

中山自然科學大辭典

第五冊

化學

王 輯 編 總 譽 名
五 雲

陶希易 華靜鄧 (務常) 謀熙李 人集召會員委輯編

恭 樹 朱 編 主 冊 本

中山學術文化基金會董事會
出版授權與人
臺灣商務印書館 出版者

中山自然科學辭典

第五冊

化學

名譽總編輯 王雲五

編輯委員召集人 李熙謀 (常務) 鄧靜華 易希陶

本冊主編 朱樹恭



出版授權與人 中山學術文化基金會董事會
出版者 臺灣商務印書館

中華民國十六年六月

中山自然科學大辭典

員委輯編冊本

(序爲畫筆名姓以)

明東許 汲文范 延世何

華昭楊 棟朝陳 鼎昭張

東伯謝 溶錫葉 生華鄭

張益憲 張印鼎 張啓賦

謝登琳 謝錫華 謝錫華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

謝琳華 謝琳華 謝琳華

人 稿 撰 冊 本

(序爲畫筆名姓以)

華	西	王	濱	文	王	蓀	漢	陳	丁
恭	樹	朱	行	力	朱	茂	松	王	王
清	澄	吳	起	紹	吳	延	世	何	辛
平	良	林	培	亦	周	琴	淑	林	林
清	隆	林	泉	淵	林	中	建	瑞	林
榮	宗	侯	淇	鴻	高	樅	崑	洪	許
煦	聖	徐	秀	家	許	煌	東	張	張
民	仲	張	文	巍	張	明	爲	陳	陳
旭	茗	張	鼎	昭	陳	憲	幼	登	楊
棟	朝	陳	麟	玉	楊	石	末	祖	楊
生	濟	彭	潭	鏡	鄭	嶽	祖	廣	劉
鐸	振	陳	華	建	葉	雄	廣	仲	蘇
文	伯	劉	生	華	蘇	馨	仲		
東	伯	謝	溶	錫		定			
			志	遠		卿			

中山自然科學大辭典

第五冊 化學

序 言

化學是種研究物質成份和性質的科學，是和人生日常生活息息相關，是人類物質文明首先而且最有關係的科學。化學也是種古老的科學，遠在煉金術士年代開始，就有了化學。但真正的發展，乃是近百年的事，尤其在合成化學實驗成功以後，化學的發展一日千里，光輝燦爛，化學製品幾乎無所不在無所不能，不論藥品、食物、衣着、用具、建築材料、交通工具，都有合成化學品的存在，而且性能優越，價格低廉，爲人類帶來莫大幸福。同時也因爲合成化學品的特殊穩定性質，爲人類也增添了許多麻煩，甚至災害，即所謂的公害問題。所以一般人能有些化學知識，是應該的而且是必要的。

中山學術文化基金董事會爲紀念建國六十週年，特編纂中山自然科學大辭典，用百科全書體裁，介紹一般科學，化學爲其中的一種。樹恭不敏，承邀參加編輯委員會，並負責主編化學工作，深感責任重大，力有未逮，惟鑑於事實需要，不得不勉力以赴。經邀集中央研究院、臺灣大學、清華大學及聯合工業研究所化學同仁何世延、張昭鼎、鄭華生、許東明、陳朝棟、楊昭華、謝伯東、葉錫溶、范文汲等諸先生擔任化學編輯委員、並分別負責約請有關物理化學、無機化學、放射化學、分析化學、有機化學、生物化學、農業化學、高分子化學各門化學的撰稿人。並擬定範圍，以應用化學將來另有專書，除少數日常有關者外，規定不在範圍之內。參照 G.L.Clark: The Encyclopedia of Chemistry 體裁，分別撰寫。

化學的範圍非常廣汎，而現代科學的發展，已互爲關連，彼此跨越，使科學原有的分野，混淆不清，化學和自然科學、工程科學各部門的若干部份互爲包含，因此要編一本稍爲完備的百科全書型化學辭典，篇幅就得非常的多，這和本辭典的編輯原則不符，所以祇能取其重要的而編集之，但取捨之間，甚難恰到好處。同時以時間關係，雖蒙各允邀撰稿各先生，勉於授課之餘，抽暇執筆，終以事實所限，未能按照原計劃編寫，遺漏偏枯之處甚多。

化學在本國，在目前仍不離編譯階段，爲便利讀者熟悉中英文對照，中文譯文後加註英文，並於一段落時重複加註，譯文儘可能依照國立編譯館頒布之譯名，但對譯音名詞，以方言不同，譯文常有出入，一名數譯者常有，困擾讀者。本書除元素外，人名地名不譯，仍用原文；化合物除極普通者外，以意譯爲原則，否則暫仍用原文；單位名詞，採用原文縮寫，作爲符號，不另翻譯。

本辭典所以能完成，是皆撰稿諸先生的熱心合作，如尚有所可取或貢獻者，亦皆撰稿諸先生之功，但如有缺失錯誤之處，是故在編者，本人敬願負其責。並乞化學界諸先生、專家、學者，不吝賜正，尤爲欣幸。

朱 樹 恭

六十一年十二月於新竹

中山自然科學大辭典(第五冊)

化 學

人工變異株 (Artificial Mutants)

微生物在自然條件下，發生自然變異 (natural or spontaneous mutation) 之比率很低，僅有 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 。不過，可使用各種變異誘起劑 (mutagens) 處理，以提高變異率。此種以人工方法誘導出來之變異株，稱為人工變異株。

一般使用之變異誘起劑，有下列幾種：

物理變異誘起劑 (physical mutagen)

為使用紫外線 (ultraviolet rays)，x 線， γ 線，中子線 (neutron beams) 照射微生物，或以酸性，高熱處理菌體，以誘導變異。紫外線 (260~270m μ) 之照射，可引起基因構造之發生變化。x 線 (150,000—200,000 röntgen) 之照射，可使菌體培養液中產生高度反應性之原子團，而引起化學作用。

化學變異誘起劑 (chemical mutagen)

1. 烷化劑 (alkylating agents)：氮芥子氣 (nitrogen mustard)，甲基甲磺酸脂 (methyl methane-sulfonate) (MMS)，乙基甲磺酸脂 (ethyl methane-sulfonate) (EMS)，硫酸二甲脂 (dimethyl sulfate) (DMS)，硫酸二乙脂 (diethyl sulfate) (DES)，乙基乙磺酸脂 (ethyl ethanesulfonate) (EES)。

2. 鹽基類似體 (base analogues)：5-bromouracil，5-bromodeoxyuridine，2-aminopurine。

3. 鹽基合成阻害劑：6-mercaptopurine，caffeine，azaserine。

4. 色素類：proflavine，acridine orange。

5. 其他化合物：氯化亞錳 (manganous chloride)，亞硝酸 (nitrous acid)，肼 (hydrazine)，methyl-N'-nitroguanidine (MNG)，胥 (羥胺) (hydroxylamine)，過氧化物 (peroxides)，4-nitroquinoline-N-oxide。

在上述非放射性化合物中，最常用者為氮芥子氣，

H₂O₂，HNO₂，MNG，azaserine 等幾種。使用這些變異誘起劑處理微生物菌體，當使其生存率 (survival rate) 降至 1%，即死滅率達 99% 時，變異率最高，可提高至自然變異率之幾千倍。

如此誘導出來之變異株，可分為形態的變異株 (morphological mutant) 與生化學的變異株 (biochemical mutant)。後者包括色素形成變異株，藥物抵抗性變異株，輻射線抵抗力變異株，營養要求性變異株等多種。微生物發生變異後，如要求其野生株 (wild strain) 不需之營養時，該變異株稱為營養要求性變異株 (auxotroph)，而野生株稱為原始營養菌 (prototroph)。通常可以青黴素過濾法 (penicillin screening method)，飢餓法，或複印法 (replica plating method) 等方法選擇分離營養要求性變異株，並以 auxanograph 法檢查其所要求之營養素。

