05	任何作物皆可生長。
.20 — .40	.05—.10	耐力低弱之植物可生長。
.40 — .60	.10—.20	僅苜蓿、糖蘿蔔、高粱、大麥生長。
.60—1.00	.20—.30	耐力最強者生長。
1.00—3.00	.30—以上	無植物生長。

植物耐鹽鹼力之原理 植物受鹽鹼質之毒害時，其枝葉皆不能發達，葉面生有臘質，與水分不足之環境中所生長之植物相似，故鹽鹼質之影響，必為阻止植物根部吸收水分之工作。其原理亦易於解釋，蓋植物根毛細胞汁之滲透壓較高於土壤溶液者，是以土壤中之水分可滲入於細胞，若反此情形，則細胞汁之水分有向外滲出之趨向，以致植物枯死。惟卜利塞耳經過極詳細且精確之研究後，倡一新說，即以植物之耐力乃其服適性<sup>①</sup>，蓋土壤中之化合物，愈普通者對於植物之刺激性與毒害性愈弱，而愈鮮有者，其性愈強。

卜氏以生長至2cm.之玉米<sup>②</sup>幼芽植於氫氧化鈉及氫氧化鈣溶液中，乃知其對於 $\text{NaOH}$ 之耐力為300p.p.m.，而對於 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 者僅175p.p.m.。以化學上的經驗觀之，氫氧化鈉對於植物體之破壞力強於氫氧化鈣者，故植物應對於氫氧化鈣有較大之耐力。且以上之濃度較細胞汁之濃度尙低，故不應有反滲透作用，故卜氏以植物之耐力為其酵素之耐力，而酵素之耐力，乃一種服適性，即植物於

① adaptation

② zea maize

進化之際，漸漸養成之習慣。此說與普通經驗頗相符合，蓋凡土壤中不含有之物質，若施以極微之量常可刺激植物之生長，若施量稍多，則毒害植物。

### 鹽鹼土之改良

改良鹽鹼土之方法甚多，有治標與治本二種。治標方法可適用於小面積及鹽鹼質含量甚低之土壤。面積廣大之著名鹽鹼區，必須用治本方法以改良之。不論鹽鹼質含量之高低，不論應用治標方法或治本方法，其第一步，且必須有之手續，為斷絕鹽鹼質之來源，否則必徒勞而無功也。

#### 治標方法

1. 阻礙蒸發 鹽鹼質可由毛細管之作用向上移動而聚積於表土中，若能阻礙蒸發作用，則可暫時保存土壤之生產力。普通乾旱區土壤，表土含鹽鹼質 3,000 p.p.m.，尚可生長普通作物，若任其自由蒸發，表土之鹽鹼質可積至 25,000 p.p.m.。在此濃度時若不加以改良，則不適用於作物之生長矣。

阻礙蒸發之方法甚多，最普通者為以中耕器翻鬆土壤，使土壤蓋以乾而鬆之土皮，則蒸發即可減低。

鋪廐肥或堆肥於土面亦可阻礙蒸發，但其經濟價值則須加以研究。

種植蔭蔽作物<sup>①</sup>亦為阻礙蒸發之良法。蔭蔽作物可作綠肥或家畜飼料。

① shade crop

2. 耕翻 海耳格得①曾於美國加州杜落②試驗場，將鹽鹼土田中作成二英尺深之溝，而將表層含鹽鹼質最多之土壤，翻於溝中，使表層蓋以含鹽鹼質甚少之土壤。如此而改良之土壤，曾得二年之豐收。

華北農民常將鹽鹼地之低窪處，作為稻田或蘆葦田，而將掘出之土，堆於高處以作麥，棉，高粱等旱田。此法較海氏者尙佳。

3. 刮除 早春乾旱之時，鹽鹼質聚於土壤之表面，若於此時將表土刮起，運於他處，亦可減少鹽鹼質之濃度。

治本方法 改良鹽鹼土之治本方法，分為沖洗與改鈉黏土為鈣黏土二種工作。凡含鈣甚多，鈉甚少之鹽土可用沖洗法將鹽質洗出。為促速沖洗工作用，可施用硫素以變碳酸鹽為硫酸鹽。若為鹼土，則改良方法較為複雜，茲舉實例三則，以供參考。

(1) 美國加州杉姚供山谷③中之佛來斯奴④鹼土——杉姚供山谷為加州之一最平坦而寬廣之山谷，其地勢甚高，距海面約三百英尺。其土壤為一結構柔鬆之沙性壤土。土壤中含有極微量之碳酸鈣，而分佈亦不均勻。下層土中有石灰硬盤，但尙能透水。此區原以小麥為主要作物，後因人口增加，工業發達，乃漸變為大麥田。所產大麥，供釀酒之用。種植大麥，必須灌溉，於是變旱農田為灌溉田。晚近人口益見增加，乃改作果藝，而灌溉亦相隨發達，然概未籌設大規模之排水設備。由1890至1900年，佛來斯奴為一最饒富之葡萄園，地下水距地面約80英尺，但灌溉愈形發達，地下水平面愈向

① Hilgard, E. W.

② Tulare

③ San Joaquin

④ Fresno

上移動，隨地下水向上移動者為鹽鹼質，於是生成鹽鹼土，而果樹乃現受傷狀態。其在受傷之初期者僅葉現黃色，受傷較重者，全部枯死。

此種土壤於乾燥之時，堅硬如石，裂成小片；潤濕之時，表土現黑色，有光澤。其所生長之植物，僅限於野草之類，其最普通者為 *Atriplex bractiosa* 及 *Tissa salina*。鹼性較輕者，尚能生長抗鹼作物，如 *Melilotus alba*。每逢雨後，土壤泥濘不堪言狀。此土壤為一鈉性土壤，毫無疑問。

開來於 1919 年起始作改良此鹼土之試驗，其所採用之方法，以反其生成之作用為原則。第一步為使水平面下降，第二步為洗出其鹼質，第三步為更換其吸收複合體為鈣黏土。

開氏於完成其排水設備後，即起始沖洗工作。初步之試驗結果指明沖洗可除去氯化鈉而不能除去碳酸鈉，此理至為簡單。為求將碳酸鈉洗出之故，乃施用石膏，然後沖洗，結果頗見成效，惟施量必須充足，每英畝施十二噸，始可見全功。如此處理之後，土壤之 pH 價乃由 10 降至 7.3。

開氏以施硫素於含碳酸鈣甚富之鹼土中，應可得與施用石膏相同之結果。蓋硫素可於土壤中經硫化細菌之氧化作用而變為硫酸。硫酸可中和鹼性及變碳酸鈣為硫酸鈣。依此原理，開氏乃施硫素以求改良鹼土，其施量為每英畝 3,600 磅。施硫素之田，首三年內，未見效果，三年之後，土壤乃逐漸變善，七年之後，表層二英尺深度之土壤中，已完全不含碳酸鈉，而碳酸鈣僅損失一部分。



施用硫素之最佳方法，爲於施用之後，不施灌溉，任其自由作用二年之久，每年中耕土壤以阻礙蒸發。在此期內氧化作用及硫酸與碳酸鹽之化合作用皆可完成。然後以大量之水沖洗之而去硫酸鈉，隨即種之以 *Melilotus alba* 以作綠肥。經此改良後，若繼續種用綠肥，則硬盤可破，而土壤復變肥矣。

(2) 美國亞里若訥州猷莫谷<sup>①</sup> 鹼土之改良——猷莫谷之土壤亦爲由於灌溉之施用，使水平面上昇而變良壤爲鹼土者。布濟時<sup>②</sup> 於 1925 年起始改良工作。該時此土壤中之地下水平面距地面約 6 至 8 英尺，惟表面六英寸之土層中，含鹽鹼質已有百分之二，即已超過作物所能抵抗之濃度，故沖洗爲必需之工作。且其鹽鹼質之半量以上爲鈉鹽，故知於沖洗進行之際，此土壤必變爲鈉土。

布氏首先施用最純之水與最低之量沖洗之以除去氯化鈉，然後施用氯化鈣以變鈉土爲鈣土。其實施方法爲如下：

布氏於 1925 年三月，於每英畝中施廐肥二十噸，然後沖洗二次。經此次之處理，鹽鹼質已見減少，但表土中之含量尙高，乃由於蒸發作用而聚積者。是年五月，布氏於試田中分別施用石膏及氯化鈣，然後灌之以水，而於五月之下半月及六七月均使土壤在淹沒之中。八月末始將水放出，而採集樣本以作分析。分析之後，乃知鹽鹼質之量尙多，故未種植，而作爲憩田。十月初，乃見野草叢生。是月九日將野草耕覆以作綠肥。翌年一月，復取土壤分析之，乃知凡受處理者，所含鹽鹼質之量已至不傷害植物之程度，且以施氯化鈣

① Yuma valley

② Burgess, P. S.

者，見效尤大。此後作為稻田，而於每收穫後，將稻稈耕覆於土壤中，且繼續沖洗，遂將碳酸鈉完全洗出，而變鹼灘為沃壤。

(3) 奧國鹽鹼土——歐洲之鹽鹼土區，以俄奧為最多。奧人名鹽鹼土為“Szik”，共有二種：一為鈉 Szik，與俄國之 Solontschak 或美國之白鹼土相似，乃一鹽土。其所含之水溶性鹽類量甚多，但表土中含碳酸鈣亦甚富。其機械成分為由沙土以至黏性壤土，故應易於改良，惟表土之下有不透水之層，因而使排水不易。一為黏緊 Szik，頗似俄國 Solonetz，乃一鹼土。此土壤普通不含水溶性鹽類，亦無碳酸鈣，但其吸收複合體中含有代換性鈉，故改良目的為變鈉土為鈣土。

沙性 Szik 之含鈣甚多者，改良較易。以沖洗方法，將鹽質洗出即告成功。至於黏緊 Szik 之改良法，則為：

1. 阻止鹽類之向上移動，其法為中耕表土，及種植苜蓿以吸取水分。
2. 破壞硬盤，其法為施用厩肥以變碳酸鈣為水溶鈣鹽以羣集黏土。
3. 增加碳酸鈣量，其法為將下土中之灰泥，轉置於表土之上以利用其作用。

除以上之三條外，復加以沖洗工作，則緊土自可變鬆。

(4) 荷蘭鹽鹼土——荷蘭人民最喜農業，惟土地非常有限，是以有築堤於海濱，而墾農田之舉。其海水淹沒之土壤，若任其自然，不時受海水之淹沒，其結構可保存疏鬆狀態。一旦將海水之來源隔

絕，則由於雨水洗失鹽類之故，而使土壤變緊，潤濕時不透水分與空氣，乾燥時結成硬塊。此土壤在希生克之指導之下，已有廣大面積變為沃壤，所用方法亦頗簡單。其要點為暢通排水，以便洗出氯化鈉，及耕耨與施用綠肥以發生二氧化碳氣以溶解碳酸鈣，蓋此種土壤中原含碳酸鈣甚富也。

### 鹽鹼地作物

作物之抗鹽鹼力各有不同；有抗力極強者如糖蘿蔔，亦有極無抗力者如玉蜀黍。凡欲利用鹽鹼土者，對於抗性作物之種類及抗力應切實認識，蓋鹽鹼土之改良為經濟問題，若土地價值高昂，則不論鹽鹼至何種程度，凡有改良之可能性者，均應設法改良之。若地價低廉，農產物無良好市場，或氣候不適，非重要農業區域，則凡鹽鹼性較輕之土壤，皆可植抗性作物以利用之，且在改良鹽鹼土之過程中，恆有種植抗性甚強之作物以作綠肥之需要。

苜蓿 (*Medicago sativa*) 苜蓿對於碳酸鈉之抗力為300至900 p.p.m.。若土壤疏鬆，水分充足，其抗力較大；密結之土壤與乾旱氣候，則其抗力較小，故有300至900間之大差別。若為白鹼，則按克恩迺，苜蓿可於4,000 p.p.m. 之濃度中生長自如。

苜蓿為鹽鹼土中最有價值之綠肥作物，惟其種籽之抗力甚弱，故頗難得美滿之幼苗。種子床之預備工作，以深耕或沖洗以減低表土之鹽鹼質含量為首要者。待幼苗成立之後，因其生有極長之圓椎根，故可穿伸至鹽鹼質較少之土層中以取食料，而不為鹽鹼質所困。

小穀 (*Chalochloa italica*) 小穀為北方鹽鹼土區之普通作物, 6,000 至 8,000 p. p. m. 之鹽土中, 可得美滿之收穫。

高粱 (*Sorghum*) 高粱不但有極強之抗鹽鹼力, 且不怕水淹, 乃一極有價值之鹽鹼土作物。按克恩迺之研究, 甜高粱可於 6,000 p. p. m. 之鹽土中得美滿之收穫。勞利基亦有相仿之報告, 即全鹽量為 5,100 p. p. m., 碳酸鈉 620 p. p. m., 氯化鈉 610 p. p. m., 及硫酸鈉 3,870 p. p. m. 之濃度中, 高粱毫不受鹽鹼質之害。鹽鹼土於高粱生長之際可繼續沖洗工作。

小麥 小麥可生長於苜蓿已失敗之強鹽鹼性土壤中。按克恩迺, 小麥於 4,000 至 6,000 p. p. m. 之白鹼土中, 可得良好之芻草, 若欲使其成熟, 則白鹼濃度不得逾 4,000 p. p. m.。按漢里斯, 表層一英尺深度之土壤中, 含全鹽量 8,756 p. p. m., 碳酸鈉 1,146 p. p. m., 氯化鈉 5,840 p. p. m., 或四英尺深度中含全鹽量 11,829 p. p. m., 碳酸鈉 1,121 p. p. m., 氯化鈉 2,334 p. p. m., 硫酸鈉 7,512 p. p. m., 小麥可得美滿收穫。按美國猷塔州試驗場之報告, 20,000 p. p. m. 之硫酸鈉, 尚不能傷害小麥, 但若以氯化鈉為主要鹽類之土壤中則濃度必較低始可。

大麥 大麥之抗鹽鹼力與小麥相伯仲。若植之以作綠肥, 較小麥更為得力, 因其幼苗之抗力甚強也。

糖蘿蔔 糖蘿蔔為一極有價值之特用作物, 可作蔬菜, 亦可製糖。此作物在幼苗時代抗鹽鹼力較弱, 幼苗成立之後即可於強鹽鹼性土壤中得美滿收穫。糖蘿蔔最忌之鹽為硝酸鹽, 因其對於肥

根有侵蝕之作用。氯化鈉亦有此種作用。除此之外，硫酸鈉之濃度雖至6,000 p. p. m., 全鹽量至 15,000 p. p. m. 皆不足以傷害糖蘿蔔之生長。

麻 (*Linum usitalissimum*) 麻為北方鹽鹼土中之良好特用作物。其抗力約在 4,000 p. p. m. 之表土含量。麻不僅可生長於鹽鹼土中，且可吸收其大量，收穫之後，取其幹而作燃料，便可減除鹽鹼質之量，以代替沖洗工作。

棉 棉為埃及及印度之鹽鹼田作物。我國之墾種鹽鹼田者，亦以植棉為主要目的。棉為中耕作物，且枝高葉多，足可阻礙蒸發作用，以免鹽鹼質之向上移動。棉之抗鹽鹼力與高粱，小麥等相仿，約在 4,000 至 6,000 p. p. m. 濃度。

葡萄 葡萄為果樹中之抗鹽鹼力最強者。土壤之含全鹽量 2,860 p. p. m., 碳酸鈉 630 p. p. m., 氯化鈉 770 p. p. m., 硫酸鈉 2,550 p. p. m. 者，若氣候適宜，可生長葡萄，而得良好收穫。

#### 參考書：

Harris, F. S.: Soil Alkali. John Wiley, New York. 1920.

Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. ed., pp. 264—305.

Longmans, Green & Co., London, 1932.

Robinson, G. W.: Soils, Their Origin, Constitution, and Classification.

Chapt. XII. Thomas Murby & Co. London. 1932.

Emerson, Paul: Principles of Soil Technology. pp. 202—205. The Macmi-

llan Co. New York, 1930.

Kelley, W. P.: The Formation, Evolution, Reclamation, and

Absorbed Bases of Alkali Soils. Journ. Agr. Sci., vol. XXIV, pp

72—93, 1934.

Thorp, J. and Hou. K. O.: Reconnaissance Investigation of the Saline-Delta, Soils of Eastern Kiangsu, China. Soil Bulletin no. 7, The Geological Survey of China, Peiping. 1934.

Mosier, J. G. and Gustafson, A. F.: Soil Physics and Management, Chapt. XXII. J. B. Lippincott Co., Philadelphia. 1917.

Breazeale, J. F.: Alkali Tolerance of Plants Considered as a Phenomenon of Adaptation. Tech. Bul. no. 11. University of Arizona. 1926.

Lyon, T. L. and Buckman, H. O.: The Nature and Properties of Soils. pp. 274—285. The Macmillan Co., New York. 1930.

劉和 土壤學 卷上 第134頁 商務印書館 民國二十四年

# 第六章

## 土壤培肥

### 第十三節

#### 影響植物生長之土壤因子

前此所論者(卷上及本卷第一節至十二節)爲關於土壤自身方面之問題,其對於植物之生長及農業上之關係,雖屢有敘述,但頗零散,亦未能盡其詳。研究土壤之最大目的,爲使作物之生產量足以供人類之需求,或獲得天然環境所允許之最高產量。惟實際上每事與願違,蓋天然環境既不易節制,而所要求者常越乎事實上所能實現之可能範圍,且由於經濟關係,科學之方法未必皆可應用於實際之植物生產,其在實用上之得不償失者,僅可供研究純粹科學者之試驗上的趣感。依上所述,則『土壤培肥』<sup>①</sup>之定義應爲於經濟範圍內,若不受環境中之有害因子的損失,即可使土壤永久維持其最高之生產力,而土壤之肥沃度即土壤生產力之度量,以作物之生產量爲準。但土壤之肥沃度<sup>②</sup>可分爲遺傳的<sup>③</sup>與永久的<sup>④</sup>。處女土壤之肥沃度爲土壤之母體,天然植物社會,與氣候的共同作用所造成者;而永久的肥沃度則爲由於適當之管理方法所造成且維持者。

---

① soil fertility ② fertility ③ inherited ④ permanent

## 農業應為永久之實業

文化之盛衰視農業而轉移，蓋農業基礎穩固之後，文化事業始可從事建設，游牧民族迄今尙未有受文化之陶冶者。農業之盛衰以土壤之生產力的高低為樞軸。但農人之習性每以謀圖目前之微許小利，用種種之方法以消耗土壤之生產力，至於將來之損失如何巨大不遑顧及之，是以天然所與人類之最肥沃處女土壤，開墾之後於數年或十數年之期間，即可將其生產力消耗殆盡。西人有『採掘土壤<sup>①</sup>』一名詞以譏耕種農田者消耗土壤之生產力一若採礦者之盡力開掘以剝削土壤之肥沃度。

今日國際間食糧之競爭，變本加厲，若欲減少或根本免除國際間之戰爭以鞏固農業基礎為一大要素，是以其他實業皆可因需求之變異而受淘汰，惟農業則必須為一永久者。

## 土壤之永久肥沃問題

造成與維持土壤永久肥沃度之問題無日不在研究，應用與推廣之中。其過去之歷史與將來之發達皆為土壤學中興趣最濃厚之問題。十八世紀之中葉，英國化學家厚謀採用化學方法分析土壤而圖求知關於植物營養上之科學真諦。厚氏(1756)曾云：『農業以植物之營養為中心』。厚氏之說迄至今日亦必認為合理，而在當時當被一般學者所贊同，於是羣起追求營養植物之土壤要素，惟研究家皆

① "mining the soil"



各樹一幟而創甚多之謬誤假說。(參考劉和著肥料學講義第一節)迨十九世紀，人類對於科學之信仰樹立，化學一科乃能突飛孟晉，每於一新方法求得，或於一新理論發表之後，農學者即採用之以解決土壤與植物營養上之各種問題，而土壤與植物之成分上的關係遂得以認識。但學者對於化學分析結果未免過於重視，以為分析土壤，求知其植物食料含量，即可斷定其肥沃度，其含植物食料甚多者應可永久肥沃。此說於開木拉發表其土壤溶液之研究結果後(參照第七節)益見有力。惟實際上含植物食料甚多之土壤未必皆有圓滿之作物生產量，於是一部分之學者乃捨植物食料之供給與需求上的問題而致力於影響植物生長之其他因子，由此而產生開木拉之植物毒害物質與土壤永久肥沃說①，金氏之土壤物理與土壤永久肥沃說②，羅素與郝慶生之土壤微生動物與土壤永久肥沃說③，巴來④之植物病害與土壤之永久肥沃說⑤。各人皆以土壤生產力之降低非由於植物食料之不足，乃由於有害因子之作用，而所謂有害因子者，開木拉謂為一種毒害植物之物質，金氏以為由於空氣，水分等之失於調節，羅素與郝慶生以為係土壤微生動物之作用，而巴來則以為係植物之病菌。但不論其為何者，皆可以施肥，輪種，耕耨等方法中和或去除之。

開氏以為土壤溶液永久為一植物食料保和液。植物於吸收一部分之食料後，土壤即解放等量之食料於溶液中，復使溶液變為保和狀態，故土壤生產力之減低，非由於植

① the plant poison theory of soil fertility    ② King, F. H.    ③ the soil physics theory of soil fertility    ④ the protozoa theory of soil fertility  
⑤ Bolley, H. L.    ⑥ the plant disease theory of soil fertility

物食料之不足，乃由於一種毒害植物之物質。此物質為植物所遺留於土壤中之者。但一種植物所遺留之毒物僅可毒害其同種植物，故輪種可避免其為害。此種毒害物質可以石灰，肥料等中和之。若使土壤之空氣與水分流通，亦可由於天然的化學作用而變此種毒物為無毒性之化合物。

金庚以為土壤生產力之減低乃由於水分之不足或過度，空氣之不能流通等之土壤物理狀態之不適宜，而非由於植物食料之不足用。

羅素與郝慶生於研究土壤微生物與細菌之作用時，乃知微生物之數目與細菌之數目成反比例。微生物對於植物之生長毫無利益，而細菌則為製造植物應用食料者，土壤生產力之降低非由於植物食料之不足，乃由於土壤微生物之為害。耕耨，施肥，排水等工作皆可減少微生物之數目。

巴來由其研究植物病菌分佈之結果，指明連種可增加病菌之數目，輪種即可減少之。故土壤生產力之降低，乃由於連種的關係，使病害增加，以致產量減低。

與上述各人極端相反者，有德人利比希與美人郝浦金斯<sup>①</sup>二氏始終以土壤生產力之減低為由於植物食料之供給量的減低，是以維持土壤生產力的要素為供給充足之植物食料。

以今日之眼光觀之，各人所持之理論皆然，但皆未能完滿，而土壤生產力的永久維持包含土壤物理，化學，及生物三種因子的共同改善。

### 影響植物生長之土壤因子

下列六個土壤因子對於植物之生長皆有重大影響：——

1. 水分。
2. 空氣。
3. 溫度。
4. 植物食料。

<sup>①</sup> Hopkins, C. G.