目前在醱酵工業上，利用人工變異株之目的有三：(i) 提高生產收率。(ii) 改變代謝調節機構。(iii) 預防噬菌體之感染。此種人工變異之方法，利用於抗生素之製造工業，已獲得顯著之效果。(蘇遠志，劉伯文)

參考文獻：

蘇遠志、黃世佑著：微生物化學工程學，天然書社。

二氧化碳 CO₂ (Carbon Dioxide)

二氧化碳 CO₂ 或 O=C=O，他的分子量是 44.01，是種無色氣體，具有刺激嗅味和酸味。CO₂ 的製造，一般是以副產物的形式，從發酵，石灰窯作業，和其他化學製造過程產生。他的用途，不論用液體、固體、和氣體形式，主要是在食物保藏 (乾冰，dry ice)，飲料中的碳酸氣 (beverage carbonation)，火災消防，醫療工作 (therapeutical work)，開礦作業，化學品製造。CO₂ 也是動物新陳代謝 (metabolism) 的產品，是地球上動物和植物生命圈 (life cycle) 的一環，其重要不言可喻。CO₂ 在大氣中祇佔有很少成份 (用容量計約為 0.03%；重量計約為 0.0474%)，但其在大氣中的總

重量高達27,500萬萬噸 (2,750 billion tons)，不過在經濟上無法加以利用。

二氧化碳在大氣壓的昇華點 (sublimation point) 是一 -78°C ，三相點 (triple point) 在 5.11 大氣壓下 (1 kg/cm^2)，是 -56.6°C ，臨界溫度 (critical temperature) 31.0°C ，臨界壓力 72.80 大氣壓或 1070.16 psia，蒸發潛熱 (latent heat of vaporization) 在三相點時是 149.6 BTU/lb 或 83.12 g-cal/g，在 $^{\circ}\text{C}$ 時是 101.03 BTU/lb。氣體比重，在 0°C 和 1 大氣壓時是 1.976 g/l，液體比重在 0°C 和 34.3 大氣壓時是 0.914 kg/l，固體比重在 -56.6°C 時是 1.512 kg/l 或 94.39 lb/ft³。在水中溶解量，在 0°C 時，每份水可溶 1.713 份氣，在 25°C 和 760mm 的 CO_2 部份壓力下，每份水可溶 0.759 份 CO_2 。 CO_2 的形成熱是 93.03 kcal/g-mole 或 167.454 BTU/lb-mole，表示氧化碳有少微的發熱作用。 CO_2 不支持燃燒，所以可作滅火劑用。

化學反應：純二氧化碳並不是一種化學活潑的化合物，但在水溶液中，溶液變成酸性，有許多化學反應可以發生。 H_2CO_3 是個有高離解度的酸，飽和 CO_2 水溶液的 pH 值 在 1 大氣壓和 25°C 時，是 3.7，在 23.4 大氣壓和 0°C 時則為 3.2。在高壓時把 CO_2 水溶液冷卻，可得水化物 $\text{CO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 。 CO_2 一般是很穩定的，在普通情形下不會分解，在高溫則有分解作用， $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$ ，紫外光，高壓力，和放電情形，都有助於此反應的發生，但分解率很低。 $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ 是水煤氣 (water-gas) 的逆反應，在工業上用來生產氫。在高溫時和碳化合，生 $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ 是製造 CO 的方法。 $\text{CO}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow (\text{NH}_3)_2\text{CO}_2$ 是工業上製造尿素 (urea) 的第一步驟。經過光合成 (photosynthesis) 作用， CO_2 是植物生長的重要因子，在具有葉綠素 (chlorophyll) 的植物細胞中， CO_2 靠著太陽光的能量，還原成碳氫化合物 (carbohydrate) 和氧，把氧還回大氣中，形成所謂動物和植物生命圈環的作用。

工業製造：工業上製產 CO_2 ，可有許多方法，主要的有：①從煙道氣 (flue gas) 回收，②合成氨的副產 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} + 2n\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{CO}_2 + (3n+1)\text{H}_2$ ，③發酵工業的副產 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$ 和④石灰窯作業的副產 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ 。

二氧化碳不問其由何種副產產生，常雜有少量雜質，使 CO_2 氣體染有臭味，限制他們在乾冰和飲料方面的用途，需要加以精製。最常用的精製法，是用①過錳酸鉀②重鉻酸鉀，和③活性炭 (activated carbon) 處理。

CO_2 在液化之前，必須要除去水氣，商業上是用氯化鈣，矽膠 (silica gel)，活性氧化鋁 (activated alumina) 或鋁礬土 (bauxite)，或加以冷凍。 CO_2 可以在三相點 (-70°F) 和臨界點 (87.8°F) 間的任何溫度，用加壓液化。在商業上應用兩種操作法，第一種在臨近臨界溫度時，用水冷卻，第二種在 0°F 和 20°F 間，用氫或其他冷卻劑冷卻。在第一種方法中， CO_2 加壓冷卻至比臨界溫度 87.8°F 低一點，加壓至 73 大氣壓以上， CO_2 就會液化。

乾冰 (dry ice) 固體二氧化碳，一般都叫作“乾冰”，他們形成固體，由水壓機直接加壓製成，普通成為 $20 \times 20 \times 20$ 吋的大塊，這些大塊常切成 10 吋立方的小塊，每塊約重 50 磅。有一種製造乾冰的方法，是先在三相點時製成 CO_2 雪，再利用這蒸發了的氣體，在高壓迴流固化。乾冰的主要用途，是食物冷藏。乾冰和水冰相比，他的優點是：①每磅的熔解熱高，②冷藏的溫度比較低，③熔解後沒有剩餘水或鹽水。乾冰另外的用途，是工業機械作業中作冷卻 (chilling) 用，在人造雨作業中，作為雨種子。(朱樹恭)

參考文獻：

G. L. Clark: The Encyclopedia of Chemistry.

土生性與腐生性細菌 (Autochthonous and Zymogenous Bacteria)

土壤微生物學家 Winogradsky，曾將土壤之細菌分為兩大類：土生性細菌 (autochthonous bacteria) 及腐生性細菌 (zymogenous bacteria)，前者為某種土壤中所原有之細菌，後者為土壤經某種處理 (如加添有機物、肥料、或通氣) 後，始行加速繁殖之細菌。(王西華)

參考文獻：

Waksman, S. A.: Soil Microbiology 59.

John Willey & Sons, Inc., New York (1959)

土壤中之植物必需養分 (Indispensable Plant Nutrients in Soil)

植物必需之養分除碳自空中以碳酸氣之狀態攝取外，餘均由土壤中攝取。

水 (water)

水為植物需要量最大的化合物，不單在合成植物體各種化合物所需，還有運輸新陳代謝物，以及成為生化反應之媒體之功能，自葉面蒸散時還有冷卻葉面防止被

太陽光熱能灼傷等之功能。在土壤中時受重力作用流下成爲地下水之部分稱爲重力水 (gravitational water)，停留在土壤中時間短暫，不被植物利用。又重力水受排水不良，或土壤滲透性不良等影響時，會停留在土壤中，阻塞大孔隙，隔絕空氣流通，使植物根缺乏氧氣，並由嫌氣微生物之活動產生種種毒性物質，爲害作物。

抵抗重力而停留在土壤中之水，稱之謂毛細管水 (capillary water)，是受土粒之表面吸力作用而保持，是受張力之作用而存在，此張力稱爲 moisture tension，或 suction pressure。此張力達15氣壓或以上，則植物不能吸收該水分而呈凋萎，是故稱之謂無效水分 (unavailable water)。在風乾狀態下土壤仍保持有相當量之水分，其張力達31氣壓，稱之謂吸溼水 (hygroscopic water)。

土壤中之植物營養料之分佈 (distribution of plant nutrients in soil)