5. 有害因子。
6. 土壤之深度。

此六種因子影響植物生長之情形可有四端：——

1. 生長速率。
2. 生長習慣。
3. 各生長期內之成分。
4. 收穫時所得之產量。

上述六種因子有已受植物生理學者與農學者之充分的研究者，例如水分之供給，植物食料之種類與供給及消耗，及有害因子之種類與為害情形等。土壤學者亦已能利用植物生理學者與農學者所得之結果，而與此種因子以適當的節制。至於土壤空氣與溫度則與土壤水分之量有連帶的關係，故其節制亦無困難。

### 水分供給量之影響

植物於生長之際，普通含水分百分之九十以上。此水分於植物成熟之時，大部分即離開植物而蒸發損失之。但植物於生長之際所消耗之水分較之其所含者可高至數百倍。水分由根部進入植物之內部，向上移運而達葉部，於此蒸發而入於空氣中，成一連續不斷之線。此水線之功用為移運植物食料；保持植物之漲壓，俾柔弱之枝葉可以豎立而作其製造工作；維持植物之低體溫，俾於炎熱之夏日不致使植物枯乾。（參照卷上第十六節）

第六八表 植物體之水分含量(百分率)

植物體	水分	植物體	水分
蘋菓, 菓實	83.2	燕麥, 顆粒	11.0
糖蘿蔔, 肥根	86.5	洋葱, 葱頭	87.6
糖蘿蔔, 葉	87.0	馬鈴薯, 薯	78.9
玉米, 乾顆粒	10.9	番薯, 薯	71.1
玉米, 綠莖 <sup>①</sup>	79.8	矮瓜, 鮮瓜	93.4
黃瓜	96.0	稻米	12.6

水分供給量與作物產量之關係 地球上大部分之區域, 由於水分供給量之不足或過度, 而限制作物之產量。是以關於此問題之研究結果甚多。黑爾利蓋爾之大麥的產量與水分供給量之關係可於下圖見之。(參照卷上第六八表)

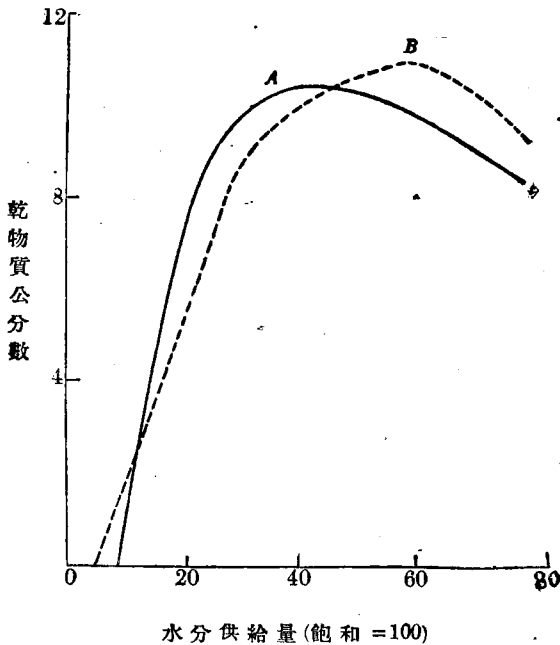
由黑氏之結果可見大麥之粒實與稈幹的產量均與水之供給量並增而至一點; 逾此則產量下降。稈幹之產量的增加, 前進較為長久。黑氏之結果為用沙植法所得者。其計算水分供給量之方法為以沙之水分飽和量為 100, 依此數而分級減低水分量。在黑氏之試驗情形下, 大麥粒實產量之最高點為水分飽和量之百分之四十, 而稈幹者則為百分之六十強。

米采利希認黑氏之結果由最低點至最高點之間, 水分增加量與產量增加量之關係可用下列公式代之:

$$\frac{dx}{dx} = (A - y)C$$

$y$  代表產量,  $x$  代表水分供給量,  $A$  代表最高產量,  $C$  為常數。

① green fodder



第十圖 水分供給量與大麥產量之關係 A. 粒 B. 幹

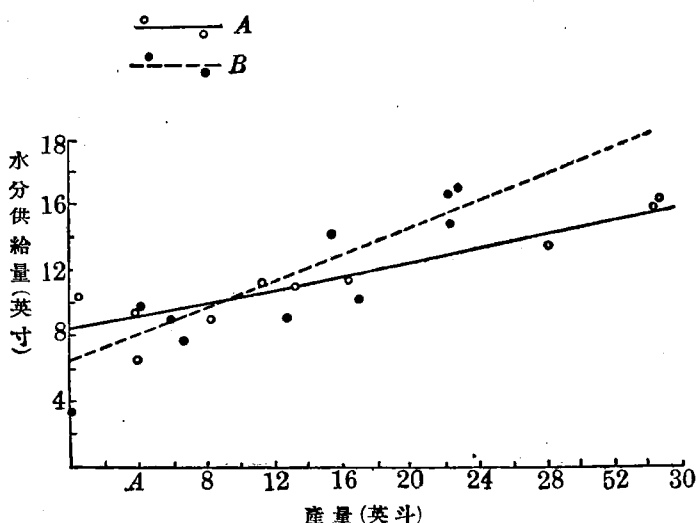
衛得少<sup>①</sup> (1912)亦曾得相似之結果。

水分之供給量與植物之生產量在半旱區之環境中，表示一最單純而且密切之關係：生產量之大小，依雨量而趨異，二者幾成正比例。(第一一圖)

一般學者研究此問題之方法，為於作物之生長期內，分期測土壤所含之水分量，同時記錄降雨之量：由此而作一結算表，表明於植物生長之起始時以至結束時之水分供給量，與土壤中之水分含量。二者間之差數為植物所蒸發之量加由土壤中直接蒸發與排水洗失之量。

① Widtsoe, J. A.

柯爾<sup>①</sup>與莫修斯<sup>②</sup>(1923)測得美國西部大平原<sup>③</sup>地方於春麥之生長期內,不論有否作物生長,土壤必蒸發一有定量之水分,除此量外,不論氣候之情形爲如何,土壤所損失之水分量與植物之生產量密切相關。其結果之數目字適合直線後退公式<sup>④</sup>。(第一一圖)



第一一圖 春麥生長期內土壤水分損失量 A. N. Dakota, B. Nebraska

由第一一圖之曲線觀之,可見產量愈較高,水分之需求愈較少。一般試驗結果皆表示不論何種方法,凡可增加作物之產量,即可增高水分之功效,故品種之改良,肥料之施用,耕耨之勤數,對於作物產量之影響與雨量之增加相同。

多雨之處,水分之供給量與作物產量之關係,不若半旱區者之

① Cole, J. S. ② Matthews, O. R. ③ Great Plains ④ linear regression equation

單純，蓋其他各種因子之影響常較大於雨量者，因而使水分供給量之增加，有時可增加植物之產量，有時不影響作物之產量，有時可使產量減低。費許爾<sup>①</sup>於英國羅塞模斯台得試驗場之研究結果，指明降雨之時間，頗為重要，而次要因子則為肥料之施量與種類。

植物消耗水分之量與其生產量之關係 水分供給量與植物產量既有密切之關係，則植物消耗水分之量（指植物於生長之際由葉面所蒸發之水分量與於收穫之後植物體所含之水分量）必與其產量亦可有密切關係。此種關係名之為植物之需水量<sup>②</sup>，其內情已詳見於卷上第十六節中。

水分供給量與植物之生長習慣 植物之水分供給不可一時間斷，否則植物現不正常之生長狀態：短時間之水分缺乏可使植物凋萎，時間若長久，則限制生長速率，若再增長時間，則植物可枯死。（植物至永久凋萎點後，雖與以大量之水分亦不復能恢復原狀。）

若於生長之初期，水分供給缺乏，不僅當時即可減低植物之生長速率，且可於全生長期內，雖水分不再缺乏，而生長仍繼續緩慢。若於生長之晚期缺乏水分，則促成早熟，致使種籽微小。

水分供給量增加，根部隨之即增加長度與細度，葉面增大而葉色加濃。水分供給再增加時，根部即轉變短小，根毛之長度與數目皆減縮，但葉面則繼續增大。根部與葉部之相反的行爲與水分之供給量俱進直使根部僅餘少數之粗根，而葉部則龐大而肥嫩。

水分之供給量增加之時，葉之增加量較種籽者多，於是使穀類

① Fisher, R. A. ② water requirement

作物<sup>①</sup>(註一)之種籽與枝葉的比例量變低。此種現象在農業上頗含重大意義，蓋水分之供給量的增減應以作物之應用部分為何者為依據：穀類作物之應用部分為其粒實，故水分不宜過量供給；若為蔬菜作物，則凡以枝葉為食品者皆須常時有大量之水分供給，俾出產物可肥美鮮嫩。

水分供給量與植物之成分 糖蘿蔔多栽培於雨水缺少或需要灌溉之區，因而水分之供給以至何種程度最為適宜，乃一重要經濟問題，然僅就水分供給量與產量之關係為研究範圍，不免謬認題目，蓋糖蘿蔔之應用部分為其汁，而汁之良好性質為濃厚或多含糖質，是以以糖蘿蔔為研究材料，以測水分供給量對於植物體之成分上的關係，問題較為單純。一般研究家所取之方法為測糖蘿蔔汁之滲透壓以定其濃度，以濃度之高低與水分供給量相較，所得結果皆以水分供給量愈增加，汁之濃度愈減低。其他植物之細胞汁的濃度亦與水分供給量成反比例關係。

第六九表 植物細胞汁之濃度的變化與土壤之水分量

土壤水分含量 (儲水量之百分率)	滲透壓，以 NaCl 之當液為 1 (註二)	
	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Zea mays</i>
80	0.14—0.16	0.17
60	0.25—0.23	0.19
30	0.41—0.45	0.49

(註一) 穀類作物為禾本科植物之為產粒實而種植者，但蕎麥亦屬之。

(註二) 0.1% 之 NaCl 溶液的滲透壓約為四個氣壓。

細胞汁之濃度的變化必可影響各種植物食料之進入細胞的速



率，而按一般結果，各植物食料所受之影響並不相等：氮之總吸收量不受水分供給量之趨異的影響，惟碳則與水分供給量並增，因而使氮之百分率變低。灰分被植物所吸收之量與水分之供給量俱增，尤以鈣最為顯然。

第七〇表 灌溉田中灌溉水之供給量對於小麥之成分的關係

灌溉水量	鈣		鎂		氮	
	百分率	每英畝 磅數	百分率	每英畝 磅數	百分率	每英畝 磅數
無	0.103	2.31	0.170	3.82	2.39	53.82
5 英寸	0.107	2.02	0.171	3.54	2.16	44.83
10 英寸	0.122	2.63	0.172	3.65	2.18	47.14
15 英寸	0.165	3.53	0.172	3.23	1.99	42.38
20 英寸	0.195	3.78	0.198	3.77	1.98	37.75
35 英寸	0.211	4.72	0.207	4.64	2.01	45.12
67.5 英寸	0.262	5.64	0.224	4.80	2.06	44.70

灌溉水量	灰分		磷		鉀	
	百分率	每英畝 磅數	百分率	每英畝 磅數	百分率	每英畝 磅數
無	1.56	35.12	0.295	6.64	0.396	8.92
5 英寸	1.56	34.17	0.301	6.38	0.414	8.97
10 英寸	1.57	35.90	0.306	6.38	0.439	9.49
15 英寸	1.71	36.38	0.323	6.87	0.491	10.47
20 英寸	2.01	38.45	0.371	7.08	0.490	9.35
35 英寸	2.28	51.13	0.458	10.24	0.534	11.95
67.5 英寸	2.194	47.13	0.424	9.12	0.534	11.50

上述之結果對於小麥及大麥頗含重要意義，因二者皆可因氮之成分的高低而影響於商業方面之價值。小麥以氮素成分愈高，售價亦愈高，而大麥則以氮素成分之最低者，市價最高。

### 空氣供給量之影響

流通空氣為培肥土壤之必需條件，此為農人所習知者，但科學家對於適當空氣供給量之測定則視之為一難題，蓋此現象之內容十分複雜，包含二種極不相同之因子：——

1. 植物根部之氧氣供給的需求。

2. 二氧化碳氣聚積大量時之為害。空氣不流通之土壤中二氧化碳氣必可聚積至可傷害植物之程度。

植物對於上列二種因子之感力各不相等。各種植物之根部所需氧之量並不相同。福里①以培植液生長蕎麥，於一組中吹以空氣，而於其他各組中分別吹以氮，氧，或二氧化碳氣。得氮之蕎麥與得空氣或氧者毫無差異，各皆生長正常以至成熟。由此可知蕎麥根需極微量之氧。但其得二氧化碳氣者，於數小時內，即現病態而凋萎，經數日後乃致死。改用大麥，則得不相同之結果，此作物需要充足之氧氣的供給始可得正常之生長。

培植植物於土壤中以代培植液，亦得與上述者相同之結果，即各種植物對於氧之供給的間斷有不等之威力。

卡南②對此問題曾作擴大之研究，由其結果乃知土壤空氣中

① Free, E. E. ② Cannon, W. A.

之氧的供給量有二個重要濃度限<sup>①</sup>：一最低限，較此再低，則根部停止生長，及一適當限，在此限時，根部生長正常，超過此限並無利益，濃度過高，反可有害。此濃度限依作物之種類而變異，換言之則各種植物之氧的供給濃度有不等之限點。稻及麻之根部雖於 0.5% 之低氧濃度中，尚可繼續生長，玉米及豌豆等之需求則可超過空氣中固有之百分之 20.97 的濃度。

植物根部之氧的濃度需求非一常數，乃與溫度相關；溫度低時，所需求之氧的濃度亦低，蓋根部吸收溶解於土壤水分中之氧，溫度低時，氧之溶解度亦高，故雖土壤空氣中之氧的濃度變低，根部並不受低溫之害。

植物對於二氧化碳氣之影響有不等之感力，已述於前。此種情形尤以各生長期內所表示者更為明顯。所有種籽於發芽之時均可受二氧化碳氣之阻礙，若濃度甚高，則種籽失其發芽能力。二氧化碳氣對於種籽之影響可為臨時的，亦可為永久的。豌豆，大豆，大麥與葱等之種籽於二氧化碳氣之影響去除後尚可發芽，其他作物，例如 *Brassica alba* 則受永久之影響而可根本損失發芽能力，或被二氧化碳氣所麻醉，蓋按基得<sup>②</sup>，*Brassica alba* 之種籽受二氧化碳氣之毒害後，若充分乾燥之，則於再潤濕之後復可發芽。

設於植物生長之際土壤空氣中之二氧化碳氣量超過正常濃度，植物即受其害。按施唐克拉索，愛爾迺斯特<sup>③</sup>，與龍得格得<sup>④</sup> 土

① cardinal concentrations

② Kidd, F.

③ Earnest, A.

④ Lundegardh, H.

壤空氣，於表土之下 15 cm. 之深度，若含二氧化碳氣百分之一，即可阻礙植物之生長，有時亦可傷害植物。

植物根部對於二氧化碳氣之行爲，正與葉部者相反，蓋葉部以二氧化碳氣愈高，生長愈速，但至一某點時，即亦可失有益之效而反變爲有害。

在農田中之自然情形下，植物若生長不良，其爲由於氧之不足，抑爲二氧化碳氣之毒害，普通無法可以分辨。二者對於植物生長上之總共的影響有郝爾①，卜龍齊來②與恩得吳得③諸氏之結果可舉以爲例：——

生長首藉於流通空氣難易不等之物質中，而觀察根部發達之情形。所得結果指明，空氣流通較易者，根部發達良好，其不易流通空氣者，根部即受限制。所得產量爲：——

乾物質生成量	
(公分)	
易流通空氣之物質：粗沙	2.474
易流通空氣之物質：高陵土	1.833
不易流通空氣之物質：細沙	1.131
不易流通空氣之物質：泥沙	1.393
不易流通空氣之物質：水	0.942

空氣供給量之不足對於根部之爲害，於土壤被水淹沒時尤烈，其結果可使植物停止生長，可使植物受病，亦可將植物致死。

① Hall, A. D. ② Brenchley, W. E. ③ Underwood, L. M.

## 溫度

植物所受溫度之影響爲屬於土壤溫者，抑爲屬於氣溫者，不易分辨。事實上亦無分辨之必要，因氣溫之高低頗受土壤溫之支配。

溫度對於植物之影響可由數方面見之：(1)發芽，(2)生長速率，(3)生長期，(4)成熟期。

溫度對於發芽之影響 穀類作物於播種之時所受之溫度，故健壯之植物僅可於有限之溫度範圍內得之。(參照卷上第十五節植物生長之溫度三要點)惟適當的溫度範圍尙未知與植物之其他性質有否關係。由經驗之所得，幼苗所需之溫度較低，成熟期之溫度需求爲最高。

溫度影響生長期與成熟期 高溫度可促早成熟期，因而縮短生長期，減低產量，且改變植物之成分。按胡克爾①大麥之產量與五月及六月間之溫度有極明顯之反面關係。蘇格蘭所產之燕麥與英格蘭所產者成分不一。

植物於將成熟之時，其枝葉中之化合物向果實中轉移。在正常情形中，此轉移工作可圓滿完成，而使果實豐飽。若成熟期提早，果實產量自必減低，但稻穀之成分可較爲豐富。

成熟期之溫度大可影響種籽之發芽力。飽滿之種籽必可有迅速而高率之發芽力。

## 光

光雖非土壤中之因子，但在植物生長上有極重要之作用。無機

① Hooker, R. H.

化合物，由於葉綠素之作用，藉光之力而變為有機化合物，名之為光化作用。光化作用可謂為植物生長之起點。光與植物之關係既如此密切，則其對於植物之生態，產量及各種特性必可有重要影響。森林之中，高大之樹蔭蔽日光，使短小植物不能生長，土壤所可得之有機物，僅脫落於土壤表面之樹葉與小枝，土面雖大可影響於其終身之歷史。此種作物分明有二種：一夏種與一冬種。夏種之播種期為春季而冬種者為秋季。(註一)若將播種期倒換，冬種播種於春季霜退之後，則僅繼續生長而不能於夏季結實。此種現象的原理已由格斯訥①與曼克西麻夫②與以詳細之研究。格斯訥之結果指明種籽發芽時之溫度為決定冬夏種之因子。冬種之適當發芽溫為 $0^{\circ}\text{C}$ ，以 $5^{\circ}\text{C}$ 為最高限。若由發芽期起保持溫度在 $5^{\circ}\text{C}$ 以上，則冬種不能結實而僅繼續枝葉之生長。若於生長期內之任何一時間使溫度降至 $0^{\circ}\text{C}$ ，並保持此低溫相當之時間，則可正常結實。

夏種之發芽溫無特別需求，設不過高則生長與結實皆正常。

按曼克西麻夫，中間種亦可有之：春季播種，當年即可結實，若發芽時之溫度甚低時，則結實期可提早。此種亦謂為夏種。

溫度影響生長速率 若溫度太低，則植物生長緩慢，其葉面現黃紫色。生長緩慢之作物可於生長之初期內受害蟲之侵擾，而於其生長之末期不待成熟而受霜擊致死。溫度較高，植物之高度與產量

(註一) 按夏種與冬種為西國農民之名詞，我國農民之慣用名詞為冬種與春種，概依播種期而定名，例如冬麥與春麥。春麥一名稱西國農民亦常用之。

俱可增加；溫度復增高超過一限點而光度不與溫度並增，則植物之生長受阻；若同時水分十分充足，則病害發生。可堆積大量之有機物，但土壤之中則有機物含量甚低。英國羅塞模斯台得試驗場之鄰接二田中，各皆不受處理，但有有機物之含量不同，其原理乃由於植物之種類之有異。

第七一表 植物種類對於土壤成分之影響

	處女田		四十年內未耕種	
	草原	森林	草原	森林
有機物				
0—9 英寸	8.5	6.7	7.9	8.1
9—18 英寸	4.8	4.8	6.7	5.2
氮				
0—9 英寸	0.256	0.185	0.182	0.173
9—18 英寸	0.097	0.093	0.084	0.081

西國農田以機械耕作，害草不易清除，乃於每隔數年種生長最密之作物一次，一方生蔭蔽之效以奪取所有之日光，一方競爭食料，如此而使害草無生長之機會。

減低日光之強度可生長品質最鮮美之蔬菜與烟草。雪茄烟之包皮為布棚之下所栽培之烟草葉。

增加受光之時間可促速生長率，是以溫室之中可用燈光而促速蔬菜之生長。

受光時間之長短可影響植物之開花與結實期。格納①與亞洛

① Garner, W. W.

得①為首先發明此現象者。按二氏之所得，植物可分為二組，一為長天植物②，此種植物必須每日受長時間之光始可開花。一為短天植物③，此種植物每日必受短時間之光始可開花。短天植物之開花期普通為春秋二季，例如大豆，烟草，豇豆，秋菊，小穀，玉米，及高粱等。此種之開花期可因光照時間之增長而受阻，是以以電光照之。格亞二氏曾使其生長至極大之高度而未能開花。但若縮短光照時間，則可誘其提早開花。

光的強度並非重要因子，5至10燭光之弱電燈光即可致成此種現象。

長天植物之開花期普通為夏日。溫帶之普通作物如穀類，葛草及豆科作物，皆屬於長天植物。若縮短其受光時間，則枝葉之生長期延長而開花期退後。但按曼克西麻夫與包來丁④此種植物之開花結實期亦可促早，其方法為減少其氮的供給。是以光之作用與食料之供給有連帶的關係。

#### 參考書：

Duggar, B. M.: Plant Physiology. Chapt. VI, XVI, XVII, The Macmillan Co. 1930.

Raber, Oran: Principles of Plant Physiology. Chapt. III, XIX, XX, and XXVI. The Macmillan Co. 1930.

Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., pp. 32—60. 1932.