1 土壤溶液 (soil solution)

土壤溶液中溶解的植物營養素在一般情況下濃度甚低。一般土壤溶液中陽離子以鈣及鎂爲主，濃度爲0.01~0.05 N之程度。陰離子則以重碳酸根，硫酸根，氯離子等爲主，一般情況下硝酸濃度甚低。

土壤溶液中各離子濃度因水分含量，耕作情形，作物種類及栽培季節，施肥情況而有改變。易溶性者其濃度與水分含量成反比，例如氯離子。難溶性者則可維持約略飽和濃度，有時水分增多反而會提高濃度。例如鈣離子濃度高時硫酸根濃度受石膏 (硫酸鈣) 溶解度積 (solubility product) 之支配，水分量增多，鈣離子濃度減少，則硫酸根濃度會增高。作物栽培初期養分吸收量尚不多，故土壤中養分濃度較高；重碳酸離子濃度則較低，到收成時則降低至最低值，而重碳酸離子濃度則達最高程度。

2 交換態養分 (nutrients in exchangeable form)

凡交換性離子可置換粘土或腐植質表面負電荷者，可由植物根分泌而出之氫離子或滲濾水中之離子交換而出，而被植物吸收，是土壤蓄存植物養分之有效形態。

3 非交換態養分 (nutrients in non-exchangeable form)

或稱謂固定態 (fixed form)，一般指水溶性或交換態轉變成不溶性或不能被交換而出的形態，而不易被植物吸收者。這種形態之養分在特殊的土壤條件下仍可轉變成可溶性或交換性，故常稱之謂雖有效性 (difficultly available form)。一般原生礦物晶格中保持之

養分，亦常稱之謂固定態。但原生礦物中之養分，其釋放速度則受風化條件，礦物種類及粒子大小之影響，故雖爲固定態，其易風化者，仍可以相當速度供給植物吸收。土壤之風化程度大，則其中易風化的礦物被破壞殆盡，故土壤之肥沃度低；風化度低者，則視其母岩中所含養分礦物之多寡，以及其風化速度大小以決定其肥沃度。

4 有機物 (organic matter)

自從Liebig主張無機營養說以來，許多事實證明植物之生長並不需要有機物做爲其養分。但土壤中之有機物絕大部分導來自植物體，故含有植物所需要的所有無機養分。一般而言針葉樹落葉中含無機物量遠較潤葉樹之落葉爲低，故針葉樹林下土壤有機物含無機養分亦較少。

土壤有機物受微生物之分解作用中，無機養分經礦化作用 (mineralization)，轉變爲水溶性或交換性後，可供給植物吸收。土壤的溫度與水分適當時，由枯葉、綠肥、堆肥等所供給的土壤有機物之分解速度很快，它們可視爲無機養分之有效來源。

土壤氮素 (soil nitrogen)

土壤氮素之主要部分在於土壤有機物中。

1 碳氮比

土壤有機物中氮之含量略與碳含量成一定比率，即碳氮比 (C/N ratio) 約爲8:1至15:1，平均爲(10~12):1。一般植物體之碳氮比均甚大，禾稈部分約爲90:1，而豆科植物較小爲(20~30):1之程度，土壤中細菌則約爲4:1，而微菌類則約爲9:1。植物體分解時碳被微生物大量消耗，而成腐植質時，其碳氮比已接近微生物體之碳氮比。

2 氨化作用 (ammonification)

有機物中之氮因微生物分解有機物之結果成爲氨，是爲氨化作用。此作用爲微生物所分泌之酵素所促進之加水分解作用。能進行氨化作用之微生物甚多。

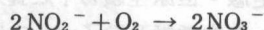
3 硝化作用 (nitrification)

土壤中之銨離子由於微生物之作用很容易轉變成硝酸離子，是爲硝化作用。此過程爲銨之氧化過程，故在好氣條件下進行。銨之氨化分兩個階段，由不同微生物進行氧化。第一階段爲由銨生成亞硝酸離子，其反應可寫成如下式：



產生亞硝酸離子者爲 nitrosomonas 屬細菌。亞硝酸離子對植物有毒害作用，但在土壤中迅速被氧化成硝酸離

子：



故在一般情形下亞硝酸不會聚集到發生毒害之程度。進行此第二階段之細菌為 *nitrobacter* 屬。

4. 脫氮作用 (denitrification)

在空氣不流通或水分過多而氧氣之供給量不足之土壤中，嫌氣性細菌活動時，硝酸離子則被還原成亞硝酸離子，再轉變成氮氣，氧化氮 (N_2O , NO , NO_2 等) 而揮失，此為脫氮作用。亞硝酸離子轉變成氣態之氮之過程，部分是微生物的作用，部分是硝酸離子與有機物間化學作用的結果。

5. 氮固定作用 (nitrogen fixation)

游離氮氣雖構成大氣五分之四之成分，一般植物不能將其直接利用，必需成為氮鹽，硝酸鹽等簡單可溶性化合物後方可吸收利用。但細菌中有一些可將空中氮氣吸收化合成為有機氮化合物者，通稱為氮固定菌，其作用為氮固定作用。氮固定菌有與豆科植物共生之根瘤菌 (*nodule bacteria*, *Rhizobium* 屬)，及非共生的他食性細菌 (*heterotropic bacteria*)，好氣性者為 *Azotobacter* 屬者，嫌氣性者為 *Clostridium* 屬者，藍綠藻類 (*blue-green algae*) 亦有能進行氮固定作用。

6. 氮素循環 (nitrogen cycle)

大氣中之氮氣因生物之氮固定作用成為高等植物能吸收利用之化合物，進而成為植物體中蛋白質；氨基酸，核酸等重要成分。繼之植物體可能被動物攝取消化而成為動物體之成份。生物體死去後其中氮化合物則因氮化作用而成為銨鹽，或更受硝化作用而成為硝酸鹽，再為植物吸收而回到生物體內，或經脫氮作用而成為氮氣回到大氣中，如此循環不已，稱之謂氮素循環。

土壤磷素 (soil phosphorus)

土壤中之磷素含量以磷酐 (P_2O_5) 量表示有 0.02~0.4 % 之程度。土壤中之磷素有相當多之部分存於土壤有機物中，稱為有機態磷 (organic phosphorus)，佔全土壤磷素之 30~60%，無機態磷 (inorganic phosphorus) 則多半與鈣、鐵、鋁等結合成為難溶性之磷酸鹽。

1. 土壤中鈣之磷酸鹽 (calcium phosphates in soils)

土壤中鈣之磷酸鹽有來自土壤母質者，主要者為磷灰石 (apatite)，其來自土壤中磷酸與鈣結合沈澱而生成者為 CaHPO_4 ， $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ，以及 $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$ 等。各種鈣磷酸鹽之溶解度依氟化磷灰石 (fluoroapa-

tite $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 CaF_2) 碳酸磷灰石 ($3\text{Ca}_3(\text{P-O}_4)_2$ 、 CaCO_3)，氫氧化磷灰石 ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)，碳酸三鈣 ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)，磷酸二鈣 (CaHPO_4)，磷酸一鈣 ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) 之次序增加。磷酸鈣之溶解度因 pH 減小而增大。故可用鹽酸、硫酸等稀酸溶液抽出。

2. 土壤中之磷酸鋁 (aluminum phosphates in soils)

磷酸離子與鋁離子在土壤中結合，即生成磷酸鋁之沈澱。生成之初為無定形狀，久後即結晶而成 variscite。磷酸鋁在酸性下溶解度大，微酸至中性時溶解度最小，而在鹼性溶液時溶解度又增加。因此磷酸鋁可用稀酸溶液，稀鹼溶液抽出外，尚可用氟化氫溶液將鋁成為六氟化鋁離子而溶解釋放之。

3. 土壤中之磷酸鐵 (iron phosphates in soils)