① Allard, H. A.    ② long day plants    ③ short day plants    ④ Boredin



## 第十四節

## 植物之食料及其功用

植物之營養爲一極複雜之問題，其中含有三個分明不同之現象，各皆已有極詳細之研究，而各皆尚含無數未曾解決之問題。概括論之，此三個不同之現象爲(1)由土壤與空氣中吸收最簡單之無機化合物；(2)借日光之力與酵素之助，以所吸收之無機化合物爲原料而組成極複雜之有機化合物；(3)消化所組成之有機化合物以作生長所需之力，而構造其體內各部之組織。此三種作用雖性質上有分明之界限，但何者應爲土壤學者之研究範圍，何者爲植物生理學者之題目，則無從規定之。惟有協同的探討，始可求得圓滿之結果。在應用方面，吾人之研究題目可簡述之爲簡單無機化合物之供給(包含供給量與種類)，與植物生長上之反應，所謂反應者，指植物之形態，成分，產量等之變化程度而言。

土壤與空氣所供給植物之食料皆爲化合物，植物所吸收者爲其離子，但由植物營養上之功用觀之，則可以元素爲討論單位。

## 植物食料元素

植物之食料元素可依所需之量而分爲二組：(1)需量巨大者，(2)需量極微者。需量巨大者皆爲組成植物體之主要條件，包含碳，氫，氧，氮，磷，鉀，鈣，鎂，及硫，其中以氮，磷，鉀之需量尤多，常須以人工肥料補充土壤之不足，其餘者未必皆需小量，但土壤，空氣，

或雨水中所含之量普通皆可足用，惟鈣，鎂，與硫則或於特別情形之下有以人工方法補充之需要。

植物食料元素中之需量甚微者有鐵，錳，硼，氟，碘，氯，銅，鋁，鋅，鈷及鎳。其中之首列三者，即鐵，錳與硼為植物所必需者，其餘者雖植物體中常含有之，但其是否有一定之功用，抑為與必需食料相偕而被植物所吸收者，不易測知。鐵，錳，與硼之功用似乎有二種，一為接觸作用，一為刺激作用。此二種作用事實上密切相關，無法分辨各在植物生長上之影響的程度。鐵與錳之功用似乎屬於接觸性者。鐵為生成葉綠素所必需者，但非葉綠素之成分。錳之功用為活化氧化酵素<sup>①</sup>。硼之功用為刺激的作用，刺激輸運管<sup>②</sup>使其生旁枝，俾豆科植物之根瘤可與根部貫通。

植物食料元素中之需量甚多者，各對於植物之生長有何影響，頗易求得。一般學者所採用之方法，為以純粹之化合物配合適當濃度之溶液，惟將所研究之因子的量節制之，而察其在植物生長上所可發生之影響。此方法之首創者為那博<sup>③</sup>，改進最有成效者為里溫斯頓<sup>④</sup>與唐亭漢謀<sup>⑤</sup>，及希愛夫<sup>⑥</sup>等。其在科學上之名稱為液植法<sup>⑦</sup>。與上述之原理相同，但用沙以作植物根部吸收食料之處所名之為沙植法<sup>⑧</sup>。此法較液植法更近乎自然狀態。首創此法者為黑爾利蓋爾，改進最有成效者為莫克客爾<sup>⑨</sup>等。

① oxidase    ② circulatory vessels    ③ Knop, W.    ④ Livingston, B. E.  
 ⑤ Tottingham, W. E.    ⑥ Shive, J. W.    ⑦ solution culture    ⑧ sand culture  
 ⑨ McCall, A. G.

植物食料元素中之需量甚微者，頗難研究其作用之性質。蓋此種物質若施量適當可助植物之生長，施量稍過度，則可毒害植物，且種籽，試驗用具與主要營養化合物中，不免含有微量，致使其量的節制十分困難。研究此種元素對於植物之影響者在法國有貝特龍特① 與莫塞②，英國有卜龍齊來③，美國有莫克哈格④。

### 碳

以新鮮植物體乾燥之，其重量可減少百分之 40 至 95，此損失為水分。以乾燥植物體燃燒之，則大部分變為氣體而揮發損失之，所餘者鮮有超過全植物體之百分之五者。燃燒損失之部分為有機物，而殘餘之體為灰分。有機物之成分中以 45% 為碳。

植物類	水分	有機物	碳
樹類	40—50	55—45	25—20
草類	65—75	30—20	14—9
菜類	80—90	15—5	7—2
苔與水草類	85—95	10—1	5—5

一般學者皆以植物所需之碳完全為葉部由空氣中所吸收者，惟法國學者則以為根部可吸收土壤中之二氧化碳氣，格龍到⑤ 創之於前(1872)，勞龍⑥ (1904)，賴范吳⑦ (1905)，格來特⑧ (1915) 等繼之於後。一部分之學者以為根部可吸收水溶性之碳化合物。納

① Bertrand, G. ② Mazé, P. ③ Brenchley, W. E. ④ McHargue, J. S. H

⑤ Grandeau, M. L. ⑥ Laurent, E. ⑦ Lefèvre, J. ⑧ Cailletet, L.

得生<sup>①</sup>曾證明玉米，豌豆，馬草，紫雲英等可直接吸收蔗糖，葡萄糖，麥芽糖，及菓糖而利用之。此種糖類雖不存在於土壤溶液中，但他種水溶性碳水化合物或可有之，其在植物生長上或亦可有重要之影響。

碳之吸收 植物吸收二氧化碳氣借光之力而製造碳水化合物之作用名之光化作用。光化作用為無機物變為有機物之起點，其重要早已得植物生理學者之認識，故關於其化學性質之研究結果亦甚多，其中以德國學者衛爾斯台特<sup>②</sup>之葉綠素之成分及作用的研究可謂為現代植物生理學上之最有價值的貢獻。其詳細情形可得之於植物生理學著述中。與土壤培肥所關之植物生理上的問題為：(1)光化作用之光的需求，(2)溫度的影響，(3)水分的影響，(4)礦質食料之影響。

(1)光的需求 照射於葉面之日光僅其小部分用之於光化作用，其大部分由反射，吸收，及傳透而損失之。由此可知光化作用所需之光度甚微。至於光之性質或其波度之長短則似無大重要，其關鍵在熱力之被吸收量。紅光之熱力較高，故在光化作用上之效率亦大。極強之光度可破壞葉綠素。

(2)溫度 光化速率與環境中之溫度頗有關係，但雖 $0^{\circ}\text{C}$ 之低溫光化作用亦可進行。增高環境中之溫度由 $5^{\circ}\text{C}$ 至 $25^{\circ}\text{C}$ ，光化作用之速率的增加頗能符合溫郝夫<sup>③</sup>之定律。按溫郝夫溫度每增加十度，化學反應之速率增加一倍。出乎此範圍之溫度，因他種因子加入作用之故

① Knudsen, L. ② Willstätter, R. ③ Van' t Hoff, J. H.

而此定律失其應用。過度之高溫或低溫皆可將植物致死。

(3)水分 正常的光化作用僅可於健全之細胞中有之。若細胞凋萎，則葉孔掩閉而停止吸收二氧化碳氣之工作。

(4)礦質食料 正常的光化速率，需要一切的植物食料，皆有充足的供給，與適當的比例濃度。微量的酸類與碘似乎可增進光化速率，而銅，鋅，汞，及鈷皆可減低之。

## 氮

植物之氮的營養問題十分複雜，蓋氮化合物，不論其為存在於土壤中者或植物體中者皆變化甚速。

植物所需之氮的大部分為根部由土壤中所吸收之簡單氮化合物。此種化合物於進入植物之體內後，即經過一極複雜之變化，而以蛋白質為結局之化合物。

浦費佛①與舒茲②以 asparagine 為組成蛋白質之初步化合物，而浦倫尼希尼康夫③則以氨為組成蛋白質之起點。asparagine，按浦氏之意，為氨量過度時，恐對於植物有毒害性而暫時變為 asparagine 以便儲藏之氮化合物。盆植試驗與田間試驗俱指明確幾為惟一之氮素食料。植物吸收硝後先將其還原為亞硝，再還原亞硝為氨，然後以氨組成 asparagine。此為一煩贅之手續，因而植物似應以氨為較佳之食料。浦氏以為氨為植物之真實氮素食物，但在吸收方面有相當之困難。供給與植物之氨必為一鹽類，氨於被吸收

① Pfeffer ② Schulze, B. ③ Prianischnikov, D. N.

之後，殘留酸根，使根之生長處變為酸性以毒害根部。硝酸鈉或硝酸鈣不留含毒性之物質，故較氮為佳，於是使實際上以硝為重要食料。設能將銨鹽所殘餘之物質的毒害性消除，則氮或可為較佳之食料。證實此理解之試驗已由莫塞等之研究得相當之成功。其所用之方法為：

(1) 以足量之碳酸鈣與銨鹽並施，俾植物根部之生長處能保存中和性。

(2) 用銨鹽，但擇其酸基之酸性最微者，如碳酸銨，磷酸銨。

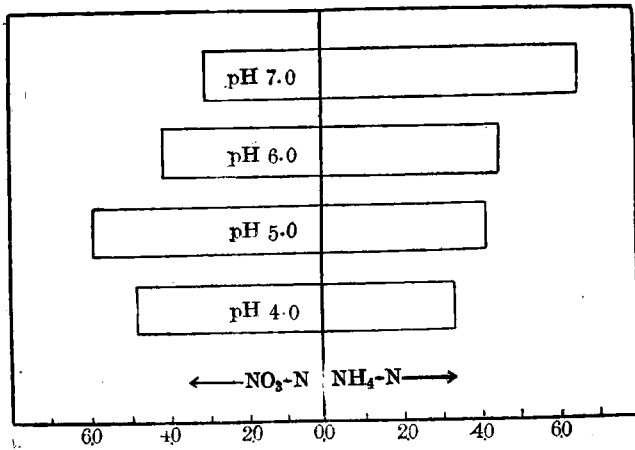
(3) 使溶液稀淡或勤於更換，俾酸性不致存積至傷害植物之程度。

在此種情形下銨離子似較硝酸離子易被植物所吸收。例如用硝酸銨時，銨即被吸收而留硝酸根，使溶液現酸性。但銨離子與硝酸根離子之相對的效率，頗受陽電離子之影響。若鈣，鉀，與鎂之供給量減低，或培植處變為酸性時，則硝酸離子即變為較佳之食料。

由上所述，吾人可知銨離子與硝酸離子之相對的效率，以土壤之反應為決定因子。此解釋是否與事實無謬，可用培植液測知之。關於此種之試驗所作甚多。下圖為克拉克①與希愛夫所得者。可見培植液之 pH 在 7 時， $\text{NH}_4^+$  為植物之主要氮素食料，pH 愈變酸性，植物愈多吸收  $\text{NO}_3^-$  離子。關於此種現象之解釋，假說甚多，但其中之最合理者為雷博爾②細胞膜電性之關係說。細胞膜為一二性物質，於陽電離子之包圍之下，其電性亦為陽電，在此情形下，陰

① Clark, H. E.    ② Raber, Oran

電離子必較易於吸收。若包圍細胞膜之離子為陰電者，則胞膜屬陰電性而陽電離子必較易於吸收。是以酸性溶液中，植物必多吸收  $\text{NO}_3^-$  離子，而在鹼性溶液中，植物必多吸收  $\text{NH}_4^+$  離子。



第一二圖 pH 對  $\text{NH}_4^+$  及  $\text{NO}_3^-$  吸收量之關係

銨離子與硝酸離子之相對的效率，亦依植物之成分而趨異。凡含碳水化合物甚多之植物，如大麥，玉蜀黍，稻等，皆喜吸收銨離子，其含碳水化合物甚少者如苜蓿，豌豆等，則喜吸收硝酸離子，其原因乃由於組成 asparagine 之速率，凡含碳水化合物甚多之植物，可將所吸收之銨即刻變為 asparagine。若以特別方法使苜蓿之碳水化合物含量增加，則銨亦可變為其所喜吸收者。

植物之正常氮素食料，由實際上觀之，仍為硝，而其供給量與植物之產量常成正比例。黑爾利蓋爾與衛爾發斯<sup>①</sup>於 1888 年已得試驗結果證明此點。植物所需之氮素食料大部分於初期生長之

① Wilfarth, H.

時吸收之而儲藏於形成組織中，以備將來之需要，是以水溶性氮素肥料施於幼苗為促成產量之最有效方法。

第七二表 氮素之供給量與植物生產量之關係

每盆所施氮之 公分數 (硝酸鈣)	無	0.056	0.112	0.168	0.224	0.336
燕麥產量, 粒	0.3605	5.9021	10.9814	15.9974	21.2732	30.1750
與稭	0.4191	5.8510 5.2869	10.9413		21.4409	

植物體之含氮量 氮素為原形質中之主要成分，是以正生長之植物大部分之氮素含之於葉中，於其成熟之時轉儲於種籽之內。

下表所列為植物之各部分所含氮素之量。

第七三表 植物乾物質每一千磅中所含之氮的磅數

植物種類	氮之磅數	植物種類	氮之磅數
蔬菜		豌豆	
葉肉	3.8	籽粒	44.5
葉皮	4.7	籽角	18.7
葉核	10.4	葉	38.5
老葉	8.1	莖	12.2
新木	9.7	糖蘿蔔	
葡萄		根	31.0
葉實	8.2	葉	30.1
葉	16.9	幼苗	41.3
新木	5.4	小麥	
龍鬚菜		穎籽	23.0
新筍	23.1	稭幹	6.0
老筍	13.2	燕麥	
籽實	24.5	穎籽	18.8
		稭幹	5.3

氮對於植物生長之習慣 (a) 氮素不足 缺乏氮素之徵象為



短矮之枝與黃色或棕紅色之小葉。菓樹之葉提早脫落，旁芽枯死，使枝裸露，菓樹之實現亮紅色，禾本科之根部縮短或盡變為鬚根，皆為氮素供給量不足之兆。

若施硝酸鈉或硝酸鈣於缺乏氮素之田中，其作物之枝即可增長，葉亦可增大，葉色亦可變綠。

(b) 氮素過多 過量之氮素供給使葉大而色黑綠，但葉面繃褶，葉質柔嫩，最易受病菌之侵擾。氮之供給量復加增，則作物之成熟期延遲。施不等量之硝於植物，而於其生長期內之某一時間觀察其生長情形，即可見雖同時播種者，亦可有不等之生長階級，其得大量之硝者，繼續其枝葉之生長較為長久，至成熟期時，葉之變黃與枯死之自然的變化皆可遲延。若鉀與磷之供給量充足，則結實期尚可正常，惟枝葉保持其綠色較久，與人以晚熟之印象。此種現象在農業上頗含重要意義。穀類作物如大麥，必須於完全枯死後始可收穫，故不應多施氮肥，燕麥可於未完全成熟前刈之，故氮肥雖多，亦無妨礙。若氮肥之供給量過度，而同時鉀與磷皆不充足，則穀類作物多生稈幹，且此稈幹必姣嫩不能立直易被風雨所擊倒。

大量之氮肥使菓藝作物多生葉而少結實，至於蔬菜作物之以肥大之葉為食品者，必須施以充足之氮肥。

下表所列為英國羅塞模斯台得試驗場所得之結果，指明氮之供給量增加時，小麥之稈幹的生長量較大於粒實者，蘿蔔之葉的生長量較大於根者，但牛蒡則葉與根之生長量約相等，蓋因其生長期甚長之故。施氮肥之時間，可影響上述之結果，與改變生長期間之

影響相同。

第七四表 厩肥之施量與作物之產量

厩肥中所 含之氮量 每英畝之 磅數	小 麥 每 英 畝 之 千 磅 數 (1852—1864)		厩肥中所 含之氮量 每英畝之 磅數	蘿 蔔 每 英 畝 之 千 磅 數 (1845—1848)		厩肥中所 含之氮量 每英畝之 磅數	牛 蒡 每 英 畝 之 千 磅 數 (1906—1910)	
	粒 實	秸 幹		根	葉		根	葉
	無	1.06		1.86	無		18.37	6.05
43	1.68	3.03	47	22.18	9.63	86	40.12	8.51
86	2.18	4.28	137	22.96	13.78	134	65.67	13.88
129	2.27	4.78	—	—	—	—	—	—
172	2.29	5.22	—	—	—	—	—	—

衛蓋特<sup>①</sup>與費斯特<sup>②</sup>曾有詳細之大麥的研究,其於1924—1928  
所得之產量列於下表。

第七五表 氮肥之施量與大麥之產量及蛋白質含量

氮之供給量每公畝之公斤數	0	25	40	55	70
顆粒產量,每公畝	15.61	18.75	21.04	23.74	—
	25.28	29.13	31.26	32.72	34.24
	20.94	27.14	28.90	31.46	34.67
	24.04	31.51	35.80	38.85	42.43
	18.79	25.80	30.66	34.49	37.27
	20.93	26.47	29.53	32.25	37.15
平均	20.93	26.47	29.53	32.25	37.15
蛋白質(N×6.25)1925—28 之平均,乾物質之%	10.78	10.12	10.37	—	10.13

氮素食料對於植物之成分與品質之關係 生長環境對於植物  
之品質的影響一問題,科學家既乏研究方法,故結果報告亦頗稀

① Weigert, ② Fürst, F.

罕。農人對於此問題雖有極豐富之經驗，但農人所謂之品質，不能以科學的名詞形容之。大麥，小麥，糖蘿蔔，馬鈴薯，煙草等作物之化學的成分與其應用價值有密切之關係。設其市價之高低即為其品質優劣之表示，而其應用價值高者，其市價亦可高，則以化學方法分析其成分，即可斷定其品質。浙江省黃岩縣之橘，山東省肥城之桃，其所以名聞於世者，皆以其品質特優。如此之優良品種，何以僅產之於有限之小區域，其原因有二，一為氣候之特殊，一為土壤之成分與施肥之特殊。土壤與肥料可影響作物之成分，早為農人所洞悉，茲將科學家所求知者分段述之以作實用上之借鏡。

於適當之範圍內，增加氮之供給量，僅能增加作物之產量，而不能改變其含氮成分。植物似可維持一氮與碳間之一有定的平衡，蓋氮之供給量增加之時，植物之葉面即增大，而碳水化合物之組成量亦隨之增加。

若氮之供給量超過適當度，則植物能否維持上述之平衡，一視鉀之供給量而定。若鉀之供給量充足，則植物可增加葉部之工作效率，而加速碳水化合物之組成速率，以維持其氮與碳的平衡。若鉀之供給量不足，則植物之成分可發生極重大之變化，氮化合物加速組成而儲存於其內部，同時氮之毒害作用亦可發現。按浦倫尼希尼康夫，動物細胞與植物細胞皆可受氨之毒害，惟動物細胞可將氨變為尿素而排洩之，植物則無此能力，於碳水化合物之生成量不能抵氮之吸收量時，則氨之毒害性發生。

在氮素供給量過度之情形下，植物之氮的成分增加，但其他成

分則皆可減低，此種減低係因蛋白質之增加所致之數學上之比例之變化，抑為植物生理上之變化，則不得而知。

第七六表 氮之供給量對於乾物之成分的影響

(小麥, 英國羅塞模斯台得試驗場十六年之平均)

(1848—1863)

小 麥	產量 每英畝 之磅數	乾物質成分百分率						
		N	灰分	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>
稻幹								
每英畝施氮80磅	2663	0.67	5.320	0.163	0.871	0.318	0.094	3.449
無氮肥	1663	0.50	6.437	0.242	0.930	0.248	0.135	4.500
穎籽								
每英畝施氮80磅	1525	2.15	1.80	0.854	0.602	0.065	0.193	—
無氮肥	990	1.90	2.01	1.003	0.662	0.057	0.028	—

### 磷

磷酸鹽為植物最有效之磷素食料。磷在植物生長上之影響不若氮者之明顯，僅於以供給量充足以與磷素十分缺乏者相比時，始可見之。各種植物對於磷素缺乏所受之影響亦不相若。

植物體之含磷量 磷為組成胞核蛋白<sup>①</sup>之必需成分。胞核蛋白為細胞核之基體。按羅奧<sup>②</sup>，磷素供給缺乏之時，細胞即停止其分裂工作，指明新細胞不能組成之也。植物於生長之際，其所含之磷素大部分存在於葉部與新生之枝中，於其將屆成熟之時，磷即向種籽移動，其一部分或可由根部排出而復還於土壤中。

① nucleo-protein ② Loew, O.

第七七表 乾物質一千磅中所含磷素之磅數

植物體	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	植物體	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
蘋果		豌豆	
肉	1.3	豆	11.2
皮	1.5	角	3.5
核	3.1	葉	5.0
葉(枯)	1.2	莢	2.5
新木	3.0	糖蘿蔔	
葡萄		根	6.2
菓	3.6	葉	7.5
葉	3.2	嫩芽	10.1
新木	1.6	小麥	
龍鬚菜		顆粒	9.5
嫩筍	7.4	稈幹	2.7
老筍	3.3	燕麥	
菓實	7.6	顆粒	6.4
		稈幹	2.1

磷與植物生長之習慣 磷在植物生長習慣上之影響可由(1)根部之發達情形,(2)發菓之多寡,(3)顆粒之產量三方面見之。

黏性土壤之中,植物之根部不易發達,於種植肥作物如蘿蔔,馬鈴薯,芋頭等之時,若磷肥缺乏,則肥根不能膨脹。沙土性鬆,根部不受阻礙,故磷肥之需求,不若黏土者之迫切。

穀類作物之根部於磷肥供給不足之時鬚根變粗,大可減低其工作效率。菓樹於此情形下,僅可生粗而色褐之毛根。

穀類作物若葉肥而枝苗,但菓數甚少,為氮之供給量充足而缺乏磷素之表示。

磷肥對於植物之葉部可有種種情形不同之影響。磷素缺乏程度較淺者,使大麥之葉面現灰綠色,其較重者,葉色變褐且生斑點;

再較重者幹變紅而葉變紫。菓樹之葉小而無光，亦爲磷素不足之特徵。

磷素足用可促成早熟，與水分不足之影響相同，惟較輕耳。農人常利用此種特殊作用以避免霜擊之損失與蟲害之爲災。華北農田之灌溉方便而多含黏土者，可用之作稻。遼寧之遼河流域尙可植棉。黑龍江省雖植物之生長期僅四個月之久，但尙有菓藝作物生長。然在此種情形下，必須施大量之磷肥，始克得圓滿之收穫。中東鐵路所設之試驗場已有甚多之報告，指明磷肥對於作物成熟率之顯著的效力。自磷肥暢用以來，作物之極北生長限，已可伸長數百里。此亦人工戰勝天然之一例也。

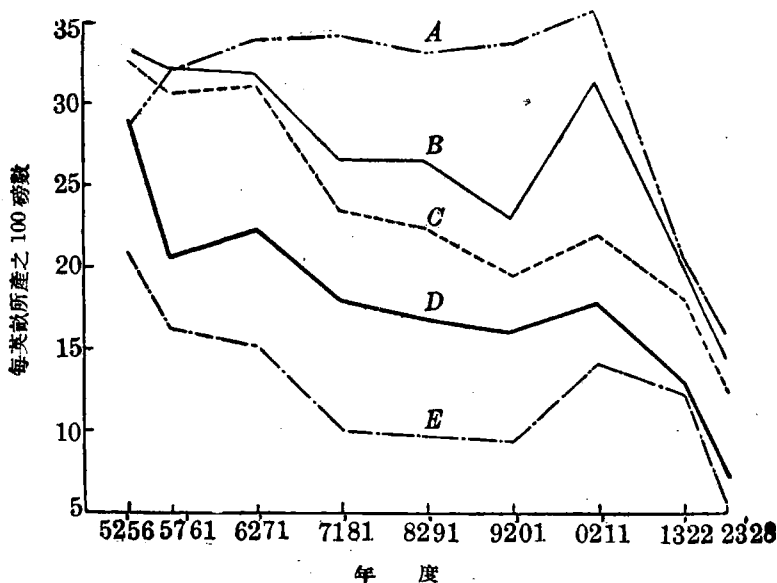
大麥之蟲害 *Chlorops taeniopus*, Meig. 於晚春由卵中蟬出以食將吐出之穗。若施用足量之磷肥，使穗提早吐出數日之久，常可逃過此蟲之爲害。

於磷素缺乏之情形中，穀類作物之顆粒不能得圓滿之生長，故產量亦必低。磷素增加之時，顆粒之比重與比例亦俱增，但不需多量之磷肥，即可使二者至一最高點，至此點後，磷素復增加時，僅可增加產量而不能復影響顆粒之比重與比例也。（見第七八表）

羅塞模斯台得試驗場七十餘年之田中試驗結果，指明磷素雖至十分缺乏之程度時，顆粒之產量爲全收穫量之百分之四十四，與磷素不十分缺乏時無大分別，但磷素缺乏之時，全收穫量必減低，可見在農田中磷肥之施用，未必能增加顆粒之比例量也。（第七九表）



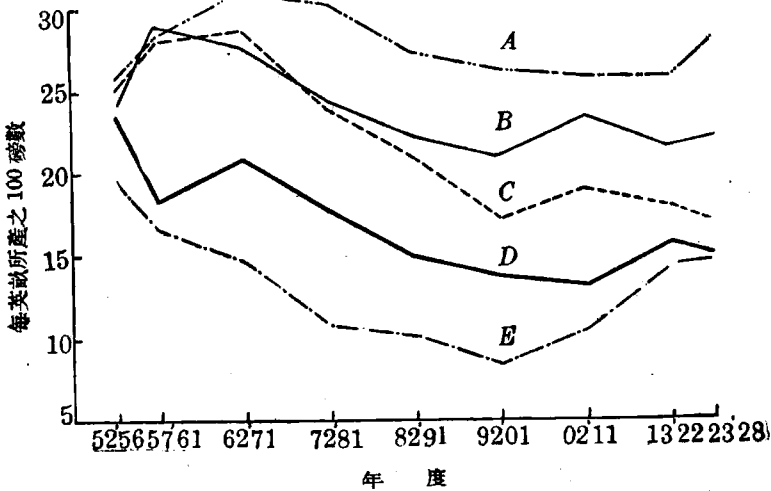
環境對於作物之影響的程度，每不能由一或二年之試驗結果中求得之，是以羅場之長時間試驗結果，如上表所列者，可視為極有價值之貢獻。由上表所列之數目字與下圖中之曲線觀之，可見維持土壤生產力之最有效肥料為厩肥。氮肥為最不應缺少者，若其供給停止，則植物產量可於短期內降至最低之數。磷肥之供給似較鉀肥為要，但事實上土壤中含鉀恆比磷較多，故其天然之供給不易用盡之也。



第一三圖 肥料對於大麥籽粒產量之關係

- |       |           |
|-------|-----------|
| A. 厩肥 | B. 完全化學肥料 |
| C. 無鉀 | D. 無磷     |
| E. 無氮 |           |





第一四圖 肥料對於大麥秸幹產量之關係

A. 厩肥 B. 完全化學肥料 C. 無鉀 D. 無磷 E. 無氮

第一三圖與第一四圖中之曲線性質相仿，可見在天然情形之下，磷肥之影響於秸幹或顆粒之產量程度頗一致。

磷肥施量過度之時，即可減低植物之產量。(第七八表)其原因乃由於促速成熟而使枝葉之發達受阻。

施於土壤中之磷肥不能完全為植物所吸收。按一般之試驗結果，大都以四分之一之所施量為植物所能吸收者。

磷肥與作物之成分 磷肥之吸收量與植物吸收之磷素量有密切之關係。腦包爾對此問題研究甚多，其以幼苗之生長量及含磷量而測定土壤之應用磷肥含量之方法的原理即根據於上述之關係。含磷甚少之土壤，施以磷酸肥料之後，植物吸收磷素之量，可有顯然之增加。肥沃之土壤中，普通需磷肥甚少，故雖施以大量，亦不能

增加植物之吸收量。

- 磷肥吸收量之增加未必可增加植物之含磷成分，故施用磷肥後之普通結果為增加植物之產量。但施磷肥於生產力極低之土壤中時，磷肥增加植物產量之效率，因受其他因子之連帶關係，(氮，鉀，水分等供給之不足)不能完全施展，故植物雖已吸收磷肥而不能增加其產量，是以此磷素含量可以增加。於此情形中，作物所吸收之磷素的一部分可為無機狀態者，儲存於植物之體中。

第八〇表 磷肥之施用與植物之含磷成分  
乾物質之  $P_2O_5$  百分率

	磷肥缺乏之土壤		磷肥足用之土壤	
	未施磷肥	施 過 磷酸石灰	未施磷肥	施 過 磷酸石灰
大麥				
稍幹: $P_2O_5$	0.44	0.89	—	—
顆粒: $P_2O_5$	1.31	1.31	0.959	0.972
牧草				
$P_2O_5$	0.29	0.71	0.96	0.93
CaO	0.59	0.94	1.16	1.16

除上表所列者外，其他研究者亦曾得相仿之結果，例如杜塞爾<sup>①</sup>施磷鉀肥於菉草田中，不僅使植物之產量增加，其磷與氮的含量皆增加。惠亨<sup>②</sup>與海克<sup>③</sup>施磷灰石粉於紅金花菜 (trifolium) 及燕麥，二者之稍幹與籽粒之含磷成分因之而俱增。

磷肥之供給量與作物之含磷成分的關係，在實際的農業上，頗

① Dusserre, ② Whiting, A. L. ③ Heck, A. F.

含重要性質。地球表面之土壤有廣大之面積含不足用之磷肥。此種土壤所生長之作物必有極低之含磷成分，以之作家畜之飼料，可因磷素之量不能滿足家畜所需者，因而使家畜發生軟骨病。罹此病之家畜每貪食獸骨，雖腐敗者亦不之拒，由此而受陶門毒<sup>①</sup>者每多見之。避免此現象之方法為施用磷肥於牧草田中，或飼家畜以骨粉。

磷肥之供給是否可影響其他作物成分之含量，頗欠詳細之研究。拉格杜<sup>②</sup>與毛美<sup>③</sup>之葡萄葉的分析指明施磷肥後，乾物質中之 $K_2O$ 成分可增加，而奧溫<sup>④</sup>之西紅柿葉的分析則指明鉀肥之影響為減低磷素之含量。

第八一表 肥料對於葉部成分之影響(乾物質百分率)

	N	$K_2O$	$P_2O_5$	灰分總量
葡萄葉				
完全肥料	1.75	1.80	0.25	3.80
無磷	2.05	1.41	0.12	3.58
無鉀	1.40	0.95	0.24	2.59
未施肥	1.35	0.83	0.13	2.31
西紅柿葉 (1924—1927 四年平均)				
完全肥料	4.010	7.030	.6673	31.09
無磷	3.616	5.249	.5933	32.32
無鉀	3.732	1.679	.8904	27.32
無氮	2.311	6.035	.5864	31.74

### 鉀

植物在生長之際時，其所含之鉀素大部分存在於有生長功能之部分如芽，葉等之中。於植物將屆成熟期時，其鉀素之位置即大

① ptomaine poison ② Lagatu, H. ③ Maume, L. ④ Owen, O.

加變化，葉樹者大部分轉置於葉實中，而穀類作物及豆科作物者，則存留於枝葉中。

第八二表 乾物質之含鉀量(每 1000 磅中之  $K_2O$  磅數)

植物		豌豆	
蘋果		籽粒	17.2
肉	7.5	角	17.0
皮	10.3	葉	34.3
核	12.0	莖	36.0
舊葉	4.3	糖蘿蔔	
新木	5.4	肥根	62.0
葡萄		葉	49.5
葉	15.9	幼苗	72.1
葉	12.1	小麥	
新木	5.4	顆粒	6.4
龍鬚菜		秸幹	11.3
嫩筍	16.6	玉米	
老筍	25.6	顆粒	3.8
葉實	18.0	秸幹	19.1

鉀之功用及其對於植物生長習慣之影響 此問題可分為數段述之：

1. 鉀素能促進葉部之工作效率，為植物生理學家所公認者。在鉀素供給量不足之情形下，葉部每單位面積造成糖類及澱粉之速率即減低，而糖類由葉部移運至枝根等部之速率亦可同時受阻，證明鉀之功用為增加葉部吸收二氧化碳氣，製造植物化合物及利用澱粉之作用的效率。惟此現象可依植物之種類而有趨異，例如莫斯開爾<sup>①</sup>之馬鈴薯的研究與迺廷蓋爾<sup>②</sup>之西紅柿的研究，皆得知鉀

① Maskell, E. J. ② Nightingale, G. T.

素缺乏之時，不能發生上述之結果。

2. 植物於正常之同化作用中，不斷的生成酸類，其中之少數如碳酸，含有毒性，故可阻礙正常之發達。鉀素可中和此種酸類。若鉀素之供給量不足，則植物發現不正常之同化，其結果為易受病害之侵襲。

3. 鉀素為植物組成蛋白質之必需品，但非蛋白質之成分，其作用或者為還原硝酸，此為組成蛋白質之第一步工作。

4. 充足之鉀素供給量可增加大麥根部之發達。

5. 鉀素有促進植物吸收水分之功能。

6. 鉀素有增進蔬菜與藥品之品質之功能。

鉀素不足對於植物之影響可分為二組，依氮之供給量而趨異。氮素供給量低時，葉部必微小，其所可組成之碳水化合物量甚少，因而蛋白質之組成量亦甚少。植物之枝幹矮短，色暗灰。葉恆於未至成熟期前由尖端起始枯死，葉邊隨之，終及於全部。設無此種不正常現象發生，則粒實微小，重量亦低。

上述之情形為普通常見者，尤以沙土，石灰質土，及泥炭土所生長之植物為甚。於此種土壤中施用鉀肥最易見效。

大量之氮素供給可使植物吸收多量之氮，但由於鉀素不足之故，葉部雖增大，然工作效率甚低，因而碳水化合物之組成量，由比例方面觀之，不能抵氮之吸收量，其結果為使植物所含之氮化合物量有超乎常態之多，而發生種種不適宜之影響。是以鉀與氮之作用彼此相關，缺乏其一者，則他者不能發生完美之結果。

鉀對於葉部工作率之影響，可由下表所列羅場之牛蒡試驗結果見之。

第八三表 鉀肥對於氮肥效率之影響

	牛蒡之產量 (1876-1928, 50 平均)					
	肥根, 每英畝 1000 磅數			葉, 每英畝 1000 磅數		
鉀肥供給量不充足	10.01	15.01	21.26	2.35	5.85	7.37
鉀肥供給量充足	9.03	30.24	50.51	2.08	6.29	11.65
氮肥供給量, 每英畝所施氮之磅數	—	86	184	—	86	184

歉收之年，羅場之小麥田中，凡氮與鉀俱施者，較之僅施氮而不施鉀者產量特高。

鉀素對於植物結實之影響較之其他者皆烈。鉀素特別缺乏之時，植物不僅枝幹矮小，一若氮與磷之缺乏所致者，且不能成熟。少量之鉀素的供給可使植物結實，但實必微小。按海爾利蓋爾之所得，鉀素之供給量，對於大麥之顆粒的重量，有直接之比例關係。以下表所列之結果與第七八及第七五二表者相比即可見之。

第八四表 鉀肥對於大麥產量之結果

K <sub>2</sub> O 供給量	0	23.5	47	70.5	94	188	282
乾物質產量 (公分)	2.271	5.414	9.024	11.636	15.302	20.946	29.76
顆粒百分率	—	4.8	21.5	27.2	30.1	38.5	42.7
每粒重量	—	5	9.5	13	17	26	34

羅場每英斗小麥 1909—1919 十年之平均重量為：(磅數)

未施厩肥	施厩肥	完全人工肥料	人工肥料, 無氮	人工肥料, 無鉀
61.5	62.3	62.2	61.8	60.7

鉀肥對於植物成分之影響 植物之各種食料中，以鉀最易爲植物所吸收。按腦包爾，巴迺衛茲①，向特謀羅②等之研究，所施之鉀肥，植物可吸收其百分之九十或以上。鉀素大部分聚積於植物之枝葉中。(第八二表)施用鉀素即可增加乾物質之含鉀成分，但灰分中之其他成分，如鈉，鈣，磷等則可因之而減低。(第八五表)羅場牧草田之混合牧草的成分亦能表明此點。

第八五表 羅場牧草田之牧草成分

(1856—1873, 18年之平均)

	曾施氮肥		未施氮肥	
	N P. 無 K.	N. P. K.	P. 無 K.	P. K.
乾物質所含者 %				
K <sub>2</sub> O	0.98	2.58	1.32	2.77
Na <sub>2</sub> O	0.59	0.28	0.56	0.12
CaO	0.91	0.60	1.17	0.96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.72	0.58	0.65	0.64
灰分	6.18	7.24	7.23	8.02
N	1.95	1.55	1.58	1.74
灰分中所含者 %				
K <sub>2</sub> O	15.80	35.39	18.26	3.30
Na <sub>2</sub> O	9.52	3.87	7.68	1.53
CaO	14.70	8.27	16.22	11.92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11.58	7.96	8.93	7.92

鉀肥之供給量對於糖蘿蔔之含糖成分之影響不甚顯然。希內得溫得③綜合各研究家之結果，乃知鉀肥曾增加糖蘿蔔之含糖成分 0.3%。

① Bonewitz, W. ② Schottmüller, A. ③ Schneidewind, W.

## 參考書：

- Clark, H. E. and J. W. Shive: The Influence of the pH of a Culture Solution on the Rates of Absorption of Ammonium and Nitrate Nitrogen by the Tomato Plant. *Soil Sci.*, 37:203—225. 1934.
- Duggar, B. M.: *Plant Physiology*. Chapt. VII, VIII, IX, and X. The Macmillan Co. 1930.
- Dutcher, R. A. and D. E. Haley: *Introduction to Agricultural Biochemistry*. Chapt. XV and XVI. John Wiley & Sons. 1932.
- Jones, C. D., and C. E. Skinner: Absorption of Nitrogen from Culture Solutions by Plants. *N. J. Agr. Exp. Sta. Ann. Rept.*, 360—365. 1926.
- Mazé, P. Recherches sur l'influence de l'azote nitroque et de l'azote ammoniacal sur le development du maïs. *Ann. Inst. Pasteur* 14: 26—45.
- Naftel, J. A.: The Absorption of  $\text{NH}_4$ - and  $\text{NO}_3$ -N by various Plants at different Stages of Growth. *Journ. Amer. Soc. Agron.* 23:142—158. 1931.
- Prianischnikow, D. N.: Ammoniak, Nitrate, und Nitrite als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen. *Ergeb. Biol.* 1:407—446. 1926.
- Raber, O.: Permeability of the Cell to Electrolytes. *Bot. Gaz.* 75:298—308. 1923.
- Russell, E. J.: *Soil Conditions and Plant Growth*. 6th. Ed. pp. 60—91. 1932.
- Van Slyke, L. L.: *Fertilizers and Crops*. Chapt. X. Orange Judd Co., New York. 1915.

劉 和 肥料學講義 第二節 中華農學會 民國二十二年

## 第十五節

## 其他植物食料元素

## 金屬元素

鈉 鈉雖在動物生理上有極重要之功用，但其在植物之營養



上,則似非爲必需者,惟 saliconia 則以含食鹽之田中生長較爲圓滿。普通作物中如牛蒡,糖蘿蔔,龍鬚菜等可因食鹽之施用而增加生產。按亨利希<sup>①</sup> 豌豆亦然。

鈉對於作物之影響與鉀者不同,但若於鉀肥缺乏之田中施以鈉鹽,則鈉似乎於短期內可代替鉀而延緩鉀素不足之不良影響。

博利塞爾與惠羅爾以爲鈉可代換土壤吸收複合體中之鉀使其變爲應用者。按黑爾利蓋爾不論鉀素充足與否,鈉鹽之施用皆可增加大麥之產量。

第八六表 不等量之鉀肥的施用與鈉鹽的施用

對於大麥產量之關係

K <sub>2</sub> O 施量	0	94	188	282	376
乾物質產量,施鈉鹽	4.925	23.019	32.278	36.535	38.270
乾物質產量,未施鈉鹽	2.658	15.638	29.724	34.897	36.231
由於鈉鹽之施用 所增加之產量	2.267	7.381	2.554	1.638	1.989

按吳克爾,微量之氫氧化鈉與碳酸鈉除可增加小麥之產量外,尙可增加顆粒之含氮成分。大量之鈉鹽不論其成何種化合物均可毒害普通作物,已於第十二節詳述之矣。

鋰<sup>②</sup> 與銻<sup>③</sup> 鋰銻與鉀鈉雖皆屬於鹼金屬族,但在植物生長上之作用則各皆不同,鋰與銻皆可毒害植物。高納斯當佛<sup>④</sup> 於1887年已有報告指明鋰鹽可毒害植物,復於1912年由吳克爾證實之。按吳氏,鋰之氯化物,硫酸鹽,及硝酸鹽溶液,按鋰之量計算,濃度在0.003%時即可毒害小麥,但較此濃度尙低時,則可刺激植物之

① Heinrich    ② lithium    ③ caesium    ④ Gannersdorfer, J.

生長而增加其產量。鉍之毒性不若鏗者之烈。

鈣 鈣之不足，普通可有下列之影響：

1. 使根部不能發達且現不正常之顏色。按莫金①與得馬塞②之研究，豌豆於蒸餾水中發芽時，其根部於第三或第四日即停止生長，但於施以極微量之硫酸鈣後，根部復可繼續生長，且極迅速。於每粒種籽施硫酸鈣 0.01 mgm.，以鈣計算等於每粒乾種籽之重量的四萬分之一，即可使根部生根毛，及增加長度百分之 40。里得③與哈斯④之柑橘幼苗的研究，牛頓⑤之馬鈴薯及金斯堡⑥之大豆的觀察，皆得相仿之結果。

2. 使葉部現棕色斑點及致枯死。此種現象已於 1888 由洛摩⑦與開羅曼⑧察知，復於 1924 年由里得與哈斯證實。

3. 按普利斯特來⑨，鈣可使植物之脂肪向外移動，使皮部加厚。王賴斯⑩於菓樹的觀察，未能見上述之影響，但見鈣素不足之初步的變化為葉面增大。

4. 按格納，鈣素供給量極低微時，煙草之葉僅下部者可得正常生長，受影響最烈之部分為頂芽，使其失喪開花結實之功能。

鈣之功用 洛摩及其他舊時代之植物生理學者，以鈣與組成細胞構造物質及蛋白質有關。經現代學者之研究後，乃知其與細胞構造之關係為鞏固細胞膜，而與蛋白質之關係為中和由組成蛋白

① Maquenne, L. ② Denoussy, E. ③ Reed, H. S. ④ Haas, A. R. C.  
 ⑤ Newton, W. ⑥ Ginsburg, J. M. ⑦ Raumer, E. von  
 ⑧ Kellermann, Ch. ⑨ Priestley, J. H. ⑩ Wallace, T.

質所生成之酸類。此種酸類若不去除之，則原形質可受毒而生長受阻。凡含蛋白質較多之植物體中，如豆科植物者，其含鈣成分亦高。老枯之植物體中多含非水溶性之鈣鹽，如蓷酸鈣，而柑橘之葉部現混合色者多含酸類而少含鈣。

鈣在植物之營養上有調劑的作用。實驗室中之研究，指明蒸餾水與單獨鹽類對於植物之毒性可施鈣以去除之。鹼土之中施以石膏即可減低鈉之為害。鎂素過度時之毒性可以鈣調和之。

鈣與植物之成分 植物吸收及移運鈣之工作，與其他成分者大有不同之處。氮，磷，鉀之吸收以生長之初期時為最迅速，是以愈老之植物，含氮，磷，鉀之百分率愈低。鈣之吸收則與生長並進。植物於將近成熟期，其葉部尚未脫落之前，大部分之氮，磷，鉀，移存於種籽之中，但鈣則留於葉或枝中，是以闊葉林中，鈣常聚於土壤之表面。

第八七表 乾物質每千磅中所含鈣之磅數

蘋果		糖蘿蔔	
肉	0.6	肥根	1.6
核	0.4	葉	21.4
葉	34.8	小麥	
新木	1.9	顆粒	0.5
梨		稻幹	2.1
菓	0.6	燕麥	
葉	20.3	顆粒	0.1
新木	11.4	稻幹	3.0
李		玉米	
肉	0.7	顆粒	0.3
核	1.0	稻幹	4.3
枝	18.1	豌豆	
葉	30.3	種粒	1.0
新木	17.6	稻幹	15.4

施用鈣化合物如硫酸鈣與碳酸鈣，即可增加植物之鈣的吸收量，高登①曾有下列之報告：——

牧草乾物質中之 CaO 百分率

未施肥	0.59	1.16
施 CaO	0.77	1.37
施 CaO 及過磷酸石灰	0.98	1.56

鈣之吸收量增加之時，植物之灰分，鉀，磷之成分皆可增加，惟氮則略見減低。

第八八表 土壤之含鈣量與藍草 (*Poa pratensis*)

之化學成分(百分率)

	灰分	氮	鈣	鉀	磷
高鈣土壤	8.32	1.76	0.424	2.18	0.286
低鈣土壤	5.94	1.78	0.185	1.80	0.177

牧草之含鈣甚少者，常因不能滿足家畜之需求，使家畜發現軟骨病及其他缺陷病②。

鋇③與鐳④ 鋇與鐳在植物營養上皆不能代替鈣。按莫克哈格⑤，鋇與鐳之碳酸鹽皆可毒害植物，但以之與碳酸鈣並施之時，可增加植物之產量，尤以碳酸鐳為甚。吳爾客曾得知0.1%之硫酸鋇，氫氧化鋇，或碳酸鋇皆未影響植物之生長，惟氯化鋇則毒性甚強。

鎂 鎂為植物必需食料元素中之一者，乃葉綠素之成分。於其供給量不足之時，葉部之綠色即破壞，而現出數種不同之形態上的

① Godden, W.      ② deficiency disease      ③ barium      ④ strontium

⑤ McHargue, J. S. H.

變化，例如里得與哈斯之觀察，柑橘之葉部由脈之兩旁變黃而漸向外擴大；金斯堡之觀察，大豆之葉面現棕色斑點；王賴斯<sup>①</sup>之觀察，菓樹葉面現棕色片；格納之煙草觀察，葉面由尖端起始現黃色斑點。凡有此種病狀之葉皆可於未至成熟期前脫落。劉和曾用沙植法，證實格氏之觀察。

鎂似為生成油質之必需者。多含油質之種籽中亦多含鎂。無鎂素則 *vaucheria* 不能生成油滴。

由上所述可知植物體中以葉及種籽之含鎂成分必較為高。

第八九表 乾物質每千磅中所含鎂之磅數

蘋果		精蘿蔔	
菓	0.6	肥菓	1.8
葉	6.3	菓	10.2
新木	0.3	蘿蔔	
桃		肥根	1.8
肉	1.0	菓	2.8
核	0.1	小麥	
葉	8.8	穎籽	1.6
新木	0.3	稽幹	0.8
梨		燕麥	
菓	0.6	穎籽	1.6
葉	4.2	稽幹	1.3
新木	1.8	玉米	
李		穎粒	1.3
肉	0.9	稽幹	1.8
核	0.9	豌豆	
枝	4.3	豆粒	1.3
葉	8.0	稽幹	2.6
新木	3.2		

① Wallace, T.