磷酸離子與鐵離子亦會結合成磷酸鐵之無定形沈澱，久後轉變成結晶性之紅磷鐵礦 (strengite)。磷酸鐵與磷酸鋁相仿，在酸性及鹼性溶液中溶解度大 (在鹼性液中鐵成為氫氧化鐵之沈澱，而將磷酸離子釋出)，在微酸性至中性溶液中溶解度最小。遇還原劑鐵被還原成二價鐵時，其溶解度增大。此與磷酸鋁不同之另一點，即它不被氟化氫溶液溶解。

4. 有效性磷酸 (available phosphates in soils)

溶解度大的磷酸鹽對植物之有效性大，故一般言之，磷酸鈣之有效性大於磷酸鋁，磷酸鋁又大於磷酸鐵。但在還原性較大的土壤中，特別是水田狀態下磷酸鐵被還原成磷酸亞鐵，致磷化合物有效性增高。影響有效性者除溶解度外，尚受溶解速度之限制，粗粒子比表面積小，溶解速度小；細粒子比表面積大，溶解速度大，因而有效性大。故磷酸鈣雖在一般土壤條件下溶解度大於磷酸鋁，鐵，但往往粒子較粗，其有效性有時不如磷酸鋁、鐵之大。加入於土壤中之磷肥其初為磷酸鈣之形態，但久後轉變成磷酸鋁及磷酸鐵。

5. 有機態磷 (organic phosphorus)

土壤中之有機磷主要化合物為何，至今尚無詳細的研究，但有一部分成為 phytin 以及核酸等物質，殆無疑問。一般以苛性鈉溶液抽出，而能以活性碳吸着之部分，做為有機態磷。

土壤鉀素 (soil potassium)

土壤中鉀素含量一般較氮、磷為多。常在 1~2 % 之譜，而植物所需求之量則較氮為少，與磷量則相差不多，但因成為不易為植物利用之形態，故需以肥料補充之，以供應植物之需要。

③可溶性鉀 (soluble potassium)

土壤中之可溶性鉀，多半成爲氯化物，碳酸氫鹽等，但除了施用鉀肥後不久時外，其量很少。

④置換性鉀 (exchangeable potassium)

成爲置換性態而存在於粘性或腐植質表面者，經常與可溶性鉀維持平衡關係，容易爲其他陽離子置換而出，而被植物吸收利用。

⑤固定態鉀 (fixed potassium)

爲某些粘土礦物（特別是蛭石，伊來石）保持之置換性鉀，經乾燥後被夾持於粘土層格 (layer lattice) 間，而變成非置換性者，名爲固定態鉀。是土壤中有效性鉀轉變爲無效性的主要過程。原生礦物結晶格子中之鉀，因需在結晶格子受風化作用破壞後始可轉變爲可溶性或置換性，有時亦包括在固定態鉀之內。但一般與由置換性轉變爲非置換性之固定態鉀加以區別。

⑥有效性鉀 (available potassium)

一般以可溶性與置換性鉀合併稱爲有效性鉀，或速效性鉀 (readily available)，而固定態鉀則稱謂難效性鉀 (difficultly available)，因固定態鉀亦可漸次轉變爲置換性。在風化作用很強的地方（熱帶多雨的地方），礦物之破壞甚速，其結晶格子中之鉀轉變爲有效性鉀之速度大，故可視之爲速效性鉀 (easily available)。

（洪崑煌，陳振鐸）

參考文獻：

劉和著：土壤學 正中書局

朱海帆譯：土壤學 正中書局

土壤反應 (Soil Reaction)

土壤反應是指土壤之酸性或鹼性大小之程度而言，一般以 pH 值大小表示之。通常 pH 在 7.0 ~ 6.5 間者爲中性，6.5 ~ 5.5 間者爲弱酸性，5.5 ~ 4.5 者爲中度酸性，4.5 以下者爲強酸性，而 7.0 ~ 7.5 者爲弱鹼性，7.5 ~ 8.5 者爲中度鹼性，8.5 以上即爲強鹼性。但土壤之 pH 值因測定時之土對水比率，鹽類之存在及其種類，濃度，以及測定電極之位置而變化，故須註明測定條件。通常以採用土對水比率爲 1:1 或 1:2.5 者較多。

土壤酸度 (soil acidity)

鹽基飽和度未達 100 % 之土壤，視其飽和度大小而表現不同的酸度 (pH 值)。鹽基飽和度愈低，pH 值亦愈低。pH 值爲氫離子活性度的指標，故以 pH 表現之酸度，名爲活動酸性 (active acidity)。交換性氫離子

與其他陽離子交換則溶液中之氫離子濃度提高，pH 值降低，故如將酸性土壤以中性鹽溶液處理，則見 pH 值更下降，並可以標準鹼溶液滴定交換出來的氫離子量，此即爲交換酸度 (exchange acidity)。交換酸度常與溶解而出之鋁離子量相等，故交換酸度乃由交換性鋁離子所引起。酸性土壤以醋酸鈉等弱酸之強鹼鹽處理，則有更多的氫離子交換而出，此部分稱之謂水解酸度 (hydrolytic acidity)。

1 石灰化學勢 (lime potential)

交換性離子與土壤溶液中離子之平衡常因水分含量之變化而變異，但土壤溶液中單價離子之活性 (M^+) 與兩價離子活性 (M^{++}) 常維持一定的 $(M^+)/ (M^{++})^{1/2}$ 之比例，而不受水分多寡之影響，亦即 $\log(M^+) - \frac{1}{2}\log(M^{++})$ 常爲一定值。仿 $pH = -\log(H^+)$ 設使 $pCa = -\log(Ca^{++})$ ，則 M^+ 爲 H， M^{++} 爲 Ca^{++} ，則 $pH - \frac{1}{2}pCa$ 成爲

一定值，不受土壤水分含量之影響，特稱之謂石灰化學勢 (lime potential)，較單用 pH 值更合理，Schofield 提議先用 0.01 M $CaCl_2$ 處理土壤後測 pH，則溶液中二價離子活性可視爲與所加入 0.01 M $CaCl_2$ 相等，此時石灰化學勢則略等於 $pH - 1$ 。

2 石灰需要量 (lime requirement)

中和土壤酸度所需之石灰量，稱謂石灰需要量 (lime requirement)。作物生育之最適 pH，因作物而不同，故一個土壤之石灰需要量因作物不同而應加以適當調整。

3 石灰物料 (lime material)

用以中和土壤酸性之鹼性物料，通稱謂石灰物料 (lime material)，一般以石灰石粉，白雲石粉，生石灰，消石灰等做爲中和土壤酸性之物料。

4 緩衝容量 (buffer capacity)

土壤中加入酸或鹼性物料時，其 pH 之變化較之加入於水中時爲小，亦即土壤含有緩衝物質，如腐植質，粘土等而有緩衝 pH 變化之能力。此能力之大小即爲土壤之緩衝容量，即變化一定量土壤之 pH 值一定值時所需 0.1 N NaOH 量。

土壤鹼 (soil alkalinity)

土壤 pH 高於 7 時，即爲鹼性土壤。鹼性大小亦以 pH 大小表示之，pH 愈大，鹼性愈強。

1 鹽度 (salinity)

土壤中鹽分高至阻碍作物生長，即爲鹽土 (saline soil)。土壤以水飽和後過濾而得之水溶液，稱謂飽和

抽出液 (saturation extract)。其導電度在 2mmho/cm 以下時其含鹽量不致有害於作物生長。導電度在 2~4mmho/cm 時，對鹽分靈敏之作物開始受害，導電度在 8~16mmho/cm 時，對鹽分有抵抗性者才能生長，在 16mmho/cm 以上則僅有少數耐鹽性高者，才能生長。

2 鈉飽和百分率 (sodium-saturation percentage)