鎂素供給量過度之時，頗不利於植物之生長，但此劣性可以鈣消除之。羅吳①以爲植物有一定之 $\frac{\text{CaO}}{\text{MgO}}$ 需求，但哥索耳②與賴莫門③均未能證實其說。

按吳爾客之試驗結果，氧化鎂，碳酸鎂，與氯化鎂皆可使小麥種籽之含氮成分增加。硫酸鹽未含此種功用，但施以微量之時，會增加顆籽與稈幹之產量。氯化鎂之濃度較高時即發生毒性。

鐵 鐵雖非葉綠素之成分，但其組成必需小量之鐵化合物，培植液或沙植法所用者爲氯化鐵或磷酸鐵。普通土壤皆含足量之鐵以供植物營養上之需要，但亦有生長缺乏色素之植物，表示鐵之不足。而可施鐵化合物以更正之者，惟其原因則非由於缺乏鐵素，而由於缺乏應用性之鐵化合物，例如石灰之施量過度而將應用性鐵化合物沈澱之故也。

包來徐④曾有報告，鉻鹽⑤與錳鹽⑥並施於培植液中，可代鐵而使葉綠素正常生成。關於此種結果之證實的報告尙未見之。

植物體中僅含微量之鐵，且僅其小部分爲有機態者，存在於俱有生長能力之部分中，故隨生長細胞而移動，其無活動能力之部分爲無機態之氧化鐵 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )，儲存於葉或其他組織中。

錳⑦ 錳爲植物必含有之成分，按貝特龍特與莫克哈格，其功用與氧化酵素⑧之作用有關。植物最需要錳之處所似爲未成熟之頂芽組織。

① Loew, Oscar    ② Gössel, F.    ③ Lemmermann, O.    ④ Boresch, K.  
⑤ chromates    ⑥ manganates    ⑦ manganese    ⑧ oxidase

卜龍齊來之培植液試驗，微量之錳曾增加大麥之產量。狄特利克①有錳增加小麥產量之報告。豆科植物亦可因錳之施用而增加產量。

錳之供給量不足時可使葉部發生病狀。美國路得島州②試驗場曾有一極感興趣之田中觀察，其概情為如下：所觀察之土壤原為酸性反應者，曾施用石灰使其近中和性反應，但所植之燕麥，菠菜，生菜③，糖蘿蔔，菜豆，及玉米之葉常變黃色。水溶性鐵鹽之施用未能發生改善之效，但每英畝施硫酸錳或氯化錳一至二磅，葉色乃變綠，且增加菠菜之產量。

錳素不足，使菠蘿之味不甘，而過度之錳素供給量，阻礙菠蘿之根部的發展，並使其葉色變黃。

銅 植物體之成分中以銅為必含元素之一者，莫金④與得馬塞謂其功用與細胞及細胞間之同化作用有關。按卜龍齊來之培植液試驗結果則指明雖千萬分之一之硫酸銅曾能毒害植物。惟亞利生⑤於美國佛拉里達州⑥之泥炭土壤試驗與胡地希⑦及美伊爾⑧於荷蘭新墾沙質與有機質土壤之試驗，俱得因硫酸銅之施用而增加作物產量。衛利斯⑨曾謂，硫酸銅之施用，可阻止鐵之過量的吸收。

鈷⑩與鎳⑪ 此二元素為植物必含有之成分，但似無一定之功用。

① Deatrick, E. P.      ② Rhode Island      ③ lettuce      ④ Maquette, L.  
 ⑤ Allison, R. V.      ⑥ Florida      ⑦ Hudig, J.      ⑧ Meyer, C.  
 ⑨ Willis, L. G.      ⑩ cobalt      ⑪ nickel

鋁 莫塞認鋁爲必需元素中之一者，施唐克拉索與尙摩爾①謂其有利於植物之生長。其量過度時，可毒害植物。酸性土壤對於植物之爲害以鋁之含有毒性爲一因。(參照第十節)

### 非金屬元素

氯 植物不需大量之氯；按莫塞微量之氯有利於植物之生長，勞門尼茲②之苜蓿試驗亦會能證實此說。施用氯化鈉頗有益於糖蘿蔔及牛蒡，但不利於馬鈴薯。對於煙草，每英畝含氯在二十磅以下時，不但產量可增加，品質亦可增進，且無害於燃燒性③。較大量之氯更可增加產量，但有害於燃燒性；再大之量則產量減低並使葉變厚，且使質變脆。

以火柴燃煙葉之尖端，引其自燃，於自燃之後，若能繼續燃燒直至除較大之葉脈外皆可燃爲白灰，即謂之爲良好燃燒性。品質良好之葉應柔而有良好之燃燒性。

按杜巴④之所得，氯化鹽之施用量，於未至能傷害作物之程度時，所生長之作物較之施硫酸鹽及硝酸鹽者，色較綠，體較苗，蒸發較少之水分。杜氏謂氯的離子較之其他者易進入植物之內部。水之蒸發量的減低或者由於細胞汁之加濃。不論如何，其影響爲於溫熱之時增高葉之溫度，設植物能忍受，當然有利於其生長，一旦超過其可忍受之限度，則可有極大之不利。牛蒡，糖蘿蔔，及大麥皆可忍受高溫，故以氯化物爲較佳之肥料。馬鈴薯喜生於較冷之氣候中，故不宜施用氯化鹽以作肥料。

於植物將屆成熟期時，氯化鹽可使葉提早枯死，或者亦有促

① Sommer, A. L. ② Lomanitz, S ③ burning quality ④ Dupont, C



早成熟之影響，此作用有利於大麥，但不利於馬鈴薯。穀類作物之施以氯化鹽者較之施硫酸鹽者少生稭幹。

較大量之氯離子對於一切作物皆有毒害性質，尤以馬鈴薯為甚，其產量與品質均可降減。牛蒡與糖蘿蔔之抵抗性則甚強。

氯化鈉之毒害情形為鹼土中所常見者，其詳情已述於前。（見十二節）。

在天然情形之下，植物可由雨水中得相當量氯化鹽。英國羅場每年每英畝平均得氯十六磅，愈近海岸，雨水所含之氯愈多。

植物所含之氯大部分存在於枝葉之中，種籽與根所含皆微。（見第八九表）

氮 日本與法國學者有以微量之氮為植物所必需者。高地埃①與克勞斯曼②謂每英畝施非晶態氟酸鈣五公斤曾使穀類作物之產量增加百分之五至十八，而對於肥根作物則所增加之產量更大。此種結果惜無其他學者之研究以證實之。

● 第九〇表 乾物質每千磅中所含氯之磅數

燕麥	.	糖蘿蔔	
顆籽	0.3	肥根	7.5
稭幹	3.1	葉	25.0
玉米		蘿蔔	
顆粒	0.1	肥根	4.0
葉及稭幹	0.7	葉	11.8
豌豆			
豆	0.4		
稭幹	2.9		

① Gautier, A.

② Clausmann, P.

碘 莫塞與日本學者認碘為植物所需要之食料。此問題在實際上含有重要性質，蓋醫學家已證明人類之鵝喉病①為由於食料中缺乏碘之故，而家畜之數種病害亦與碘有關。

天然之智利硝含有碘，而人工製成者則不然，因而曾有甚多之試驗為求得智利硝是否較優於人工所製成者，其結果則均未能證實碘之有利。作物之含碘成分亦未能每於施用碘時即有增加，而其被植物所吸收之部分，恆存在於枝葉之中而未能移儲於肥根或種籽中。雨水每年每公畝可帶入碘 12 公分，土壤每公畝含碘 2,000 至 5,000 公分，此量足供植物之取用。

硫 硫為植物之必需食料，為蛋白質之成分，亦為葱蒜等之辣味素之成分，故豆科植物，葱蒜等之含辣味的植物，及十字花科植物所含較多。

第九一表 乾物質每千磅中所含硫素之磅數

小麥		洋白菜	
顆籽	0.04	葉	1.0
稽幹	0.5	野蒜	2.0
燕麥		糖蘿蔔	
顆籽	0.2	肥根	0.1
稽幹	0.9	葉	3.4
玉米			
顆粒	0.04	肥根	0.3
幹與葉	1.1	葉	4.4
豌豆			
豆	0.4		
稽	1.3		

① goitre

按培植液試驗所得之結果，若鹽類中不含硫酸鹽，則使大豆之葉色發黃且生棕色斑點，並使其根部現棕色。對於菓樹，按王賴斯之所得，硫素之缺乏與氮素缺乏之影響相同，惟較為輕耳。

硫酸鹽似乎有益於暖而乾之環境，美國之加州，及澳洲之維多利亞皆有試驗結果指明硫酸銨較智利稍為優，過磷酸石灰含有硫酸鈣，故較優於純粹之磷酸鈣，而硫酸鉀較優於氯化鉀。

多雨之區亦以硫酸鹽之效力較大：戴門得之試驗結果指明硫酸鹽會增加多含蛋白質之植物的產量，但未能使穀類作物及牧草之產量增加。美國衛斯康辛州及米尼蘇達州各研究家亦曾得硫酸鹽增加苜蓿之產量之結果。黨亞克①於新西蘭之試驗指明施石膏或硫素於苜蓿，會增加其乾物質之含硫成分約一倍，由百分之 0.26 增至百分之 0.4 或 0.5，有時亦會增加其產量。

硫素亦為動物營養上之必需元素。家畜之中，如羊需硫素較多，因其毛中之蛋白質含硫素特多也。

矽<sup>②</sup>舊時代之植物生理學者曾以矽為禾本科作物之重要食料，並以其功用為使秸幹堅強，但英國羅場之田中試驗結果則指明施矽酸鈉於大麥及牧草並未增加其強度。惟大部分之矽存在於秸幹中則為無疑之事實。

第九二表 乾物質每千磅中所含矽之磅數

小麥		豌豆	
穎籽	0.2	豆	0.1
秸幹	14.5	秸幹	1.4

① Doak, B. W.

燕麥		糖蘿蔔	
顆籽	4.9	肥根	0.6
稻幹	13.4	葉	2.3
玉米			
顆粒	0.1	肥根	0.6
幹及葉	6.1	葉	1.8

羅場之試驗結果中曾有一極感興趣之表示，即凡磷素供給量不足之田中，矽酸鈉之施用即增加大麥之產量。

第九三表 矽酸鹽對於大麥產量之關係 (1864—1904)

	顆粒產量, 英斗		稻幹產量, 百磅數		顆粒與稻幹之比例	
	未施矽酸鹽	施矽酸鹽	未施矽酸鹽	施矽酸鹽	未施矽酸鹽	施矽酸鹽
硝酸鹽	27.3	33.8	16.2	19.8	85.1	86.6
硝酸鹽+磷酸鹽	42.2	43.5	24.6	25.8	87.2	85.8
硝酸鹽+鉀鹽	28.6	36.4	17.9	21.7	80.6	85.0
硝酸鹽+磷酸鹽 +鉀鹽	41.2	44.5	25.3	27.6	82.7	82.1

吳爾夫與克路夏<sup>①</sup>以培植液作燕麥試驗亦得與上述者相同之結果。郝爾與莫利生<sup>②</sup>謂矽酸鹽可增加植物之吸收磷素能力，但賴莫門<sup>③</sup>與費許爾<sup>④</sup>則以矽酸鹽可增加土壤中之應用磷酸含量，羅場之研究家則以此二種作用均可有之。德日學者曾作甚多之研究，希求得矽酸代替磷酸以作植物磷素食料，但所得結果皆未如所願。

硼 培植液與沙植法之試驗，常見植物不能得完美之生長。王林頓<sup>⑤</sup>之蠶豆試驗，惟有施硼酸少許者，得完美之生長。其所得之最良好施量為每培植液百萬分中施硼酸 ( $H_3BO_3$ ) 一分；超乎一

① Kreutzhage, C.    ② Morison, C. G. T.    ③ Lemmermann, O.  
④ Fisher, R. A.    ⑤ Warrington, K.

比五千之量即發生毒性。美國加州之研究者以硼亦為番茄之必需食料，但對於大豆則僅有益助而非必需。對於禾本科作物，硼非為必需亦無益助。

### 植物之形態與其環境之關係

環境可影響植物之形態已如上述。茲總現時所知者列之成表，俾學者便於參照。惟環境影響植物之程度與植物所表示之形態，每依植物之種類而趨異，且形態上之變化，多有不易以字形容者，幸研究者現已努力於樣本之保存並製成着色圖以表明真象，而德國之巴爾堡試驗場①則用天然色照相法使植物之形態上的變化得以永存。此種圖樣已散見於各種雜誌中，所希者為能彙集成書，俾學者得見全豹。

### 葉 部

#### 葉部發達不良

(1) 植物矮小	色黃	氮素不足
	色灰	鉀或磷不足
	光滑似臘質	得水不易，土壤多含鹽質
(2) 植物高而細	——	土壤受掩蓋，無光
	——	植物株數太密
(3) 葉樹	色黃，橘黃或紅， 常有紅色斑點	氮素不足
	暗紫色，轉變為	磷素不足

① Bernburg Experiment Station

	古銅色，常有 紫或棕色斑點	
	暗綠色，葉邊變 為棕或灰色， 枯乾	鉀素不足
	古銅色	鉀素不足(橘)
	色黃，生長不良， 於未成熟前脫 葉	害草，或其他植物競 爭食料
葉色變黃	全部一律變黃	鐵不足 鈣，鎂，鈉，或鉀之碳酸 鹽過量 硫不足(煙草)
	黃色片，由葉脈 向外擴大	鎂不足
	無一定之形狀 斑點狀	鈣不足 鉀不足
	葉變黃，葉尖枯 乾，經葉邊向 內擴展	鉀不足(穀類作物，番茄， 菓樹)
	葉變黃，由葉之 中脈向外枯死	氮不足
葉生色片	棕色片，似枯乾 (菓樹)	鉀不足

	棕色片，位於葉面之中部	鎂不足
	棕色斑點	鈣不足
未成熟前脫葉	——	鈣不足，磷不足
葉綠而肥，枝大而苗	——	氮過度
葉色濃厚，有綉紋		鉀不足以抵氮之量
葉色雜，深淺不一		酸性土壤
	根 部	
甚短小		酸性土壤，磷或鈣不足，空氣不流通，排水不良，黏性土壤
鬚根頗發達		空氣流通，沙性土壤
	葉 實	
亮紅色(蘋果)		氮不足，害草叢生
色雜，似不成熟(番茄)		鉀不足
乏色素		鐵或氮不足
暗古銅色		磷不足
	種 籽	
成熟延遲		水分過量，氮過量，磷不足
未能成熟		鉀素過度缺乏

## 植物對於土壤之影響

植物能改變其環境為明顯之事實，茲就其對於土壤之影響略

述之。

**土壤成分之變化** 植物吸收硝酸鹽，磷酸鹽，及其他食料而改變土壤溶液之成分。土壤溶液之成分的變化非常時有相等之程度，蓋植物之各生長期內所需食料之量不一也。卜爾得①認大麥之生長可有三個期間：未成穗之前其吸收食料之量為漸加的，其氮磷鉀之含量皆可達一最高點。生成穗之期間，此時植物化合物向穗部轉移，吸收作用即行停止，枝葉之氮磷鉀含量亦行減少。但此損失於轉移期結束時尚可復得之。成熟完成之後，吸收作用停止，損失作用再現。

**土壤化合物之轉變位置** 在自然情形下，植物由土壤中所吸收之物質，於植物生長結束，枯死之後復歸還於土壤之表面，及表土中。此種轉變位置的作用頗可減低水溶化合物之損失，是以天然草原與森林土壤能長久肥沃。

**改變土壤之反應** 植物吸收鈣而放散二氧化碳氣。此二種作用皆增加土壤之酸度。但由於土壤之情形與作物之種類的關係，作物之生長亦可減低土壤之酸度。培植液之試驗常見溶液漸變鹼性，蓋植物吸收硝酸鹽之酸根，使所殘餘之鹽基變為碳酸鹽，若所生成之碳酸鹽為強鹽基者如碳酸鈉，則其於加水分解之後即使溶液發生鹼性反應。硝化作用所生成之硝酸鈣，於其酸根被植物吸收之後，鈣即變為碳酸鹽。

**土壤生物情形之變化** 生長作物之農田所含細菌之數目較裸

① Burd, J. S.



田者多。按施塔開①之所得，植物根部之附近較之他處可多生成二氧化碳氣與硝。若以生長作物之土壤與裸田相比，則裸田所含之硝恆較多。

第九四表 裸田(憇田)與玉米田之含硝成分 (p. p. m)

1908	憇田	玉米田	1909	憇田	玉米田
五月十九日	4.9	3.9	四月二十二日	19.0	10.9
六月二十二日	10.9	9.3	六月二十四日	12.6	2.5
七月六日	14.5	14.2	七月十二日	12.5	1.0
七月二十七日	42.1	43.2	八月七日	18.4	0.8
八月十日	40.3	37.3	—	—	—

賴昂②與彼塞爾③以為植物之根部分泌有機物，或脫除已死之有機體，促成細菌之繁殖，而硝為其所吸收，故植物根部之附近雖有多量之硝生成，然作物田之含硝量仍不若憇田之多也。

土壤成分之不均勻的吸收 雖生長於相同之情形中，各種植物不吸收等量與等成分之食料。穀類作物所吸收者最少，豆科作物與肥根作物所吸收者較多。煙草與棉多吸收鉀，大豆則吸收磷與鈣。此種情形對於施肥及輪種有極重要之關係。下表所列為英國數種普通作物於生長期內由土壤中所吸收之食料量。

#### 參考書：

- Duggar, B. M.: Plant Physiology. Chapt. VIII. The Macmillan Co., New York. 1930.
- Dutcher, R. A. and D. E. Haley: Introduction to Agricultural Biochemistry. Chapt. XVI. John Wiley & Sons, Inc., New York 1932.
- Liu, H.: The Salt Requirement of Tobacco in Sand Cultures. Maryland Agr. Exp. Sta. Bul. no. 1926.

① Starkey, R. L.      ② Lyon, T. L.      ③ Bizzell, J. A.

Raber, Oran: Principles of Plant Physiology. Chapt. X, The Macmillan Co., New York. 1930.

Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., pp. 94—115, 276, 505. Longmans, Green & Co., London. 1932.

Van Slyke, L. L.: Fertilizers and Crops, Chapt. V, Orange Judd. New York, 1915.

劉 和 肥料學講義 第二節 中華農學會 民國二十二年

### 第十六節

#### 普通土壤之培肥

土壤之物理及化學性質，以及其對於植物生長之關係既已有明確之認識，則應轉吾人之視點於實際之農業上的問題，即如何可於經濟範圍內維持土壤之生產力，以使農業之基礎鞏固而成一永久的實業。

以最經濟的方法，培肥土壤，使其永久的保持一最高生產力，為一極困難之問題，蓋其中所含之因子極端複雜，而其主要者為氣候的情形，水分的關係，土壤之有機物含量與其耕性，土壤中之食物料含量，植物病害，蟲害，毒害等；顧此失彼皆不能得滿意之結果。土壤培肥之方法甚多，但無一者可認為完美，雖其有經濟利益者，未必無改良之餘地。

土壤培肥方法之研究報告異常豐富，但在實際上最有價值之貢獻來之於經驗。土壤之化學分析對於解決土壤培肥之問題，似含有極大之希望。多數學者以為土壤之化學的分析，應解決大部分之土壤問題，尤以其肥料之需求，更應與吾人以明確的表示，但事實上每事與願違。

化學雖在土壤研究上與以極大之助力，但迄今未能確識土壤中即時應用之植物食料，可變為應用性之植物食料，與不能變為應用性之植物食料，是以無法斷定於一指定之植物生長期內可有若干量之植物食料變為應用性者。將來化學方法之進步，縱使可測定於一年內或數年內土壤所可供給植物之應用食料的量，以作施肥之借鏡，但亦僅可解決一部分之土壤培肥問題。賴昂①與博克曼②之土壤培肥公式為：

$$\begin{aligned} \text{生產力} = & \text{土壤之粒構} \times \text{土壤之構造} \times \text{有機物} \times \text{水分} \times \\ & \text{應用植物食料} \times \text{土壤反應} \times \text{氣候} \times \text{植物病害} \times \\ & \text{農人之經驗及其勤惰情形} \end{aligned}$$

上列各種因子無一為固定者，不論任何一者對於植物生長上發生不良之影響，其他因子雖皆適宜，生產量亦必減低。

### 培肥土壤之主要工作

土壤良好耕性③之維持 良好之土壤培肥方法中包含數種主要工作，其中以良好耕性之維持占首要地位。土壤應勤於耕耨使成一適宜之團粒構造，如此則空氣易於流通，過量之水亦易於排除。若於植物之生長期內，下層土中或亞表土中有聚積水分之可能性，則須有排水設備。乾旱之區可以耕耨法而保存水分，蓋中耕之後，表土之上，覆蓋一層最疏鬆之乾土，以破壞毛細管之連絡，與土壤之導熱力，而減低蒸發。種瓜者常以雜草鋪於土壤之表面，其功用與中耕相同。

① Lyon, T. L.

② Buckman, H. O.