鹼性土壤之交換性陽離子中鈉離子所佔的百分率為鈉飽和百分率 (sodium-saturation percentage)。此百分率在 15% 以下，鹽分含量亦低於使飽和抽出液之導電度在 4mmho/cm 以下，但 pH 高於 7.0 者，為普通之鹼性土壤。鈉飽和百分率大於 15%，但鹽分含量亦高而使飽和抽出液之導電度在 4mmho/cm 以上者，稱為鹽鹼土 (saline-alkaline soil)。其 pH 值一般不會超過 8.5。鈉飽和百分率超過 15%，而鹽分含量不多，導電度少於 4mmho/cm，土壤 pH 超過 8.5 者，即為鹼土 (alkali soil)。該土壤呈分散狀態，因腐植質之

分散而呈黑色，故有時稱之謂黑色鹼土 (black alkali soil)。鹽土則有時稱之謂白色鹼土 (white alkali soil)。(洪崑煌、陳振鐸)

參考文獻：

劉和：土壤學 正中書局

朱海帆譯：土壤學 正中書局

土壤化學 (Soil Chemistry)

1、土壤之化學組成 (chemical constituents of soil)

1 土壤之無機組成 (inorganic constituents of soil)

③元素組成 (elemental composition)

土壤之化學組成，一般以各元素之氧化物含量表示。通常以氧化矽 (SiO_2) 含量最多，依次為氧化鋁，氧化鐵，氧化鈣，氧化鎂，氧化鉀，氧化鈉等。若干代表性土壤表土之化學組成，列如下表：

土壤型式和地點	深度 (吋)	成份，%										SiO ₂	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	有機 物質	p H	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	
1. 細砂質壤土	0-12	94.26	2.08	00.69	0.07	0.03	0.03	0.01	0.01	0.89	5.1	6.35	
2. 壤土	0- 8	89.96	3.80	0.72	0.07	0.02	0.03	0.01	0.06	2.74	4.4	3.58	
3. 砂質壤土	0- 9	66.39	8.26	2.48	7.77	2.29	1.97	0.65	0.09	1.25	8.2	1.14	
4. 砂質壤土	0-12	68.71	10.17	3.51	3.42	2.02	2.40	0.44	0.13	3.26	7.7	0.94	
5. 砂質粘壤土	0- 5	75.62	10.56	3.16	0.67	0.78	2.20	1.06	0.10	3.13	6.5	1.02	
6. 硬化粘土	0- 9	55.67	16.60	5.35	5.38	2.52	2.47	0.74	0.19	1.13	8.2	4.72	
7. 粘質壤土	0- 9	83.81	7.70	2.97	0.28	0.15	0.79	0.43	0.06	0.56	...	1.48	
8. 細砂質壤土	1- 4	86.18	5.67	1.79	0.54	0.18	2.61	0.74	0.05	1.12	5.8	2.15	
9. 壤土	0-12	77.28	8.93	2.89	0.84	0.55	1.35	1.15	0.14	3.94	...	1.22	
10. 壤土	0-12	74.92	10.47	3.48	1.23	0.98	1.25	2.15	0.15	2.87		1.00	
11. 細砂質壤土	0-10	93.66	2.57	0.93	0.16	0.06	0.45	0.15	0.03	0.77	...	0.50	

⑥粘土顆粒之元素組成 (elementary composition of clay particles)

土壤中粒徑在 2mm 以上者稱謂石礫 (gravel)，在 2-0.002mm 間者，稱謂粉砂粒 (sand particle)，在

0.02-0.002mm 間者，稱謂粉砂粒 (粉粒, silt particle)

在 0.002mm 以下者稱謂粘粒 (clay particle)。粘粒為岩石之風化產物，其組成與砂粒，粉粒不同，由前表所列各種土壤分離出來的粘土，其化學組成列於下表：

粘粒部分之來源	深度 (吋)	成份，%										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	有機 物質		SiO ₂
												Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
1. 細砂質壤土	0-12	35.97	32.14	10.70	0.35	0.58	0.52	0.18	0.10	4.65		1.57
2. 壤土	0-8	45.76	31.33	3.29	0.57	0.30	0.20	0.17	0.30	6.41		2.83
3. 砂質壤土	0-9	44.08	18.36	6.45	8.42	3.83	2.34	0.26	0.26	2.19		3.33
4. 砂質壤土	0-12	45.29	22.91	6.40	3.34	4.08	2.33	0.25	0.25	5.84		2.85
5. 砂質粘壤土	0-5	50.51	22.04	8.80	1.48	2.08	2.68	0.06	0.20	4.02		3.10

6. 硬化粘土	0-9	51.79	21.42	7.64	3.06	4.05	2.52	T	0.21	1.45	3.34
7. 粘質壤土	0-9	33.95	36.06	11.02	0.31	0.40	0.56	0.44	0.25	2.25	1.34
8. 細砂質壤土	1-4	41.10	19.67	6.46	1.54	1.92	2.09	0.26	0.29	15.18	2.94
9. 壤土	0-12	44.89	22.59	7.75	1.48	1.44	1.36	0.22	0.28	11.59	2.75
10. 壤土	0-12	38.01	23.30	10.84	1.37	2.34	2.23	0.14	0.44	17.13	2.13
11. 細砂質壤土	0-10	40.35	31.04	10.11	0.51	0.72	0.81	0.24	0.42	4.26	1.83

◎風化指數 (index of weathering)

土壤是由岩石風化而來，其化學組成與母岩之組成及風化程度有關。風化程度大者，鹼類及鹼土類金屬氧化物及氧化矽含量較少，而氧化鋁，氧化鐵含量則較大，故常以氧化矽—氧化鋁比 (silica-alumina ratio), $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ，矽酸—礬土比，氧化矽—三氧化二鋁，鐵比，即 $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ ，(簡寫為 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$) (silica-sesquioxide ratio) 塩基—氧化鋁率，(base-alumina ratio) 即 $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 等，來表示土壤之風化程度。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 及 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 常以粘粒者為準。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 在 3 以上者，風化程度淺，3~2 間者中等，2 以下者很深。

◎礦物組成 (mineralogical composition)

(d.1) 原生礦物 (primary mineral)：母岩中存在之礦物未受風化作用而殘留在土壤中者，稱謂原生礦物 (primary mineral)，原生礦物主要存在於砂粒及粉砂粒部分。廣義之原生礦物係指土壤母質 (parent material) 中之礦物；狹義之定義則僅指火成岩中之礦物，因水成岩，變質岩之最原始來源均為火成岩。

(d.2) 次生礦物 (secondary mineral)：由母岩之風化作用而生成的礦物，名為次生礦物。此類礦物主要存在於粘粒部分。狹義的次生礦物則僅指在土壤中生成者為限，凡礦物在母岩中已生成者為原生礦物，但其在風化過程中生成者為次生礦物。

1 土壤之有機組成 (organic constituents of soil)

土壤中之有機成分，大部分由植物體經微生物之分解作用而生成，包括新鮮的植物體，分解程度不同的分解中間物，乃至不易再分解的膠狀複合物 (colloidal complex) (即為腐植質 humus)。一般土壤含有有機物僅在 3~5% 之間，故稱謂礦物質土壤 (mineral soil)。如有機物含量在 20% 以上，即為有機質土壤 (organic soil)。其中有機物含量在 20~50% 間者，名為腐泥土 (muck soil)，50% 以上者名為泥炭土 (peat)。

①腐植質 (humus)：

植物體經微生物分解時，容易為微生物利用的部分，如纖維，澱粉，醣類，蛋白質等迅速分解而消失，不

易分解的部分如油類，臘，樹脂及木質素則受變化後與微生物之分泌物等結合，而成膠狀複合物，名為 humus (腐植質)。此物或謂木質素—蛋白質之結合物，名為 lignoprotein，並可能有微生物分泌之粘質物 (主要可能為 polyuronides) 等存在其中。

◎碳氮比 C/N (carbon-nitrogen ratio)