③ tilth

賴昂與博克曼曾云：土壤之粒構指土粒之體積而言。土壤之構造指土粒之排列法而言，其真好者成適宜之團粒。耕性則指此種物理狀態對於植物生長之影響而言。耕性可分為不良者，中等者，真好者，最佳者。耕性亦包含水分之量，蓋水分不僅可影響植物之生長，亦為造成良好物理性之重要因子。總之真好之耕性，在實際方面，為綜合一切土壤物理狀態，造成適於植物之生長處所。

害草之剪除與良好耕性之維持有連帶關係，蓋耕耨即可除草，尤以中耕為然，而由於耕耨之勤懇造成良好之耕性，促速作物之生長，減除害草生長之機會，植物食料不為害草所奪取，故作物之產量可增加。

植物病蟲害之消滅 病蟲害之消滅未必不與土壤之培肥有關。大多數之病蟲害過其生活循環中之一期於土壤中。土壤之適宜的管理大可減低病蟲之為害。犁田之時間，土壤翻開之程度，輪種中所含之作物之種類，耨田之期間，病蟲害寄生植物①之去除，及植物殘餘體之燒除，皆為消滅病蟲害之土壤培肥工作。

植物食料之供給 良好之土壤培肥方法中必須供給植物以充足之食料。若土壤之天然生產力甚高，則施肥問題較為簡單。良好之耕性與適宜之水分供給量及流通空氣情形，足以使土壤解放足用之應用植物食料；換言之，即以人工方法，促進與節制土壤中之化學與生物的作用，俾足量之氮，磷，鉀，鈣，及其他植物必需食料，可變為應用者，以供作物之取用。若此種植物食料中不論何者缺乏，或不能變為應用性者，則必須施用肥料以補充其不足。厩肥，人糞尿，化學肥料等之施用，於是亦為土壤培肥中之主要工作，尤以多雨之區為重要。

① host plant

維持土壤肥沃度之工作大綱

維持土壤肥沃度之原則，可簡列之如下：

1. 供給氮素方法為施用.....
  - 作物殘餘
  - 厩肥
  - 綠肥.....
    - 豆科植物
    - 非豆科植物
  - 豆科作物
  - 氮素肥料
  - 人糞尿
2. 施用石灰(若有需要).....
  - 中和酸性
  - 供給鈣以作食料
3. 維持有機物量，節制其作用.....
  - 充足之植物遺體
  - 維持氮之供給量
  - 維持足量之有效石灰
4. 維持應用鉀素之供給.....
  - 有機物分解生成物之溶解作用
  - 厩肥，人糞尿與植物遺體
  - 鉀素肥料
5. 施用硫肥.....以作磷素食料

上表所列為賴昂與博克曼所製之大綱，作者特將人糞尿列入，俾學者不致謬我民族數千年來所認為最有效之肥料，放之腦後。賴博二氏之大綱雖為美國農人而作者，但其原則為農業科學之研究結果及經驗所得者之集成，我國學者當亦可採用之以作參考。

上述原則之應用可因情形而加以變化，且各因子之間有極密切之連帶關係，對於土壤學庶有研究者當可明調度之方。

## 土壤氮素含量之增加

雨水雖可攜帶於土壤中大量之氮素，豆科植物與非共生氮氣固定細菌雖可固定大量之氮肥於土壤中，但此量遠不足以相抵植物所吸收及排水所洗失者，故必有其他方法以補其不足。

植物遺體 維持氮素供給量之首要方法，為植物遺體之利用。植物之遺體，不僅其根部，即枝葉之不能用作家畜飼料者，皆應還於土壤中以作肥料。此種物質所含之有機體氮化合物，於分解之際，經過氨化<sup>①</sup>與硝化作用<sup>②</sup>，而復可變為植物之應用氮肥。北方農民，每於冬季，將土壤中之植物根掘取，以作燃料而禦寒，致使土壤中之有機物含量有減無增，且由經濟方面觀之，未可認為得計，蓋北方不論何處，皆可得廉價之煤，惟以人工無法利用，以於農閒之時作生產工作也。

厩肥 西北農田以畜牧為主業。內地農家莫不豢養家畜以作副業，或代人工，或利用廢物。北方之牛羊驃馬，南方之豬牛皆為農家附帶之出產品，是以每農家必可積有厩肥以作肥料。此種肥料約含水分四分之一，其餘者為有機物。施用於田中之後，除可改良土壤之物理及生物性外，尚含有氮，磷，鉀等植物必需而土壤所缺乏之食料。厩肥所含之氮磷鉀的百分率雖甚低，（普通厩肥含氮百分之0.6，磷百分之0.25，加里百分之0.5。）但每畝以數千斤之施量計算之，則亦可至可觀之數。按賴昂與博克曼之計算，若每英畝施

① ammonification

② nitrification

厩肥十噸，則其所含植物食料之總量，等於智利硝 660 磅，過磷酸石灰 310 磅，氯化鉀 200 磅所含者。惟厩肥所含之植物食料非為應用性者，然施用於適當之時間，其效力經久，所得利益可超過於人工肥料者。英國羅塞模斯台得試驗場七十餘年之試驗結果可為明證。（見七九表）

**綠肥** 耕覆綠肥作物於土壤中，土壤之含氮量可有顯然之增加，尤以豆科作物作綠肥為然。苜蓿或紫雲英每年每畝可固定氮氣十斤以上，足抵硫酸銨五十斤以上。綠肥尚可使磷與鉀變為較易於分解之有機化合物，亦可保存氮，使其不致流失，或揮發於空中。

**豆科作物** 種植豆科作物雖不用作綠肥，亦可增加土壤之氮素含量，蓋除粒實用作人類之食料外，秸幹可作家畜飼料以產厩肥，而留於土壤中之根部所含之氮，足可與土壤之損失相抵，施之厩肥所含之氮即為純益。

**化學肥料** 若種植特用作物之多需氮肥者，或作物之市價特高，可以化學肥料增加其產量者，則上述之維持土壤氮肥方法可感不足，而必須以化學肥料補充之。氮素肥料可單獨施用，但每以與磷鉀並施較為得當。氮素肥料有硫酸銨，智利硝，豆餅，棉仁粉等，其成分、性質、用法等，可得之於肥料學書中。（參照劉和著『肥料學講義』）

氮素化學肥料僅可用之以補充土壤之不足，而不應依其以維持土壤之氮素含量，且氮素肥料之施用似可增加土壤原有氮肥或厩肥之效率。自化學肥料輸入以來，農民每亂投用之，非不能得其利益，反受經濟上之損失與劣化土壤之物理狀態。作者常勸導農民

以硫酸銨及自然肥料並施，茲舉作者於北平農學院所得試驗結果之一部分，以供參考，並證明此施肥法之無謬。

第九六表 二十一年度稻田肥料試驗成績

試田號碼	肥料	全重量	穗重	全粒重
		公分	公分	公分
A-4	無肥	14,090	7,255	6,245
B-3	大糞+硫酸銨	20,170	10,100	8,515
C-3	大糞	19,160	9,510	7,970
A-5	無肥	16,480	8,560	7,350
B-4	大糞+硫酸銨	21,315	9,505	8,040
C-4	大糞	19,420	8,990	7,630
A-6	無肥	16,280	8,790	7,527

試田面積二十分之一畝，所施肥料依價值計算，每畝共值二元。大糞加硫酸銨者各值一元。

人糞尿 人糞含水約百分之八十，含氮百分之一以上，磷酸與加里各約百分之0.5。人尿含水分百分之九十五以上，氮與加里均約百分之0.5，磷酸僅有少許。上列之成分指明以氮而言，人糞尿所含者較高於厩肥者。人糞尿之效力甚速，且其反應為鹼性，故為補充氮肥之不足，其功用不亞於化學肥料。

#### 石灰之施用

在培肥土壤之立場上，鈣較之一切土壤元素皆為重要。鈣最易由土壤中洗失，其結果為造成酸性土壤而破壞土壤之物理，化學，及生物性質，以減低植物之產量。但植物對於石灰之需求不等，土壤之反應亦非一固定性質，故濫投石灰不僅受無意識之經濟上的損失，且可破壞土壤之良好化學性，而減低作物之產量。設為酸性



土壤而欲種豆科作物，則石灰之施用大可增加其產量，及氮氣之固定，但施量必須適當。

### 土壤有機物之維持

土壤中必須維持一足量而且活動或有效之有機物含量。支配土壤腐植質含量之因子，不僅限於植物遺體與厩肥，綠肥等之施用量，而以此種有機物之含氮量為重要關鍵。至於土壤有機物之效力的高低，則視其所含之氮與鈣之量而定。是以土壤有機物含量與其效力之問題，含有三個要點：(1)充足之有機體之施用，(2)足量之氮的供給以維持一高度之腐植質含量，(3)足量之氮與鈣的供給，以促進微生物之作用，以增進有機物之效力。

植物遺體，厩肥與綠肥等，固可供給最廉價之有機物，但其可否增加土壤中之腐植質含量，則一視其所含之氮的量而定。腐植質有一定之氮與碳的比例。有機物於分解之時，其所含之碳的損失量，依氮之量而變異，蓋結局之物質，即所謂腐植質者，必含一1:10或1:12之氮與碳之比例量。依此比例量而言，則普通植物體之施用不能供給作物以所需之氮，故有厩肥，豆科植物，綠肥，及其他多含氮素之有機物的施用，以維持土壤有機物含量。

土壤中之有機物必須借微生物之作用，由複雜之有機化合物，變為簡單之無機化合物，以供植物取用而作食料，但分解之速效，受氮與鈣之量的支配。普通認為肥沃之土壤未必含大量之有機物，而常因鈣之含量充足，故分解迅速，而有有機物效率高。下表所列美

國二種土壤之分析，指明其一者王路希亞泥沙壤土含有機物甚多，但非沃壤，而恩塔里奧壤土，雖含有機物較少，但含鈣較多，是以生產力較前者高。

第九七表 美國紐約州恩塔里奧壤土①與

王路希亞泥沙壤土②之成分

成 分	恩塔里奧壤土	王路希亞泥沙壤土
有機物 (N×20)	3.00	5.20
氮 (N)	.15	.26
磷酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	.11	.16
加里 (K <sub>2</sub> O)	1.98	2.13
鎂氧 (MgO)	.74	.80
石灰 (CaO)	1.04	.40

鉀肥問題

黏性土壤常含鉀素甚多，故其問題為如何使其變為應用性者。若土壤中常能維持一高度且有效之有機物含量，則於其分解時所放出之二氧化碳氣的溶解力，足可使鉀礦之一部分變為水溶化合物，而足供作物之取用，故土壤有機物之維持，足可解決鉀肥的問題。惟厩肥之施用，為維持土壤有機物之要素，無厩肥施用者，或有施用鉀素肥料之必要。

沙性土壤含鉀甚少，雖施用厩肥與綠肥，亦恐不能滿足植物之需求，是以鉀素肥料之施用常為必需者。我國農民喜施草木灰，亦為補充鉀素不足量之一良法，惟草木灰之產量有限耳。需要鉀肥最

① Ontario loam      ② Volusia silt loam

多，而恆栽培於沙性土壤中之作物，首推煙草。輸入我國之化學鉀肥多銷與植煙草者。鉀肥之主要者為氯化鉀與硫酸鉀。施用之時最好與氮肥及磷肥混合施用，蓋凡缺乏鉀素之土壤中，氮與磷之含量亦低。沙性土壤，種植煙草，馬鈴薯，及蔬菜皆宜施一含鉀較多之肥料。

### 磷肥之施用

普通土壤含磷甚少，且所含者僅有微少之部分為應用性者。厩肥與人糞尿皆含磷較少。是以土壤中最缺乏之植物食料應為磷素。美國之著名農業區域，如玉米帶①，小麥帶②，牧草乳牛區③，英國之普通農田，皆以磷肥為必需者，而氮與鉀則以厩肥，綠肥等農家自產之肥料是賴。磷素肥料中之最普通者，有過磷酸石灰，磷灰石粉，骨粉等。為求速效，須施過磷酸石灰，否則施大量之骨粉於豆科綠肥作物亦為良法。

作物之價值特高者，如棉，煙草，瓜，菓，及其他特用作物，常以施用完全肥料較為適宜，故氮，磷，鉀之混合肥料不應認為普通農田之肥料，而應施於特用作物。在此種情形下，肥料之施用非一簡單問題；土壤之成分，作物之需要，為預先必須求知者，以作配合適當成分之參考。

### 輪種及其重要

數種作物，依一定之次序輪流種植，即謂之為輪種④。華南有稻，小麥，金花菜之二年輪種；華北農田有小麥，番芋（華北農民名

① corn belt    ② wheat belt    ③ dairy and pasture region    ④ rotation

之爲白薯)，高粱之二年輪種，皆可爲例。輪種之相對名詞爲連作<sup>①</sup>，即以一種作物連續種作，如西北之燕麥田，東北之大豆田，往往十數年之久，不稍變換作物之種類。

輪種之利益 輪種之利益，或連作之弊害，可分爲八項述之：

1. 工作分配之得宜 連作者，不論耕耨，播種，施肥，收穫任何一種工作，皆須於一有定且極短之時間內作之，致使忙時有缺工之虞，閒時無工可作。輪種田則可將工作均勻分配。

2. 病蟲害之節制 病蟲害所爲害之作物爲有定的，如稻之螟蟲，麥之黑穗病。換一作物即不能爲害。連作乃病蟲害繁殖之良好機會，輪種則不然。

3. 害草之節制 麥田之野蒜，穀田之莠，稻田之稗，皆爲不易消滅之害草，蓋其種籽之成熟期，及其他生長需求，與其同處之作物者相仿，故除改換作物外，無他良法。輪種中若包含一豆科作物，如金花菜，紫雲英，苜蓿等生長最密之作物，由於食料，日光，水分等之競爭，不與害草以生長之機會，故害草自滅。

4. 根部深度之更換 一種作物僅可於一有限制之土壤範圍內吸收食料。連作必使根部所佔據之範圍內之植物食料用盡，而此範圍以外者不能得以利用。

5. 良好耕性之維持 一種作物連作，所需之耕耨工作爲單調的，不若數種作物輪種之，可與土壤以連續的及不同樣的耕耨工作，以促成團粒構造。美國伊里諾州試驗場之一田中，曾連作玉米

① continuous cropping

數十年之久，其土壤密結，表面每於雨後變光滑而堅固。其又一田爲玉米與燕麥輪作，土壤耕性雖不良善，但不若玉米連作者之變劣。其又一田爲玉米，燕麥，及金花菜輪作，此田乃能長久維持一良好耕性。深根之豆科作物爲改良土壤耕性之要素。

6. 維持土壤有機物成分 良好之輪種，以維持土壤有機物成分爲一重要目的。而欲達到此目的，以於所用之作物中，包含一豆科作物，以作綠肥，爲惟一之辦法。

7. 植物食料消耗之調劑 各種作物不需同樣及等量之植物食料。連作必可使所種作物需求最多食料於短期內用盡而減低產量。

8. 較大之收穫量 輪種之利益，在實際上，爲土壤生產力之維持，俾各種作物之產量皆不致降減。英美各國之試驗場已有數十年之試驗結果，證明輪種之優於連作，茲舉其數者以供參考。

(1) 美國歐海歐試驗場三十年之平均，連作者每年每英畝施厩肥五噸，輪種者每五英畝施厩肥十六噸，即每年平均爲三又五分之一噸，是以較連作所得者較少，但產量則仍以輪種者爲高。

每英畝平均產量(英斗)

	小麥	燕麥	玉米
連作	19.4	37.8	33.8
輪種	23.5	43.7	51.3

(2) 英國羅塞模斯台得試驗場七十餘年之平均產量爲如下列：

(每英畝之英斗數)

小麥連作	小麥連作間以蕪田	小麥輪種
11.3	14.0	24.0

衛爾<sup>①</sup>曾將英美各試驗場之長期試驗結果，作一有系統之研究，而將輪種之利益總為下列四條：

(1) 對於玉米，燕麥，小麥之產量的增加，輪種之效力約為厩肥，完全人工肥料者之百分之九十。對於此三種主要作物之產量的維持，則輪種之效力約為百分之九十五。

(2) 輪種之利益不與厩肥及完全人工肥料者相抵觸，換言之，即輪種之利益不為厩肥或完全人工肥料所代替，而輪種亦不能使厩肥或完全人工肥料之施用變為不需。

(3) 若以輪種與厩肥及完全肥料相比，凡對含石灰量充足之土壤，輪種之影響高於厩肥或完全肥料者百分之二十。

(4) 農業歷史悠久之土壤，最大利益之獲得為輪種，厩肥，及人工肥料俱用。

### 總 論

土壤培肥為一極複雜之問題，其中所含之因子非僅限於土壤與作物方面，農業經濟的關係至為重要。茲僅就土壤立論，總其要點於下：

(1) 土壤中必須含充足之水分，空氣與植物食料，以獲得溫度所許可之最高產量。溫度限制土壤生長作物之時間。東北與西北各省，每年之植物生長期僅有四個月，故每年僅可生長作物一次，若此一次之收穫，因土壤之關係而失敗，則事實上為一年之失敗。長江以南各省，氣候溫暖，年可三熟，然植物食料之消耗為量亦大，若不能維持土壤之生產力，即不能利用溫暖之氣候。

① Weir, W. W.

土壤中之空氣與水分量為相對的，二者皆存在於土壤之孔隙中，空氣之量增加，水分量必減低。土壤之孔隙量依土粒之體積與排列法而決，最適宜者為壤土。

(2) 水分，空氣，及植物食料之供給必須迅速且不間斷，俾作物可生長自如而不受阻。空氣不論任何期間皆須充足。水分於迅速生長與氣溫高時最為重要，將近完成成熟期時，即可減低。植物食料以生長之初期四五週內最為重要，尤以氮為然。

(3) 根部必須得充分之生長機會，因此而對於大多數作物之生長，充足空氣供給為必需者，是以土壤不應含過量之膠體物，然設膠體物太少，則恐水分有不足之虞，蓋植物所取用之水分大部分聚於膠體物之表面。土壤膠體之狀態亦頗重要，羣散狀態之膠體不若羣集狀態者適於根部之發達。

(4) 以代換性鹽基之情形而論，鈣黏土為最適於作物之生長者。鎂，鈉，及氫黏土為自然情形中所常有者。氫種土壤亦可生長作物，但除特殊之作物外，難得良好之收穫。因此而使鈣變為土壤元素中之最重要者。

(5) 植物之殘餘體遺留於土壤之表面，蚯蚓與螞蟻等土壤動物將其攜帶於土壤中，變為土壤中之有機物，供給土壤微生物以力，高等植物以食料。土壤微生物得有有機物後即迅速繁殖，變有機化合物為簡單之無機化合物，尤以  $\text{—HCO}_3$ ， $\text{—SO}_4$ ， $\text{—NO}_3$ ， $\text{—PO}_4$  等陰電離子所關為切。此種陰電離子之生成，即使等量之陽電離子入於溶液中。土壤微生物之作用，不僅可因四季氣候之變化而趨異，今日者可與昨日者不同，是以土壤溶液中之植物食料的含量與種

類可常時有所變化。最肥沃之土壤，即所生成之應用植物食料，除其一部分為微生物所吸收外，所餘者尚足供作物之需用。

(6) 雨水降落於土壤之表面，代換土壤溶液，溶解土壤礦物；於其滲過土壤層時，攜帶大量之鹽基，植物食料，及有機物於地下水中而損失之。此作用於鈣之含量變低時，更可加速工作，如此而使土壤之生產力下降。但同時植物之根部由下層土中吸收植物食料及鹽基等，儲存之於枝葉中，枝葉脫落之後，復歸還於表土中。是以鹽基與植物食料常成循環狀態；雨水將其向下滲洗，根部將其向上移運。若滲洗作用甚烈，則向上之移運不能抵向下之滲濾，是以雨水甚多，或下土太鬆，或斜度太大，則表土可損失鹽基而發生酸性反應；與損失植物食料，而減低肥沃度，但下層或低處之土壤則增加肥沃度。華南土壤凡山坡者多為酸性，谷中土壤常較為肥沃。河塘之泥用作肥料亦根據於此原理。至於肥沃之土壤，其損失既可由細菌及其他微生物之作用而補足，復可由高處得鹽基與植物食料。大多數之山谷中之稻田，及華北之灌溉田，常有不需多量或竟概不施肥料者，即屬於上述之肥沃土壤。華北之以河水灌溉者，因河水中含泥沙黏土甚多，(以容量計算，有三分之一為泥沙黏土者)每於灌溉之後，田中即增添新的植物食料。農民之習慣，每於收穫後，引水灌田，將根葉野草及其他有機體埋覆於泥沙黏土之下，是以有機物之含量亦可維持。

上述情形可析為四種狀態：

(甲) 損失超過歸還：土壤漸失其鹽基，變為酸性，而漸現灰土之性質。華中之長江兩岸多為灰土，東三省亦甚多，錢塘江流域亦多灰土。杭州之平地土壤為灰土化土壤。若此情形發生於熱帶區域，則所損失者為矽與



鹽基，並由於鐵之聚積而生成磚紅土。廣東廣西之磚紅土，面積甚廣。浙江省之高地多為磚紅土化土壤。

(乙) 損失約與微生物作用及礦物風化所歸還者相抵：此為棕色土及棕色林地土之情形，此種土壤較為固定，易變為肥沃者。山東，河南，河北，遼寧多有此種土壤。

(丙) 雨水之作用甚微：除水溶性鹽類外無其他損失，但足可供天然草原之生長，使有機物可聚積至相當程度。此為黑土之情形，乃固定而且肥沃之土壤。東北與西北各省皆有此種土壤。

(丁) 雨水不足：在此種情形下，植物之生長有限，有機物為螞蟻及其他動物所破壞，故土壤缺乏腐植質，此為鹽土。若能灌溉可變為沃壤，但有變為鹼土之危險。

灰土之培肥以中和酸性與增加黏土成分為主要工作。中和酸性之方法為施用石灰，而增加黏土則賴深耕。人工肥料之施用似為必須，蓋亦由於滲洗之強烈，植物食料不易儲存也。

紅土之培肥以中和酸性，增加有機物及施用人工肥料為主要工作。有機物以厩肥及綠肥為最佳。

棕土與黑土之天然肥沃度甚高，其問題大部分為水分與溫度的不足，故其培肥之要點為勤於耕耨，施用厩肥，利用輪種，以使土壤中之各種作用呈活動現象。

鹽土之天然肥沃度甚高，若能隔絕鹽質之來源，施以適當之灌溉，則其餘者皆為易於解決之問題。

土壤自然之肥沃度，由於農作的關係，逐漸降落以至不能與農

民以經濟利益之程度，名之爲土壤困乏<sup>①</sup>。其生成之原因爲由於植物由土壤中所吸收之食料未能歸還於土壤中，以致鹽基與植物食料之循環破壞。是以在自給自足之舊式農業情形下，土壤之損失較少，土壤不易變爲極端困乏者。自十九世紀工業與交通發達以來，鄉村之優秀份子向城市遷移，自給，自足而且自耕之勤懇農戶日見減少。佃農之弊爲用盡不良之方法，剝奪土壤之生產力，而以其出產品售於城市，對於土壤既無愛惜，則於其困乏之後，不妨改佃他人之田，復行其慣技。我國今日正向工業化之途徑突飛孟晉，交通建設大有一日千里之勢，然國家之命脈實寄於農村，而農村興衰視土壤之生產力而定。農學者當如何以解決培肥我國土壤之問題，豈非目前之要務。

#### 參考書：

- Brown, P. E.: The Soil Type as a Factor in Soil Fertility Studies. *Proceed. 1st. Inter. Cong. Soil Sci., Comm. IV.* pp. 442—449. 1928.
- Lipman, J. G., Blair, A. W., and Prince A. L.: The Influence of Manure, Commercial Fertilizers, and Lime on the Chemical Composition of Field Soils. *Proc. 1st. Inter. Cong. Soil Sci., Comm. IV.* pp. 454—465. 1928.
- Lyon, T. L., and H. O. Buckman: The Nature and Properties of Soils. *Chapt. VI.* The Macmillan Co. New York. 1930.
- McCall, A. G.: Green Manuring Crops for Soil Improvement. *Maryland Agr. Exp. Sta. Bul. 268.* 1927.
- Mosier, J. G., and A. F. Gustafson: Soil Physics and Management. *Chapt. XXVIII, Appendix I.* Lippincott Co., 1917.
- Powers, W. L.: Preservation of Soil against Degeneration. *Soil Sci.* 37:333—343. 1934.

① soil exhaustion

- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., VIII. Longmans Green Co. London. 1932.
- Stewart, R.: The Illinois System of Permanent Soil Fertility as Developed by C. G. Hopkins. Ill. Agr. Exp. Sta. Cir. 245, 1920.
- Weir, W. W.: A Study of the Value of Crop Rotation in Relation to Soil Productivity. U. S. D. A. Dept. Bul. 1377. 1926.

劉和 土壤學 卷上 第十二節,第十三節 商務印書館 民國二十四年

## 第十七節

### 特別土壤之改良

所謂特別土壤者,指其具有特別性質,不利於植物之生長,非以人工方法改良之,即不能用為農田者而言。酸土,鹽土,鹼土,沙土,黏土,有機質土,及由於特種原因致使廢棄之土壤皆屬於此。

酸土,鹽土,與鹼土之改良法已詳述於前,(第十,十一,及第十二節)僅將其他者分別述之。

### 沙土

海洋之濱,江河兩岸,及沖積平原之地,常有極廣大之沙田。此種土壤之主要成分為石英粒,其在乾燥環境中者,成白色或黃白色,雨水稍充足之區,沙粒之表面附以鐵化合物而使沙粒現黃色或紅黃色。沙田亦有黑色者,若沙粒扁而有反光,則為雲母沙,若沙粒無一定形態,則為磁鐵沙。

沙土之特性 沙土之最大缺點為所含膠體物太少,以致(1)不能保存水分,(2)不能保存植物食料,(3)空氣流通過速,(4)有機

物分解迅速，且分解生成物易於損失，(5) 土壤溫度變化甚速。此種特性所致之結果為使植物不易覓得水分，故普通沙田僅可生長沙漠植物。若雨水充足，則水分雖不缺乏，但植物食料必不足用，故植物矮小，葉面黃瘦。

沙土之改良 改良沙土之惟一原則為增加其膠體物含量，但在實施上應用何種方法，則一視情形而定。

1. 淤泥 華北之灌溉區，每引含泥沙及黏土甚多之河水灌入沙田，使沙之上積以一尺至二三尺厚度之泥沙及黏土，迨水分滲失或過量之水分蒸發後，即可耕作與播種。此方法常可變沙漠為沃壤。綏遠之河套區，河北省之永定河灌溉區，山西省之汾河灌溉區，陝西省之渭河灌溉區等，凡有沙田，可引河水以淤泥沙。上述各河流所攜之泥沙與黏土，以容積計，常可至三分之一，是以灌以三尺之水後，沙田即可得一尺厚度之黏泥，沙之劣性完全消除矣。

2. 施用河泥 華南農民每由池塘或河底掘取河泥，堆於地面以肥其田。桑田梅園之中，因河泥每堆於樹底，致使樹下成丘形。華南凡平原之地，其土壤皆有灰土化傾向，黏土與水溶鹽類向下沖洗，留沙粒於表土中。施用河泥即以人工方法復還土壤由於自然的作用所損失之物質也。

3. 施用泥灰 英諺有云，施泥灰於沙田，等於購買良田；施泥灰於泥炭，或可不遭損失；施泥灰於黏土，不免工廢地毀。沙田之附近若有泥灰，大可取之以改良沙田。

4. 去沙 華北凡大河附近之果園，每因冬季氣候風之吹動，將

河沙堆於其中。春季雨水增加，風力減殺之後，農民即將所堆之沙收括而運之園外。在此種情形下固以消除沙之來源為治本方法，例如植樹於河邊以阻止沙之流動，惟於無法達此目的時，亦僅可忍極大之勞苦，運沙外出。

### 黏土

黏性土壤未必皆不適於農作物之生長，故黏土之不良，非由於膠體物之量的過多，而由於其態的關係。劣性黏土之膠體物成分散態，致使水分不易流通，濕時泥濘不能工作，乾後結成大塊，使植物根不能得以發展。總之劣性黏土之特性正與沙土者相反，故改良之原則為使其疏鬆，透水及流通空氣。惟改良沙土之工作大半屬於機械的，而改黏土則為化學工作。黏土之改良法視其生成之原因而定。

(1) 黏土之來源為灰土或灰土化土壤之表土被水沖失，使 B 平際暴露於表面。此種土壤黏性極強，結構密實，其有機物含量高低無一定標準。凡原灰土之屬於腐植灰土者，有機物之含量可高，若屬於鐵質灰土，則有機物含量低微。此種土壤所缺乏者為沙土，石灰，及充分之風化作用。至於植物食料方面，則氮磷鉀有時皆可缺乏，惟磷為最缺乏者。對於此種土壤之最佳的肥料為厩肥與磷肥。厩肥可補充氮與鉀之不足，復可介紹有益細菌以促速風化作用。改良此種土壤之步驟，首要者為深耕，使原 C 平際之物質與黏土混合，並將黏土層破壞以利水分之流動。除深耕外，則為施用石灰以中和酸性。若由此二種工作而可改良其物理性，則必可見雜草叢生。經過

相當之時間後，由形態上之觀察，例如土粒變為團粒，土色上下一致等，指明風化工作已有相當之進步，則可將雜草耕入土壤中，然後施以所需之肥料而種植普通農作物。

上述之黏土常因水面太高而致不能利用。若然則排水為第一要務，水有去路後，始可施以改良工作，否則不能收改良之效。

(2) 黏土之來源為由於森林之被燒，使土壤中之有機物損失殆盡，不能供給氮素以供野草生長，土面長久損失保護體，以致冲刷損失逐漸增加，造成廢地。此種土壤多見於華南高原之地，其色紅或黃，含黏土成分可在 50% 以上，然其物理性甚佳，排水甚易，但酸性反應甚強，且磷肥之含量亦特別微少。改良此種土壤之要務為中和酸性，施用磷肥，及種植綠肥作物以恢復其必需之有機物成分。此種土壤所需之磷肥以磷灰石粉優於過磷酸石灰，蒸骨粉優於磷灰石粉。綠肥作物當以屬於豆科者較優於禾本科或十字花科者，蓋氮素之增加亦為必需者。

(3) 黏土之來源為由於鹼性反應，使土壤膠體分散，生成不透水分之黑色黏土。改良此種土壤之方法，與改良鈉黏土者相同。(見第十二節)

(4) 黏土之來源為河水所冲積者。河水之冲積工作常使黏土與細沙間疊成層。若表面為黏土，則不免在耕耨上有相當之不便。惟按作者於華北各冲積平原所見者，僅於夏秋二季，因雨水較多，黏土中之電解物與排水流失，使膠體分散而現泥濘狀態。冬春二季，雨量甚低，毛細管水分將電解物向上攜帶，於是黏土復可成團粒構

造。故此種黏土僅於秋季收穫之時，每不利於工作，至於播種及幼苗之生長不受阻礙也。

農民每於此種田中施以煤渣以中和黏性，但若有改良之需要時，以於春時深耕，使表層之黏土與下層之細沙混合，加厚表層之深度，以及於秋季斷絕或減少灌溉水量以保存電解物為最佳之方法。

### 有機質土壤

以有機物含量為依據，土壤可分為二種，即礦質土壤①與有機質土壤②。礦質土壤含不等之有機物量；最少者僅有微許，而最多者可超過 15%。有機質土壤含大量之有機物；最多者可超過 95%，最少者亦可在 20% 以上。普通以 80% 為有機質土壤之有機物含量。

有機質土壤雖在農業上不若礦質土壤之重要，但其所佔之面積亦頗可觀，且其於改良之後可產極佳之蔬菜，故其利用早已引起社會之注意。美國米西干州之芹菜與葱頭行銷全球，即改良後之有機質土壤所產者。

有機質土壤之面積 按亞爾衛③之報告，世界各國之有機質土壤面積約為如下：

德國	5,000,000 英畝	加拿大	22,000,000 英畝
瑞典	12,000,000 英畝	愛爾蘭	3,000,000 英畝

美國各州之有機質土壤面積約為：

① mineral soil      ② organic soil      ③ Alway, F. J.

<u>明尼蘇達</u> 7,000,000 <u>英畝</u>	<u>歐海歐</u> 175,000 <u>英畝</u>
<u>衛斯康新</u> 3,000,000 <u>英畝</u>	<u>愛奧渥</u> 500,000 <u>英畝</u>
<u>紐約</u> 400,000 <u>英畝</u>	

我國華南，東北與西北各省均有大面積之有機質土壤，其利用有研究之必要。(關於有機質土壤之生成見卷上 96—97頁)

有機質土壤之分類 有機質土壤之初步的分類，為以其分解程度為依據，而分為泥炭<sup>①</sup>及腐植土<sup>②</sup>。泥炭為分解程度較淺者，其植物遺體之枝葉的形態尚可分辨。若分解程度已進步，植物遺體之形態已不可分辨，而土壤體現一致之構造，結構，與組織者，即為腐植土。亦有依有機物之含量而分類有機質土壤者。凡含有有機物在 50% 以上者，屬於泥炭，而其在 50% 以下者，屬於腐植土。然依此分類，則大部分之需要改良的有機質土壤，均屬於泥炭，而在事實上與農業的價值上，有機物之含量為次要問題，惟有分解已進步之有機質土壤，始有改良價值，是以美國學者與農人皆以組織一致，空氣流通之有機質土壤名之為腐植土。

腐植土之分類 達希那衛斯基<sup>③</sup>曾擬一根據有機物之來源的腐植土壤分類法。此法分腐植土為四種：

1. 深水腐植土<sup>④</sup> 其所生長之植物為野蓮花，車前子之類。此種腐植土質細而體柔。

① peat

② muck

③ Dachnowski, A. P.

④ deep water muck



2. 低澤腐植土<sup>①</sup> 其所生長之植物為灌木及水苔。
3. 濕地腐植土<sup>②</sup> 其所生長之植物為貓尾草，蘆葦，篩草等。此種腐植土中常含未腐爛或半腐爛之根枝，使其成纖維狀。
4. 林地腐植土<sup>③</sup> 其所生長之植物為森林，針葉與闊葉皆可。此種腐植土中可含有未分解或半分解之樹身，亦可有完全分解為柔而細之一致的組織者。

達氏之分類曾獲得一般美國學者之贊許，惟賴昂與博克曼則以腐植土之分類中應包含深度及分解程度。若深度有限，而上一致，必可易於改良。但大多數之腐植土皆甚厚，且由其生成之過程觀之，其剖面各部未必皆含同樣之植物遺體，凡遇變化必可影響於改良上應採之步驟，與改良後應種之作物及其產量。至於分解程度則為決定腐植土之有否改良價值的主要因子。是以達氏之分類未能表明腐植土之農業價值也。

哈摩<sup>④</sup>謂腐植土之顏色與分解程度，雖皆應認為分類上之依據，但此種性質為臨時的，腐植土一經改良之後，顏色與分解程度皆變化甚速，且在利用方面，較為重要之因子為深度，石灰含量，肥料需求等。哈氏依此原理乃分類美國米西干州之腐植土為三組如下：

#### I. 低石灰組 (酸度; pH 4.25 以下)

- ① bog muck    ② marsh muck    ③ swamp muck    ④ Harmer, P. M

1. 石灰需量：爲普通作物之栽培，每英畝需 4 至 8 噸。

2. 肥料需求：氮，磷，鉀皆需。

3. 深度：中常 (25—36英寸)；深 (37英寸以上)。

## II. 過度組 (酸度；pH 4.25 至 5.25)

1. 石灰需量：依作物與改良程度而定。改良程度愈進步者，所需愈少。

2. 肥料需求：磷酸與加里。

3. 深度：極淺 (1—12英寸)；至深 (37英寸以上)。

## III. 高石灰組

### A. (酸度；pH 5.25 至 7+)

#### 1. 肥料需求：

(a) 新近改良者：普通無特別之肥料需求。

x. 深度極淺：經數年之耕種後，腐植土即不復可見。

y. 深度極淺：中常及深者，經數年之耕種者後即變爲

(b) 或 (c)。

(b) 老舊腐植土：需要鉀肥。耕種數年後，磷肥亦可變爲需要者。

x. 深度：中常或深。

(c) 老舊腐植土：磷酸與加里皆需。

x. 深度：極淺至深。

### B. (鹼度；pH 7 + )

1. 肥料需求：施用厩肥與種植綠肥似爲最簡捷之培肥法。

於栽培作物之時，完全人工肥料或有施用之需要。

腐植土之物理性 深黑顏色為腐植土所特具之性質。有機物於分解之際，生成黑色之腐植化合物。土壤中之膠體複合物於是以前腐植質為主要成分，而使土壤現深黑之顏色。

極低之比重亦為腐植土之特有性質，每立方英尺僅重八至十六磅，以之與礦質土壤相較，僅及四分之一。每英畝之腐植土，表層6英寸之深度僅重五十至六十萬磅。

腐植土雖比重極低，但吸收水分之力則甚強。礦質土壤僅保存其重量之五分之一至五分之二之水分，腐植土所可吸收水分之重量可二或三倍其乾物質量。此強大的保存水分力為膠體物含量高之徵象。在農業上，為蔬菜之生長，腐植土所以優於礦質土壤者，以充足之水分供給為一主要因子。

腐植土之良好的物理狀態為其第四個特具之性質。有機物分解所生成之膠體物，有極強之吸收力，但黏着力與塑度皆甚低，可謂為有膠體之益而無膠體之害，能使腐植土長久維持一團粒構造與多孔及疏鬆之良好耕性。惟於乾旱之時，腐植土之水分損失，由於體鬆質輕之故，若受風吹，即順風向而流動，作物失其掩護，非使根部暴露，即全部埋沒於腐植土之下，可釀成極大之損失，且亦易於着火，部分的或全部受燃燒之損失。

腐植土之化學成分 腐植土之成分雖不若礦質土壤者之一致，但頗能表示其自有之特性，可於下表見之：

第九八表 有機質土壤之代表成分(百分率)

來 源	有機物	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
明尼蘇達(低石灰)	93.0	2.22	.18	.07	.40
明尼蘇達(高石灰)	79.8	2.78	.24	.10	3.55
米西干(低石灰)	77.5	2.10	.26	.....	.16
米西干(高石灰)	85.1	2.08	.25	.....	6.80
德國(低石灰)	97.0	1.20	.10	.05	.35
德國(高石灰)	90.0	2.50	.25	.10	4.00
奧國(低石灰)	93.3	1.40	.10	.06	.45
奧國(高石灰)	83.8	2.10	.18	.13	2.38
明尼蘇達(低有機物)	59.7	2.35	.36	.17	2.52
明尼蘇達(高有機物)	94.0	1.70	.16	.04	.31
佛拉里達腐植土	68.4	2.63	.20	.17	.....
加拿大腐植土	74.3	2.19	.20	.16	.....

上表所列之結果表明腐植土所含之有機物及氮皆甚高，且碳與氮之間亦無比例的關係。雖分解程度已進步之腐植土，其氮與碳之比例亦甚寬。此種情形對於硝之聚積有何影響，因研究缺乏之故，未能確定，但硝化作用進行如常，亦可生成大量之硝，惟過量之碳亦有相當之阻力也。總之腐植土中之生物狀態不與礦質土壤中者相似，故由礦質土壤之研究所得之結果未必完全適用於有機質土壤也。

腐植土之磷酸及加里成分皆甚低，而鈣之含量則差別甚大。哈摩之腐植土分類依據鈣之含量與磷鉀之需求情形，乃一化學成分的分類，對於改良之措施上頗有價值。

腐植土之成分雖不一致，但可擬一代表成分以與礦質土壤者作比較，俾可明瞭二者間之主要差別。下表所列為賴昂與博克曼所擬者。讀者須知表中所列各數目字並不代表一指定之土壤的成分，

亦非數種土壤之平均成分，乃一般之成分，用之以作比較耳。

第九九表 腐植土與礦質土壤之擬定代表成分

成分	腐植土	礦質土
有機物	80.00	4.00
N	2.50	.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.20	.15
K <sub>2</sub> O	.10	2.00
CaO	無定	.40

於比較上表所列之數目字時，須知腐植土之比重僅及礦質土壤者之四分之一。例如腐植土之含磷成分普通皆高於礦質土壤者，但以每畝所含之斤數計之，則腐植土所含者甚少，按賴昂與博克曼之計算為：

礦質土壤每英畝含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3,000 磅。

腐植土每英畝含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1,200 磅。

上列之數目字不僅能表明該二種土壤之化學成分上的差異，且指示在培肥方面所應用之方法必須與應用於礦質土壤者不同。

高石灰與低石灰腐植土 腐植質之有效鈣含量與其生產力有重要關係。石灰不僅為必需食料中之一者，且可中和酸性，促進細菌之工作效率，及改善膠體之吸收現象，例如代換性食料之解放。是以石灰之施用即增加腐植土之應用植物食料供給力也。惟僅酸性腐植土需要石灰，故有以石灰之含量為依據而分類腐植土之必需。

高石灰腐植土為 CaO 含量在 1.50% 以上者。此種腐植土雖有酸性反應但無施用石灰之需要。腐植土之 CaO 含量在 .60% 或 .08% 以下者，必有強酸性反應，不施石灰不能得滿意之收穫，故

列於低石灰類中。二者之間尙有一中間性者，其反應爲酸性或強酸性，但石灰是否必須施用，則須由試驗中得之。

施用石灰以中和腐植土之酸性，早被一般改良腐植土者認爲一種必需之工作。惟測礦質土壤之石灰需求量的各方法不能應用於腐植土。例如亞爾衛<sup>①</sup>所得者，一腐植土，其表層之 pH 價爲 3.81，除馬鈴薯外，其他普通作物皆不能生長。另一相似之腐植土，其 pH 價爲 4.10，則雖種植苜蓿與金花菜，亦不需石灰。分析二者之 CaO 含量，乃知前者爲 .38%，而後者爲 1.09%。是以腐植土之需求石灰與否，非以酸度而以有效石灰之含量爲決定因子。

#### 腐植土之改良

腐植土之改良價值 腐植土之農業價值由數種因子決定之。首要因子爲排水之難易；腐植土之所以生成，乃由於潛水面之過高，使植物之遺體不得氧氣，因而細菌不能作分解工作。改良腐植土之要點爲促速分解作用；使潛水面下降，俾作物之根部不致受水之淹沒，是以排水爲必需之工作。至於排水之後，潛水面距土壤表面之深度應至何種程度，各研究家之意見未能一致。賴昂與博克曼曾云，於作物生長期內，若能隨意昇降潛水面，可得相當之利益。例如芹菜於移植時，需高水分，於生長進展之際，潛水面逐漸下降，以利根部之發展。哈摩則謂於退水之後，若能維持一固定之潛水面深度，較之時昇時降者爲佳。例如潛水面在二英尺深度而不變化者，最適於馬草，金花菜等，昇至一英尺，或降至四英尺，皆可影響

① Alway, F. J.

產量。排水之難易，維持潛水面所需之設施，應為決定腐植土之農業價值時之首要條件，必須加以嚴格的考慮。

腐植土中普通以林地腐植土為最佳，但去除林木之花費可至若何程度，必須於未施改良工作之前與以詳細之計算，若木料可得其用，則清理林木之費用可大加減縮。

腐植土之深度關係於其農業價值至為密切。排水之後，首數年內，腐植土之容積可大加收縮。收縮之後必須保存三尺以上之有機物，否則改良花費可完全損失。腐植土之下恆有不透水之黏土層，植物根部不能穿伸，故腐植土之厚度必須常時足供根部之發展。

腐植土於改良之後，以種植蔬菜最為適宜。但蔬菜必須有市場，且運輸亦須便利。美國米西干州之芹菜與蔥頭行銷全球。我國公路交通日益發達，而城市之發達突飛孟晉，品質優良之蔬菜供給，必可有相當之需要，是以凡交通便利之處，若有可改良之腐植土，皆應與以研究。

除蔬菜外，玉蜀黍，燕麥，蕎麥，麻，牧草等皆為腐植土之良好作物，是以無蔬菜市場之處之腐植土亦有改良價值。

改良腐植土之步驟：

1. 清理林木與其他植物 腐植土所生長之植物的去除為改良工作之第一步。我國人工甚廉，故清理工作可完全依賴人工。

2. 排水 排水為水利工程中之一專門科學，然為普通之用，將田中掘出明溝，使水得去路即可。

3. 放牧 排水之後，最好放牧數年，利用家畜之踐踏，以使腐

植土促速收縮作用，而家畜所遺之糞尿亦可助分解工作。樹草之根亦可得分解機會，俾於預備播種之時，易將其去除。

火燎 早春之時腐植土含水甚多，可將其表面之灌木，草藥等以火燒之。然於乾燥時爲之則有引燃腐植土之虞。

5. 犁耕 犁耕以愈深爲愈佳，且以秋季作之更爲有益，蓋冬季時凍時消之影響可使腐植土變緊。

6. 播種 腐植土於首數年內以種植玉米，燕麥，黑麥爲較佳。

7. 栽培蔬菜 腐植土於分解進步之後，樹根灌木均已去除即可用之以生產蔬菜。

8. 緊壓 良好之腐植土無逐年犁耕之需要，但須緊壓之，俾根部可與土粒密切接觸，且可減低風吹之害。

腐植土之培肥 腐植土之化學及物理性既與礦質土壤者迥然不同，故其肥料需求亦當然有異。概言之，施用腐爛厩肥，常可獲得良好結果。厩肥除可供給應用植物食料外，尚有促速分解之效力，增加有機物所含之碳，氮及其他元素之應用度。關於厩肥促速腐植土分解速率之原因，有謂由於厩肥所介紹之細菌的作用，但施用殺菌後之厩肥，亦曾得有良好結果，一若施用未殺菌之厩肥者。溫得客衛<sup>①</sup>以爲厩肥之功用爲供給有效碳素。

石灰之施用，可促進菌與細菌之繁殖，但施量須由腐植土之CaO含量與實地試驗求得之。

除厩肥與石灰外，人工肥料亦常有需要，尤以磷鉀爲然。下表所列爲卜浪之美國愛奧渥州所得之結果的一部分：

① Vandecaveye, S. C.



第一〇〇表 表示磷肥之效力

處 理	玉蜀黍產量
無肥	32.5 英斗
過磷酸石灰每英畝 200 磅	63.7 英斗
氯化鉀每英畝 200 磅	33.7 英斗
過磷酸石灰每英畝 200 磅+	
氯化鉀每英畝 200 磅	61.2 英斗

上表所列之結果指明磷肥之施用曾增加產量一倍，鉀肥則未能有何等效力。

第一〇一表 表示鉀肥之效力(施量與上表同)

處 理	產 量
無肥	7.5 英斗
過磷酸石灰	17.5 英斗
氯化鉀	47.5 英斗
過磷酸石灰+氯化鉀	80.0 英斗

上表所列之產量指明鉀肥之施用已能增加產量約七倍，但磷鉀並施，則產量增至十倍以上。

若以腐植土栽培蔬菜，則磷鉀外，氮肥亦常有施用之需要。賴昂與博克曼所擬之腐植土肥料成分為：

1. 不需氮肥者：0—8—12，0—10—10，0—12—18(註一)
  2. 需氮肥者：3—12—18，5—10—5，15—30—15，5—10,15
- (註一) 見劉和，肥料學講義，76頁。

### 總論

特別土壤所以不能用為農田之原因，大都由於植物生長因子中之一者或數者不能滿足植物之要求；例如空氣，水分與植物食料均可因土壤之組織上或成分上之特別使給源受阻。土壤中亦可因

某種成分含量過度之故，發生毒害植物之烈性，例如氫離子，氫氧離子，鋁鐵之水溶態化合物，水溶性鹽類，銅，鋅，錳等之水溶態化合物，及各種可毒害植物之有機化合物，致使生產力銳減及至廢棄者。凡上述情形皆可由植物之受害情形與土壤之分析研究求得之。故特別土壤所以不生產之原因頗易求得，惟於求得之後，是否能以最經濟且有效之方法將其改善，則非經驗有素之專門學者慎重考慮不易奏效也。

參考書：

- Stevenson, W. H. and Brown, P. E.: Fertility Studies on Some Iowa Peat Soils. Proceed. 1st. Inter. Congr. Soil Sci., Comm. III. pp. 442—449. 1928.
- Dachnowski, A. P.: Factors and Problems in the Selection of Peat Lands for different Uses. U. S. D. A. Dept. Bul. No. 1419. 1923.
- Harmer, P. M.: Investigations in the Management of Michigan Muck Soils for General Crop Production. Proceed. 1st. Inter. Congr. Soil Sci., Comm. III, pp. 492—497. 1923.
- Hayes, H. K. et. al.: Crop Investigations on Peat Soils, Mich. Agr. Exp. Sta. Bul. 292. 1932.
- Lyon, T. L. and Buckman, H. O.: The Nature and Properties of Soils. Chapt. IX. The Macmillan Co. New York. 1930.
- Russell, E. J.: Soil Conditions and Plant Growth. 6th. Ed., VIII. Longmans, Green Co., London. 1932.
- Thorp, James: The Major Soil Groups of China. Peking Natural History Bul., Vol. 9, part 2, pp. 77—83. 1934.
- Vandecaveye, S. C.: Effects of Stable Manure and Certain Fertilizers on the Microbiological Activities in Virgin Peat. Soil Sci. 33:279—299 1932.