植物體之碳氮比相當大，荳科植物 (綠肥) 在 20~30:1 之間，葉稈之碳氮比約為 90:1。一般微生物體則在 4:1~9:1 之間，而一般耕土中有機物之碳氮比為 8:1~15:1 之間，平均在 10:1~12:1 之間。當微生物分解 C/N > 10~12 之有機物之初期，因其碳氮比較高，微生物將有機物之碳供為能源消耗，而以微生物細胞的碳氮比之比例攝取有機物中之碳及氮，故土壤有機物之碳氮比大幅下降，達至平衡值 10~12。如施用有機物之碳氮比低 (<10)，則微生物受供應的碳量限制不能繁殖而將有機氮變成氨，硝酸等無機塩而放出，而提高碳氮比，因此土壤有機物最後之碳氮比落在 10~12 附近。

◎土壤中有機物含量 (organic matter content of soil)

土壤有機物之含量間頗有差異。台灣耕地表土中有機物含量大部分在 1~3% 之間，氮之含量則在 0.1~0.3% 之間。土壤有機物之量與溫度及雨量有密切關係，年平均溫度愈低，及年平均雨量愈高，則有機物含量愈多。故台灣土壤中有機物含量較溫帶、寒帶者遙少。有機質土壤大部份，分布於寒帶的泥沼地，統稱謂泥沼土 (bog soil)，包括腐泥土及泥炭土。

2 土壤膠體 (soil colloid)

土壤中膠狀物質，可分為無機膠體與有機膠體，無機膠體即為粘粒之更細部分，粒徑在 0.0002mm 以下之部分，有機膠體則為腐植質。二者均為土壤中最易參與各種化學變化，影響土壤物理、化學性質最大的部分。

①粘土礦物 (clay minerals)

廣義的定義指土壤中粒徑在 0.002mm 以下之所有礦物。狹義的定義則指層狀矽酸塩礦物中，通常只能成為 0.002mm 以下之粒子存在者。這類礦物係由矽酸四

面體層 (silica tetrahedral layer) 與鋁或鎂八面體層 (alumina 或 magnesia octahedral layer) 互相交錯而成，因其層次交錯情形不同及層次中元素間發生若干同構取代 (isomorphous displacement) 而分為高嶺石類 (kandites 或 kaolin mineral)，蒙特石類 (smectites 或 montmorillonite mineral)，伊來石類 (illites)，蛭石類 (vermiculites)，綠泥石類 (chlorites)，混層礦物類 (mixed layer minerals) 等。

(a.1) 高嶺石類 (kandite minerals)

此類礦物包括高嶺石 (kaolinite)，管狀高嶺石 (halloysite)，狄克石 (dickite)，珍珠陶土 (nacreite) 等。係由一層矽酸四面體與一層鋁酸八面體交錯而成。高嶺石為不規則六邊形片狀結晶，化學式為 $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，構造式為 $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ 。管狀高嶺石則化學式為 $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，構造式為 $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，一般成為管狀結晶。狄克石 (dickite)，珍珠陶土 (nacreite) 均為高嶺石之同質異型 (polytype)。

(a.2) Illite 石類 (illite minerals)

此類礦物係雲母類礦物變化而來，常被認為是水化雲母或含水雲母 (hydromica, hydrous mica) 或稱之謂土壤雲母 (soil mica)。其構造係由兩層矽酸四面體層夾一鋁或鎂八面體層而成，唯矽酸四面體中之矽有一部分被鋁取代，又層與層間之空間有鉀離子等存在，以中和因矽被鋁取代而產生之多餘負電荷而維持電的中性。一般雲母此項四面體層之取代達四分之一之程度，伊來石則少於四分之一。其構造式可寫成 $M_x(\text{Si}_{8-x}, \text{Al}_x)(\text{Al}, \text{Fe}^{\text{III}})_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ，式中 M 為鉀、鈉等鹼類元素。八面體層之元素主要為鋁及三價鐵者，稱為二八面體 illite 石 (dioctahedral illite)，以鎂及二價鐵為主者，構造式為 $M_x(\text{Si}_{8-x}, \text{Al}_x)(\text{Mg}, \text{Fe}^{\text{II}})_6\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ，而稱謂三八面體 illite 石 (trioctahedral illite)。因其由二層四面體層夾住一層八面體層，故常稱之謂 2:1 礦物。

(a.3) 蛭石類 (smectite minerals)

此類礦物與伊來石之構造相似，唯四面體層中矽被鋁置換程度比伊來石還要少，而有些八面體層中鋁被鎂取代，缺少之陽電荷，則由鹼類或鹼土類離子在層間空間來彌補。其構造式可寫成 $M_{x+y}(\text{Si}_{8-x}, \text{Al}_x)(\text{Al}_y, \text{Mg}_y)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ 。主要取代在八面體層者為蒙特石 (montmorillonite)，在四面體層者為 beidellite。smectite 亦有二八面體及三八面體兩大類，montmorillo-

nite, beidellite 均屬於二八面體，而皂石 (saponite) $M_x(\text{Si}_{8-x})\text{Mg}_6\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ，hectorite $M_{x+y}(\text{Si}_{8-x})(\text{Mg}_{6-y}, \text{Li}_y)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ 等屬於三八面體。

Smectite 類礦物之層與層間吸引力不大，可吸附各種置換性離子而吸水，此外受極性化合物之浸入而膨脹，故亦稱之謂膨脹性礦物 (expanding mineral)。

(a.4) 蛭石 (vermiculite)

蛭石亦為膨脹性礦物。其結晶性好者，原非土壤中之粘土礦物，層間陽離子多為和水之鎂離子。其構造為滑石 (talc) 一樣的二八面體礦物，而主要的同構取代 (isomorphous displacement) 發生在四面體層。單位晶格之電荷數則較 smectite 蛭石類礦物為多，但較 illite 石為少。土壤中之蛭石，則多為二八面體，一般認為係由 illite 石經脫鉀後轉變而來。

(a.5) 綠泥石類礦物 (chlorite minerals)

此類礦物之結晶性好的，亦非在土壤中風化作用所產生者。其構造理想式為一層滑石層與一層水滑石 (brucite, 氫氧化鎂, $\text{Mg}(\text{OH})_2$) 層所構成，故與蛭石一樣為三八面體。由地殼中水熱換質作用 (hydrothermal alteration) 所產生者，在一般土壤條件下較易受破壞。一般認為由 illite 石風化產生之蛭石，在層中有氫氧化鋁層產生，而成為鋁質綠泥石 (aluminous chlorite)，其存在似相當普遍。滑石層係由兩層矽酸四面體夾住鎂八面體所成，水滑石層則為鎂的八面體層，故常稱之謂 2:2 (四面體層 2 與八面體層 2) 或 2:1:1 類礦物 (即 2:1 為滑石層，再加一層八面體層之意)。

(a.6) 混層礦物 (mixed layer minerals)

此類礦物可分為規則性及不規則性兩大類。規則性者 (regular mixed layer mineral, regular interstratified mineral)，其單位晶格由兩種層所組成。由 illite 石層及 montmorillonite 層所組成者，為 illite-montmorillonite 石；由 illite 石及綠泥石所組成者為 illite-綠泥石；或綠泥-伊來石。因綠泥石本身亦由滑石層及水滑石層所組成，故可視為一種規則性混層礦物。規則性混層礦物在土壤中甚少見，一般不是在風化條件下產生者。

在土壤中，伊來石，綠泥石等受風化作用後，經常產生不規則性混層礦物，其存在很普遍，但因檢定困難，對其性質所知不多。

⑤ 氧化物類礦物 (oxide minerals)

(b.1) 矽酸膠 (silica gel)

土壤中之矽酸離子在乾燥或在其他適當情況下可能產生矽酸膠，但因其為無定性物，且含量甚低，不易以 x 線法等直接法證明其存在。氧化矽之結晶型一般為石英或白矽石，均非土壤條件下生成的，一般粒子較粗，化學活性甚低。