劉 和 土壤學 卷上 96—97 頁 商務印書館 民國二十四年

劉 和 肥料學講義 76 頁 中華農學會 民國二十二年

# 附錄一 參考著者索引

## A

Allard, H. A. 266  
 Allison, R. V. 297  
 Alway, F. J. 329, 336  
 Anderson, M. S. 125  
 André, G. 66  
 Arrhenius, S. A. 170  
 Atkins, W. R. G. 148

## B

Basu, J. K. 103  
 Bauer, C. F. 158  
 Baule, B. 141  
 Baumann, A. 182  
 Bemmelen, J. M. van 8, 31, 92, 132  
 Berthollet, M. 66  
 Berthollet, C. 220  
 Bertrand, G. 269, 296  
 Berzelius, J. J. 65  
 Billmann, E. 195  
 Bizzell J. A. 307  
 Blackman, F. F. 140  
 Bolley, H. L. 251  
 Bonwitz, W. 289  
 Boredin, 266  
 Boresch, K. 296  
 Bouyoucos, Georg. J. 33, 117, 121  
 Boussingault, J. B. 138  
 Boyle, Robert 170  
 Bradfield, R. 30, 32  
 Bray, R. H. 148  
 Breazeale, J. F. 149, 238, 291  
 Brencley, W. E. 262, 269  
 Brigando, J. 73  
 Briggs, G. E. 116  
 Brown, P. E. 144  
 Brown, S. M. 99, 225  
 Buchman, H. O. 309, 311, 331, 334  
 Buchner, T. F. 149  
 Burd, J. S. 115, 127, 306  
 Burgess, P. S. 213

Eutkewitsch, W. 143

## C

Cailletet, L. 269  
 Cameron, F. K. 115, 126, 182  
 Cannon, W. A. 260  
 Charlton, J. 176  
 Christie, 207  
 Clark, H. E. 272  
 Clarke, F. W. 2, 6, 133  
 Clausmann, P. 299  
 Cole, J. S. 256  
 Comber, N. M. 110  
 Crowther, C. 134  
 Crowther, E. M. 38  
 Crowther, S. M. 103

## D

Dachnowski, A. P. 330  
 Damon, S. C. 187  
 Daubrée, A. 7  
 Davy, H. 202  
 Davy, J. B. 228  
 Deatrick, E. P. 297  
 Denolon, A. 73  
 Demoussy, E. 292, 297  
 Deniges, G. 148  
 De Saussure Th. 43, 138  
 De Sigmond, A. A. J. 223  
 Doak, B. W. 301  
 Dox, A. W. 144  
 Düggeli, M. 51  
 Duley, F. L. 129  
 Dunnewald, T. J. 157  
 Dupont, C. 298  
 Dusserre, 284  
 Dvůrák, J. 47  
 Dyer, B. 147

## E

Earl of Dundonald, 43

Earnest, A. 261  
 Edington, G. 29  
 Ehrenberg, P. 73  
 Eller, W. 72  
 Ellet, W. B. 157  
 Emerson, Paul. 32, 121, 173, 181  
 Emmert, E. M. 146  
 Engelder, C. J. 63

## F

Faraday, M. 110  
 Fischer, F. 72  
 Fisher, R. A. 257  
 Ford, M. C. 107  
 Free, E. E. 260  
 Fraps, G. S. 131, 136, 143, 157  
 Fry, W. H. 33, 125  
 Fürst, F. 276

## G

Gartner, W. W. 216, 265, 292  
 Gassner, G. 264  
 Gannersdorfer, J. 291  
 Gautier, A. 299  
 Gay-Lussac, J. L. 170  
 Gedrofcz, K. 198  
 Gilbert, B. E. 145  
 Gilbert, J. H. 133  
 Ginsburg, J. M. 292, 295  
 Glauber, J. R. 43  
 Golden, W. 294  
 Gössel, F. 216  
 Graham, Thomas 82, 85, 87  
 Grandeau, M. L. 269  
 Gray, P. H. H. 61  
 Greene, R. A. 144  
 Gulley, E. 182

## H

Haas, A. R. C. 292, 295  
 Hall, A. D. 29, 262, 302  
 Hardin, J. L. 145  
 Hardy, W. B. 89  
 Harmer, P. M. 331  
 Harper, H. J. 107, 150  
 Harris, J. S. 183  
 Harter, L. L. 236  
 Hartwell, B. L. 184, 187, 192  
 Heck, A. F. 284  
 Hedley, M. A. 133

Heinrich, 291  
 Hellriegel, H. 140, 254, 268, 273,  
 281, 291  
 Hemmerling, V. V. 193  
 Hendrick, J. 29, 32, 210  
 Hendricks, S. B. 33  
 Hesselman, H. 70, 78  
 Hilgard, E. W. 241  
 Hill, H. H. 157  
 Hissink, D. J. 68, 73, 79, 99, 128, 193,  
 199, 208, 245  
 Hoagland, D. R. 115, 150, 207  
 Hobsen, R. P. 73  
 Hoffer, G. N. 145  
 Hofmeister, F. 90  
 Holmes, R. S. 29  
 Home, F. 15, 43  
 Hooker, R. H. 263  
 Hopkins, C. G. 252  
 Hoppe-seyler, F. 53  
 Howard, A. 137  
 Hudig, J. 187, 297  
 Hutchinson, H. B. 198, 251

## I

Iyer, K. R. N. 73

## J

Jenny, H. 100  
 Jensen, H. L. 52  
 Jones, C. H. 197  
 Joseph, A. F. 35, 101, 110, 112

## K

Kappen, H. 184  
 Keen, B. A. 210  
 Kellermann, Ch. 292  
 Kelley, W. P. 99, 225  
 Kidd, F. 261  
 King, F. H. 251  
 Knop, W. 268  
 Knudsen, L. 270  
 Koszeleskii, A. K. 143  
 Kreutzhage, C. 302  
 Kübel, J. A. 43

## L

Lagatu, H. 235

Langwell, H. 53  
 Laurent, E. 269  
 Lawes, J. B. 138  
 L'Évêre, J. 269  
 Lemmermann, O. 216, 296, 302  
 Liebig, G. von, 98, 139, 252  
 Liebscher, G. 139  
 Ligon, W. 192  
 Line, J. 192  
 Livingston, B. E. 268  
 Loew, Oscar 216, 278, 296  
 Lohse, H. W. 149  
 Lomanitz, S. 298  
 Loughridge, R. H. 237, 249  
 Lundegardh, H. 261  
 Lynn, A. 53  
 Lyon, T. L. 307, 309, 312, 331, 334

## M

MacIntire, W. H. 210, 211  
 MacLennan, K. 198  
 Maillard, L. C. 72  
 Maiwald, K. 68  
 Maquenne, L. 292, 297  
 Marbut, C. F. 19  
 Marchand, B. de C. 29  
 Marshall, C. E. 32  
 Martin, J. C. 115, 127  
 Maskell, E. J. 286  
 Matthews, O. R. 256  
 Mattson, S. 38, 39, 95, 107, 112  
 Maumè, L. 285  
 Maximov, N. A. 264  
 Mazé, P. 269, 272, 298  
 McCall, A. G. 116, 268  
 McGillivry, J. H. 145  
 McGeorge, W. T. 68, 79, 149, 153,  
 154, 157  
 McHargue, J. S. H. 269  
 McLane, J. W. 116  
 McLean, W. 69  
 Merrill, G. P. 10  
 Merwe, van der 39  
 Meyer, C. 297  
 Miller, M. F. 129  
 Miller, N. H. J. 220  
 M'rasol, J. J. 192  
 Mitscherlich, E. A. 138, 139, 140, 254  
 Mondesir, P. de 220  
 Morgan, J. F. 117, 122  
 Morison, C. G. T. 302  
 Mulder, G. J. 65

## N

Neubauer, H. 138, 283  
 Newton, W. 292  
 Nightingale, G. T. 283  
 Niklas, von H. 144

## O

Oakley, H. B. 101, 110, 112  
 Odén, S. 67, 77, 179, 184  
 Ogg, W. G. 29, 32  
 Olsen, C. 190  
 Ostwald, W. 85  
 Owen, O. 285

## P

Page, H. J. 65, 68  
 Palisey, B. 43  
 Pallmann, H. 184  
 Pantanelli, E. 144  
 Parker, F. W. 117, 148  
 Pember, F. R. 184  
 Perkins, H. H. 149  
 Pettinger, N. A. 146  
 Pfeffer 271  
 Pierre, W. H. 176, 186  
 Piland, J. R. 146  
 Prianischnikov, D. N. 271, 277  
 Priestley, J. H. 292  
 Fringsheim, H. 46

## R

Raber, O. 272  
 Raumer, E. von 292  
 Reed, H. S. 292, 295  
 Rice, F. E. 184  
 Richards, E. H. 134  
 Robinson, G. W. 6, 29, 31, 32, 94, 192  
 Robinson, W. O. 29  
 Ross, C. S. 32  
 Roszmann, C. A. 148  
 Rubner, N. 56  
 Ruhnke, G. N. 149  
 Russell, E. J. 168, 251

## S

Salter, F. J. 61  
 Sarseth, G. D. 159  
 Schloessing Th. 116, 122, 138  
 Schmuck, A. 66

Schaeider, W. 143  
 Schneidewind, W. 289  
 Schnrader, H. 72  
 Schreiner, O. 44  
 Schulze, B. 271  
 Schutt, F. T. 133  
 Seidel, Th. 195  
 Shaw, C. F. 181  
 Shive, J. W. 268, 272  
 Shorey, E. C. 66, 67  
 Siders, C. P. 193  
 Smith, A. M. 99  
 Smith, F. B. 144  
 Sokolovisky, A. N. 76  
 Sommer, A. L. 298  
 Sørensen, S. P. L. 174  
 Sprengel, Carl. 64  
 Spurway, C. H. 148  
 Starkey, R. L. 152, 307  
 Steurt, D. W. 134  
 Stevens, K. R. 69  
 Stewart, Guy R. 124, 134  
 Stoklasa, J. 155, 261, 298  
 Suchtelen, F. H. H. van 116

**T**

Thiessen, G. 68  
 Thompson, H. S. 98  
 Thornton, H. G. 61  
 Thornton, S. F. 146  
 Thorp, James 232  
 Tidmore, J. W. 159  
 Totttingham, W. E. 268  
 Trofimov, A. W. 123  
 Truog, Emil 83, 150, 158, 184, 197  
 Turaer, P. E. 63, 79, 96

**U**

Underwood, L. M. 262

**V**

Van Iterson, C. 53  
 Van Slyke, L. L. 215  
 Van't Hoff, J. H. 170, 270  
 Vauquelin, L. N. 64  
 Veitch, F. P. 198  
 Vernander, N. B. 76, 77  
 Voelcker, A. 291  
 Volk, N. J. 159

**W**

Wagner, R. 61  
 Waksman, S. A. 69, 73  
 Wallace, T. 292, 295, 301  
 Wallerius, J. G. 43  
 Warrington, K. 302  
 Way, J. T. 98  
 Wegener, Georg. 8, 35, 105, 111, 184  
 Weigert, 276  
 Weir, W. W. 320  
 Wherry, E. T. 168  
 Whiting, A. L. 284  
 Whitney, M. 115, 126  
 White, J. W. 204  
 Widtsoe, J. A. 255  
 Wilfarth, H. 273  
 Williams, R. 102  
 Willstätter, R. 270  
 Willis, L. G. 145, 297  
 Winogradsky, S. 144

## 附錄二 名詞索引

### A

- Abnormal flocculation 見 flocculation 112
- Absorption 吸收作用 89  
     complex 吸收複合體 8  
     compound 吸收化合物 8
- Acid humus 見 humus 64
- Acidity 酸性, 酸度 185  
     active 活動酸性 185  
     exchange 代換性酸度 185  
     hydrolytic 加水分解酸性 185  
     low 低酸性 169  
     neutral salt decomposing 中性鹽類分解酸性 185  
     potential 潛酸性 182  
     replaceable 代換性酸性 79, 100  
     sub 亞酸性 169  
     super 強酸性 169
- Acidoid 膠體酸基 9, 32, 94
- Acid soil 見 soil 180
- Active acidity 見 acidity  
     aluminium 活性鋁 192
- Adaptation theory of alkali endurance 耐鹼性適應說 239
- Adhesion 附着 34
- Adsorption 附着 89
- Affinity point 愛點 179
- Agricultural value 農業價值 214
- Air slaked lime 氣化石灰 203
- Alcaly 鹼質 43
- Alkali 鹼 217  
     black 黑鹼土 224  
     brown 棕鹼土 224  
     white 白鹼土 224
- Alkali soil 見 soil  
     degraded 退化鹼土 225
- Alkaline reaction 鹼性反應 217  
     soil 見 soil 217
- Alkalinity 鹼性 217  
     low 低鹼性 169  
     medium 中鹼性 169  
     sub 亞鹼性 169
- Alkalinization 鹼化作用 224
- Amphoteric compound 兩性化合物 175
- Anionic exchange 陰電離子代換 97, 150
- Apophyllite 魚眼石 117

- Artificial root 人工植物根 116
- Available plant food 應用植物食料 136

### B

- Base exchange 鹽基代換 36  
     replaceable 代換性鹽基 26
- Base saturated soil 見 soil  
     saturation 鹽基飽和 104  
         degree of 鹽基飽和度 199,  
         unsaturated soil 鹽基不飽和土壤 104
- Basoid 膠體鹽基 9, 94
- Black alkali 見 alkali
- Blodite 紅鈉鎂礦 126
- Bog muck 見 muck
- Brown alkali 見 alkali
- Brownian movement 卜瀉運動 84
- Buffer action 緩衝作用 174  
     capacity 緩衝力 176  
         total 總緩衝力 176  
     value 緩衝價 176
- Burning quality 燃燒性 298

### C

- Calcium carbonato-phosphate 碳酸化磷酸鈣 157  
     magnesium ratio 鈣與鎂比率 216
- Carbonato-apatite 石灰化磷灰石 157
- Cardinal concentration 重要濃度限 261
- Carnallite 光鹵石 126
- Cataphoresis 電動作用 87
- Cereal 穀類作物 258
- Clay 黏土 28  
     complex 黏土複合物 10  
     calcium 鈣黏土 36  
     hydrogen 氫黏土 36  
     sodium 鈉黏土 36
- Coarse suspension 粗粒懸液 83
- Cohesion 黏着 34
- Colloid 膠體物 82
- Colloidal chemistry 膠體化學 83  
     complex 膠體複合體 35
- Colloidal sol 膠體漿 85

solution 膠體溶液 82, 83, 85  
 suspension 膠體懸液 83  
 Commercial value 商業價值 214  
 Compound granule 複粒 35  
 Continuous cropping 連作 318  
 phase 連續體 85  
 Crystalloid 晶體物 82

## D

Dealkalinization 去鹼作用 224  
 Deflocculation 羣散作用 35, 82, 89,  
 109  
 Degraded alkali soil 見 soil  
 Degree of base saturation 見 base  
 saturation  
 Deep water muck 見 muck  
 Deficiency disease 缺陷病 294  
 Dialyser 膜分器 87  
 Dialysis 膜分作用 87, 150  
 Dielectric constant 對電常數 110  
 Dispersed phase 分散體 85  
 Dispersion medium 分散劑 85, 110  
 Dissociation constant 電離常數 171  
 Donnan equilibrium 道南平衡 95  
 Double refraction 雙反射 32  
 Dufionite 綠鐵礦 108

## E

Electrical dissociation 電離作用 170  
 double layer 重層電性 88  
 Electroendosmosis 電滲作用 87  
 Electrolyte 電解物 89, 171  
 Emulsion 膠體乳液 77  
 Emulsoid 膠乳液 86  
 Epsomite 硫酸鎂礦 125  
 Exchange acidity 見 acidity

## F

Feeding power 求食力 159  
 Fertility 肥沃度 249  
 inherited 遺傳肥沃 249  
 permanent 永久肥沃 249  
 soil 見 soil  
 Flocculated colloid 羣集性膠體 109  
 Flocculation 羣集作用 35, 82, 89, 109  
 abnormal 不正常羣集 112  
 oriented 整置羣集 111

orthokinetic 正動力羣集  
 111  
 perikinetic 旁動力羣集 111  
 random 無序羣集 111

Food unit 食料單位 142

## G

Gel 見 colloidal gel  
 Goitre 鵝喉病 300

## H

Halite 石鹽 125  
 Heat of imbibition 見 imbibition  
 High calcium lime 高鈣石灰 205  
 magnesium lime 高鎂石灰 205  
 Humic acid 腐植素 64  
 Humic acid 腐植酸 67  
 carbon 腐植碳  
 Humus 腐植質 64  
 acid 酸性腐植質 64  
 nucleus 腐植質核 74  
 neutral 中性腐植質 64  
 Hydrargillite 水礬土 4  
 Hydrated ferric phosphate 含水磷酸  
 鐵 14  
 Hydrogel 膠體水酪 86  
 Hydrogen clay 見 clay  
 Hydrosol 膠體水漿 86  
 Hydrolatic acidity 見 acidity  
 Hydrophilous 愛水膠體 87  
 Hydrophobic 避水膠體 86  
 Hydroxyapatite 氫氧化磷灰石 14

## I

Imbibition 懷水 90  
 heat of 懷水熱 33, 8  
 power 懷水力 34, 90  
 water 懷水 34, 90  
 Inherited fertility 見 fertility  
 Indicator solution 見 solution  
 Inner nucleus 內核 32

## L

Law of minimum 最低限定律 139  
 optimum 適當限定律 139  
 physiological relationships  
 生理關係定律 140



Lignin 木素 44  
 carbon 木素性碳 80  
 humus 木素腐植質 70  
 Ligno-proteinate 木素化蛋白質 74  
 Lime requirement 石灰需量 196  
 maximum 最高石灰  
 需量 196  
 Limit of endurance 耐毒限 238  
 Low acidity 見 acidity  
 alkalinity 見 alkalinity  
 Long day plant 長天植物 266  
 Loweite 硫酸鈉鎂礦 126

M

Magnesite 菱鎂礦 125  
 Marsh muck 見 muck  
 Maximum lime requirement 見 lime  
 requirement  
 Microcline 鉀微斜長石 160  
 Mining the soil 採掘土壤 200  
 Mirabilite 芒硝 125  
 Mineral theory 礦質營養要素說 139  
 soil 礦質土壤 139  
 Mild humus 中性腐植質 64  
 Mitscherlich-Gesellschaft 米采利希會  
 143  
 Muck 腐植土 330  
 bog 低澤腐植土 331  
 deep water 深水腐植土 330  
 marsh 濕地腐植土 331  
 swamp 林地腐植土 331

N

Neutral humus 見 humus  
 Neutral salt decomposing acidity 見  
 acidity

O

OH atomic group OH 元子團 45  
 Organic soil 見 soil  
 Oriented flocculation 見 flocculation  
 Orthokinetic flocculation 見 floccu-  
 lation

P

Peat 泥炭 330  
 Perikinetic flocculation 見 floccula-

tion

Permanent fertility 見 fertility  
 Picromerite 硫磺鉀鎂礦 126  
 Plant disease theory of soil fertility  
 植物病害與土壤之永久肥沃說 251  
 poison theory of soil fertility  
 植物毒害物質與土壤永久肥沃說  
 251  
 Potential acidity 見 acidity  
 Precipitation complex 沈澱複合體 7  
 compound 沈澱化合物 7  
 Proportionality constant 比例常數 141  
 Protective colloid 保護膠體 78, 89  
 Protoxide 原氧化物, 12

R

Random flocculation 見 flocculation  
 Replaceable acidity 見 acidity  
 bases 見 bases  
 saturated soil 見 soil  
 unsaturated soil 見  
 soil  
 capacity 代換力, 代換量  
 103  
 Residual affinity 餘剩愛力 179  
 complex 原種複合體 31  
 mineral 原種礦物 31  
 Root soluble 根溶性 143  
 Rotation 輪種 317

S

Saline soil 見 soil  
 Salinization 鹽化 223  
 Sand culture 沙植法 268  
 Saturated soil 見 soil  
 Selective absorption 選擇吸收 82  
 Sesquioxide 三氧化物 17  
 Short day plant 短天植物 266  
 Shrinkage 收縮 91  
 Silica-sesquioxide ratio 矽酸與三氧化  
 物比率 37  
 Silvite 鉀鹽 126  
 Sodium aluminate 鈉化鋁鹽 234  
 clay 鈉性黏土, 鈉黏土 36,  
 217, 225  
 soil 鈉性土, 鈉土 36, 217 225  
 Soil 土壤  
 sorption complex 土壤吸收複合  
 體 95  
 compound 土壤吸收化  
 合物 95

acid 酸土 180  
 alkali 鹼土 217  
 alkaline 鹼性土 217, 225  
 base saturated 鹽基飽和土壤 104  
   unsaturated 鹽基不飽和土壤 104  
 colloidal complex 土壤膠體複合物 92  
 degraded alkali 退化鹼土 225  
 exhaustion 土壤困乏 324  
 fertility 土壤肥力 249  
 mineral 礦質土壤 329  
 organic 有機質土壤 29  
 protein ("soil protein") 土壤蛋白 70  
 replaceable base saturated 可換性鹽基飽和土壤 104  
   unsaturated 可換性鹽基不飽和土壤 104  
 saline 鹽土 217, 225  
 sodium 鈉性土 36, 217, 225  
 sour 酸味土 180  
 unsaturated 不飽和土壤 104  
 Solution culture 液體法 268  
 indicator 試劑液 130  
   pressure 溶解壓 88  
 true 真溶液 82  
 Sour soil 見 soil  
 Specific buffer capacity 比緩衝價 176  
 Stability (of colloids) 膠體之固定性 108  
 Sub acidity 見 acidity  
   alkalinity 見 alkalinity  
 Super acidity 見 acidity  
   alkalinity 見 alkalinity  
 Suspension 懸液 83  
   colloidal 膠體懸液 83  
 Suspensoid 膠懸液 86  
 Swamp muck 見 muck  
 Swelling 膨脹 90

pressure 膨脹壓 91

## T

Thénardite 硫磺鈉鹽 125  
 Thermo-nitrite 硫磺鈉鹽 126  
 Tilt 耕性 80, 309  
 Total buffer capacity 總緩衝力 176  
 True solution 見 solution  
 Turbidity 水濁度 4, 12  
 Two phase system 二體系統 84  
 Tyndall-effect 亨道現象 87, 93

## U

Ultra clay 超細黏土 35, 84  
 Unsaturated soil 見 soil

## V

Vivianite 藍鐵礦 14

## W

Water of imbibition 見 imbibition  
 Weathering complex 風化複合體 10, 31  
 White alkali 白鹼 224

## Z

Zeolite 泡沸石 5  
 Zeolitic complex 泡沸石性複合體 10  
   mineral 泡沸石類礦物 5