(b.2) 鋁之和水氧化物 (hydrated oxides of aluminum)

土壤中之鋁離子會沈澱而生成無定形的氫氧化鋁膠，時間久則結晶化成水礬土 (gibbsite) 或稱謂 hydrargillite (γ - $\text{Al}(\text{OH})_3$)。此物脫水後可轉變成 boehmite (γ - $\text{AlO}(\text{OH})$)。水礬土及 boehmite 為鋁礬土 (bauxite) 鋁礬之主要成份，有時亦有水鋁石 (diaspore, α - $\text{AlO}(\text{OH})$)，但水鋁石非風化作用之產物。天然產結晶性氧化鋁即為鋼玉 (corundum, α - Al_2O_3)，亦非風化產物。水礬土 boehmite 等在高溫下脫水成 γ - Al_2O_3 ，此物為準安定相 (meta stable)，安定者為 α - Al_2O_3 ，即鋼玉 (corundum)。無定形氫氧化鋁膠，及結晶性之水礬土，boehmite 均吸附磷酸根，而生成難溶性之磷酸鋁，使磷酸對植物之有效性大受影響。

鋁及鐵之和水氧化物溶解度甚低，殘留於土壤中，而其碱塩及矽酸塩則較易溶解流失，故受化學風化作用程度深的土壤中，鋁、鐵之和水氧化物含量甚高，極端者可視為低級的鋁、鐵礦。

(b.3) 鐵之和水氧化物 (hydrated oxides of iron)

鐵與鋁相似，會生成無定形紅棕色之氫氧化鐵膠 ($\text{Fe}(\text{OH})_3$)。但結晶化後則部分脫水而生成針鐵礦 (goethite, α - $\text{FeO}(\text{OH})$)。在還原狀態下會生成氫氧化亞鐵膠 ($\text{Fe}(\text{OH})_2$)，經久則成同一組成之結晶。但偶氧化則部分脫水而成腎狀針鐵礦 (lepidocrocite, γ - $\text{FeO}(\text{OH})$)。針鐵礦脫水即成為赤鐵礦 (hematite, α - Fe_2O_3)，腎狀針鐵礦亦會轉變成赤鐵礦。磁鐵礦 (magnetite, Fe_3O_4) 在一般情形下由岩漿結晶而出，而不是風化產物。不過在土壤中會氧化成為帶磁性的 maghemite (γ - Fe_2O_3)。以前所謂的褐鐵礦 (limonite)，實係針鐵礦，赤鐵礦以及無定形氫氧化鐵膠之混合物。由於各成份含量不同故會呈紅棕色至黃棕色等不同顏色，在土壤中往往成薄膜蓋覆其他礦物，使其呈現深紅棕色。鐵之和水氧化物與鋁之和水氧化物相似，也會生成難溶性磷酸鐵，其溶解度更低；但在還原狀態下成亞鐵化合物，則其溶解度大增。

◎腐植質 (humus)

呈暗棕色至紅棕色膠狀之土壤有機物，即腐植質 (humus)。腐植質一般具有負電荷，其可溶於強鹼溶液之部分即為腐植質物 (humic material)。如以塩酸使之成為酸性則會沈澱，此沈澱部分即為 α -腐植質 (α -humus) 不沈澱之部分即為黃酸 (fulvic acid)。以苛性鈉中和酸性時部分黃酸會沈澱，此部分即為 β -腐植質。 α -腐植質用酒精處理，可溶於酒精之部分名為 hymatomelanic acid，不溶之部分即腐植酸 (humic acid)。以灰土有機物之元素組成為例，列表如下：

腐植質來源	A ₀ 層黃酸	A ₀ 層腐植酸	B _n 層黃酸	B _n 層腐植酸
C (%)	49.9	58.1	48.4	56.7
H (%)	4.7	5.2	3.3	4.9
N (%)	1.3	2.1	0.6	2.5
O+S (%)	44.1	34.6	47.7	35.9
-COOH	6.1	2.8	9.1	3.7
-OH	2.8	2.9	2.7	2.9
(phenolic)				
-OH	4.6	3.0	4.9	—
(alcoholic)				
CO	3.1	3.0	1.1	—
-OCH ₃	0.3	0.5	0.3	0.4

腐植酸為暗棕色高分子多價酸，其一克當量約為 300 克，分子量在 1,000 以上。

不能以苛性鈉溶液溶出之部分，則稱之謂 humin。

(洪崑煌、陳振鐸)。

參考文獻：

劉和：土壤學 正中書局

朱海帆譯：土壤學 正中書局

土壤肥力 (Soil Fertility)

原義僅指當其他生長因素如氣候環境，土壤物理狀況等均適宜於某植物生長時，土壤能供給該植物生長以適當量，平衡狀態及有效性之植物必需養料的能力或特質。其含義較土壤生產力 (soil productivity) 為狹義，因土壤生產力係指土壤對植物生產之能力，以產量表為示者，而土壤肥力僅為若干決定植物產量因素之一。最近已發展成為土壤學中之一支系，討論範圍包括土壤中植物養分含量，分佈狀態，有效性，影響有效性之因素，植物養分之吸收，體內分佈，生理功用，缺肥鑑定法與合理土壤管理方法藉以增加植物生產等。(張仲民)

參考文獻：

S. L. Tisdale & W. L. Nelson : Soil Fertility and Fertilizers. the Macmillan Company, New York

土壤離子交換現象 (Ion Exchange Properties)

土壤粒子表面一般有負電荷存在，而吸附陽離子以保持電的中性。此陽離子可與其他陽離子進行交換，是為陽離子交換現象 (cation exchange phenomenon)。有些土粒亦具有正電荷，而吸附陰離子以保持電的中性，並表現陰離子交換現象 (anion exchange phenomenon)。單位重量或體積之土壤 (或其他離子交換體 ion exchanger) 所保持之交換性陽離子 (或陰離子) 之量即為此土壤之陽離子 (或陰離子) 交換容量 [cation (or anion) exchange capacity]。一般以 100g 之土壤所保持離子之毫克當量表示之。

土壤中具有離子交換特性者為粘粒及腐植質。其離子交換容量因 pH 及其他測定條件而變化，故表示交換容量時需註明測定方法。

永久電荷 (permanent charge)

粘粒上所吸附之交換性陽離子量不受 pH 影響或離子置換反應時，此部分電荷名為永久電荷。永久電荷一般係由晶格中矽被鋁或被鎂同構取代 (isomorphous replacement) 而發生者，其吸附陽離子純由庫倫力 (coulomb force, 亦即靜電力 electrostatic force) 所支配，故二價離子比一價離子以較大力量吸附其上，三價離子又比二價離子以更大力量吸附。庫倫力大小與二電荷間距離的平方成反比，故能接近粘粒表面者所受吸引力愈大。決定接近距離大小者為和水離子 (hydrated ion) 之大小，即和水離子半徑愈小，則愈可接近粘粒表面，所受吸引力亦愈大。

隨 pH 變化之電荷 (pH-dependent charge)

此部分電荷對氫離子表現特別大的親和力，故 pH 較低時，因氫離子濃度較大，只保持氫離子而不受其他陽離子之交換。pH 高時氫濃度低，而其他陽離子濃度相對的提高，故可將氫離子以其他陽離子交換。此部分電荷一般發生於粘粒結晶之邊緣上，並由其未被飽和之化學鍵所引起，主要者為與矽結合之氫氧基 (常稱之謂 silanol group)。

腐植質之電荷則由 $-COOH$ 及酚質 $-OH$ (phenolic OH group) 之解離所產生，均具有弱酸之性質，故亦屬於 pH dependent charge。

鹽基飽和度 (degree of base saturation)

在陽離子交換容量中，鹽基性陽離子量所佔之百分率即為鹽基飽和度。交換性氫離子所佔之百分率即為鹽基不飽和度 (degree of base unsaturation)。(洪崑煌、陳振鐸)

參考文獻：

劉和：土壤學

朱海帆譯：土壤學

工業廢料和下水道污水的處理 (Treatment of Industrial Wastes and Sewage)

水的污染可以有兩方面，①一般下水道污水 (sewage)；是人類生活活動產生的穢污物質 (human waste) 滲雜在水中造成，②工業廢水，是工業廢料或工業製造過程中廢棄逸出的固體液體氣體所形成的。下水道污水的處理方法，單獨或混合使用機械方法 (mechanical treatment)，化學方法 (chemical treatment) 和活性泥渣 (activated sludge) 的方法，已經相當成熟，這一類的污染已經很快的在控制之中，而工業廢料則因為來源不同，性別特殊，很不易處理。

水的污染不論是工業產生的或是隨同人而有的，他們的污染是因為：①浮懸固體，使水混濁，使水變色，或是有生臭味的泥渣；②有機物質，有機本身可能有害的，在河流或湖泊中分解，用去可溶解的氧，水生的動物 (aquatic life) 因而窒息致死；③酸類，鹼類物質，或有毒化學品，對水生動物有毒，或因而有臭味及不良口味，而不適合作供應之用；和④有病細菌引發疾病。

工業廢料的分類 (classification of industrial wastes)

工業廢料和工業廢水的分類，是依照污染的性質 (nature of the pollutant) 和可能消除的方法，分為四大類。①固體，a 乾燥固體，可以用堆置垃圾堆或放置在廢棄的田野中的；b 浮懸在水中的固體，可以沈澱成為泥渣 (sludge)，或浮在水中成為惡劣的浮渣 (scum)。②油脂 (oil and grease)，潤滑油，潤滑脂，切割油 (cutting oil) 的乳化劑，植物油，在水面產生一層浮油 (sleeks) 或浮渣。③可溶物質，包括 a 無機物質，如食鹽、酸類、鹼類以及各種鹽類等物質；b 有毒離子，可以殺死魚類和其他水生動物的 (氰化物，銅、鉻、鎘、鉛、鋅)；c 從食品工業和其他有機製造工業產生的有機物質，很容易被細菌分解的；d 合成有機物，他們是不活潑的或有毒的，同時不會生化解 (biological decomposition) 的。④揮發性化合物，如同汽油、酒精、醛類和醚類物質，在下水道中可以引起

爆炸的，或是硫化物和有關化合物，是有毒的，或可能產生有妨碍或不愉快的臭味（odor nuisance）。

消滅工業廢料或工業廢水的方法：處理工業廢料或工業廢水的方法，是依他們發生的情形而定的，就是研究工業操作狀況，如何會發生水和操作物質的損失，以及需要廢棄的最後物品情形，採用良好的管家式的管理（good house-keeping）就可大量減少許多不必要的損失。另外最粗淺的辦法，就是從必須處理的廢水中，先把較為純的冷却水分離開。

處理工業廢水的第一步，是減少廢料進入下水道系統。在用水沖洗之前，儘可能的從操作場所和器械中除去固體物質，和在廢水流入下水道之前，用網濾去固體物質。通過濾網的固體可以在機械清除的沈澱中沈澱，這些過濾出的固體，可以回收，燒了，或作為泥渣加以消化處理。如果固體是屬膠質狀態，浮懸在水中，不容易沈澱的，可以調整 pH 值，和加入凝結劑（flocculating agents），如同石灰，明礬、鋁酸鈉、硫酸亞鐵、氯化鐵，或任何可以破壞乳化液的試劑（參閱水的處理），使他們能凝結沈澱出來。酸性或鹼性廢水用中和方法處理，常常可以用兩種或兩種以上不同性質的廢水，達到中和沈澱目的。氧化和還原處理，在凝結沈澱之前，有時也屬需要，作為化學處理的一部份。用化學方法處理所得的固體，有時是有價值的，值得回收，但常常因為濃度太稀了，放注在廢水池中，流在沙床上乾燥，用真空過濾，或棄置垃圾堆中。

但假使固體是有腐爛性質的（putrescible），就得依照處理下水道污水的辦法，用嫌氣性細菌消化（digested anaerobically）。這種消化方法，大部份包括有甲烷發酵作用，發生的氣體可以加以利用。這種嫌氣性細菌發酵消化（anaerobic digestion）方法，可以應用處理酒廠蒸餾污水（distillery slops）、肉類蔬菜果品加工處理工場（packing house）廢水，和其他食品工廠的廢水，不需要先行沈澱，就可以在溶液或浮懸液中敗壞有機物質。這種在濃廢水中破壞有機物質的方法，非常有效，除去穢污效率可達 80 ~ 90 %。

假使廢水中包含有溶解的有機物質，化學方法的凝結（flocculation）和沈澱（sedimentation）還不足有效的除去穢污。如果溶解物質是容易的用化學氧化破壞，用氯化法常是有效的，但假使這種有機物是比較複雜，必需要採用好氣性細菌（aerobic bacteria）破壞的，則可以用標準的下水道污水處理辦法。這些方法包括有①標準或低速洩漏過濾（standard of low-rate

trickling filters），②高速洩漏過濾（high-rate trickling filters），和③活化泥渣法（activated sludge proces）。在洩漏過濾法中，微生物生長在過濾層的石塊上成為一層黏糊（slime），這石層可以有 3-15 呎厚，穢污物質在石濾層的表面淋下，從細菌生長的石縫間漏下。這些好氣性細菌的生長，是用穢污物質的有機物作食物，供應細菌的能量和生長的需要，於是把穢污物質轉變為細菌的細胞組織， CO_2 ， H_2O ，和硝化物。在活化泥渣方法中，細菌同樣的在凝結泥渣中生長，這些泥渣浮懸在充氣池中，空氣經過有孔散布器或用表面攪動引進池中。這些浮懸生長物，叫作活性泥渣（activated sludge），可以用沈澱法移去，而澄清的液體洩放到回收水池中。

在許多工業中用迴流廢水來代替部份補充水（make-up water），節省了很大費用；如果收回的固體是有價值的，蒸發濃的廢水，也是方法之一。存儲廢水在廢水存儲池（lagooning）的辦法，常用來清除泥漿式的穢污固體；廢水池或氧水池的辦法，特別在溫暖和乾燥的天候，是可以有效。在氧化池中的清潔原理，和在洩漏過濾以及活性泥渣方法對於破壞有機物的情形相似，祇是細菌植物（biological flora）是用青綠的海藻（algae）滋長的，海藻因為光合成的作用，在水中增加了溶解的氧。

因為核能計劃的快速發展，產生了一種新的污染廢料。自從原子分裂（atomic fission）所生的廢料，是放射活潑的（radioactive），他們活性程度，是依同位素的不同，長短不一，從幾秒鐘一直到千百萬年不等。他們的活性度，可以用吸附在化學團塊，微生物群（biological flocs）如同活性泥渣的，用離子交換樹脂，或用不活潑物料沖稀，減輕活性到安全程度。但比較濃的廢料，則埋葬在荒廢地區，或存裝在鉛罐或水泥罐中，放棄在海中。

污水檢驗的實驗室試驗方法，普通是採用美國 APHA 的水和下水道污水的標準分析法（standard methods of water and sewage analysis）。浮懸物質用 Gooch 漏斗過濾法測定，溶解物質是把濾去浮懸物質的濾液蒸發乾燥後測定，他們的結果用 mg/ℓ 或 $\mu\text{g}/\ell$ 表示，或轉變成磅/日，噸/日，或其他成品的單位，最重要的試驗是生化氧需要量（biochemical oxygen demand, BOD）試驗，測定河流中有機物可以有生化分解（biological decomposition）情形的氧需要數量。測定的方法，是用標準的稀釋水培養廢料樣品，在五天（或更多天）以後