

中国土壤中粘粒矿物的分布规律

熊毅 許冀泉

(中国科学院土壤研究所)

土壤粘粒部分的組成和性質在土壤发生学及土壤肥力特性的研究中都占很重要的位置。过去认为土壤粘粒中的无机物都是非晶形的，自从伦琴射线衍射应用到土壤学研究中后，大家都公认土壤粘粒部分含有晶形结构的矿物。有些分散极细或结构不很规则的无机胶体不能使伦琴射线产生清楚的干涉圈，虽可用电子衍射谱来确定其结构，但不能认为土壤粘粒中没有非晶形物质。所以，土壤粘粒中有晶形的矿物，也有非晶形的矿物。

土壤粘粒矿物不仅包括层状铝硅酸盐，也包括硅、铝、铁的氧化物。粘土矿物一般是指层状铝硅酸盐。土壤粗粒部分的层状铝硅酸盐也属于粘土矿物，但不是粘粒矿物。土壤学家主要是研究土壤中最活泼的物质——粘粒——的矿物组成，所以，不仅要研究粘粒中的层状铝硅酸盐，也要研究氧化物和其他矿物。但在土壤发生学的研究中，我们不仅要研究粘粒矿物，有时还要研究粗粒部分的层状铝硅酸盐和氧化物，甚至于一些原生矿物。

有关我国土壤中粘粒矿物的分布情况，近几年来已进行了很多工作，积累了不少资料，本文是一个初步总结。

一、伊利石

伊利石是土壤中普遍存在的一种粘粒矿物，含量幅度很宽。我国黄土和黄土状物质以及河流沉积物中伊利石的含量很高^[1,2,3]。土壤中的伊利石很多是由母质遗留下来的，但也有很多是原生矿物初步风化的产物。所以，土壤中含有大量伊利石既可说成土作用的影响微小，也可说很强，这要看所处环境和成土母质的类型而定。我国荒漠和半荒漠地区的土壤中伊利石的含量很高。新疆霍城的灰钙土和甘肃嘉峪关的灰棕荒漠土 <5 微米部分约有三分之一是伊利石^[3]；内蒙赛汉塔拉古老结晶岩风化物所发育的棕钙土也含有很多的伊利石，<1 微米部分含 K_2O 2.53—3.08%^[4]。苏联荒漠及半荒漠地区沉积岩和火成岩上发育的土壤，其粘粒矿物中的主要组成部分也是伊利石，说明这些土壤的生物气候条件只能使原生矿物风化到伊利石阶段^[20]。西北黄土高原地区的土壤和华北半干旱地区的褐土也含有很多伊利石，由河流沉积物所发育的浅色草甸土中伊利石含量更多^[2,5,31]。黑龙江五大莲池老火山熔岩残积层发育的土壤 <1 微米部分以伊利石为主，含 K_2O 1.21—1.73%^[21]，白浆土 <1 微米部分也是以伊利石为主^[6]。西藏高原高山土壤 <1 微米部分伊利石含量更高^[7]。

淮河以南，随着雨量的增高，伊利石含量显著减少，但在富含云母类矿物的母质上发育的土壤中，伊利石仍然占重要地位。下蜀黄土所发育的土壤含有较多的伊利石，其 <5 微米部分有三分之一是伊利石^[31]。南京附近由紫色頁岩发育的土壤中 <1 微米部分含 K_2O 3.6—4.2%^[8]。江西新建万寿宫由千枚岩发育的壤土 <5 微米部分含 K_2O 约 3%^[9]。

湖南长沙由第四纪红色粘土发育的紅壤性水稻土 < 2 微米部分含 K_2O 2.57—2.78%；广东珠江三角洲冲积物所发育的水稻草甸土 < 1 微米部分也含有 2.01—2.25% 的 K_2O ^[3]。昆明附近由砂岩发育的紅壤 < 1 微米部分含 K_2O 2.36—2.60%；頁岩发育的紅壤 < 1 微米部分含 K_2O 1.06—1.53%^[10]。这些都是伊利石含量較高的土壤。尽管山地黃壤的淋溶作用相当強烈，但其粘粒部分仍含有不少伊利石。广东防城由紫色砂岩发育的黃壤 < 1 微米部分含 K_2O 約 2%^[11]。海南島通什阿陀岭由花崗岩发育的黃壤 < 1 微米部分含 K_2O 0.4—0.6%^[12]。海南島北黎热带的紅褐土（即稀树草原土）以及云南普文和广西凌乐由砂頁岩发育的紅壤中都含有較多的伊利石^[12,13]。根据近几年来我国土壤粘粒矿物的研究，除砖紅壤、紅色石灰土等少数在基性母岩或石灰岩古风化壳上发育的土壤外，几乎所有的土壤（包括紅壤和黃壤）都含有或多或少的伊利石。一般土壤中伊利石的含量有随剖面向上遞減的趨勢。

二、蛭石和綠泥石

蛭石是云母和伊利石等 2:1 型层状硅酸盐經过脫鉀作用，減低层間电荷而形成的^[33,42]。黑云母經 Mg 处理可得 14 Å 晶层間隔的蛭石^[23]，这种蛭石属三八面体^[53]。白云母和伊利石可形成二八面体的蛭石^[32]，一般土壤中所存在的蛭石以这一种类型为多^[30,32,41,55]。

我国半干旱和半湿润地区的土壤中都含有蛭石与伊利石伴随存在。河北、河南等省黃土性母质或其它母质所发育的褐土都含有大量蛭石并随剖面向上而增多，与伊利石互为消长^[5]。西藏高原南部山地灌木草原土中蛭石的相对含量比当地其它土壤为高^[7]。大量的蛭石分布在貴州高原和川东山地发育于紫色砂岩风化物的黃壤粘粒中（本所最近資料）。在昆明附近，由頁岩发育的紅壤含有大量蛭石^[10]，在石灰岩古风化壳上发育的砖紅壤，除高岭石、埃洛石、三水鋁矿和赤鉄矿等外，亦含有不少蛭石^[10,31]。云南东南部和广西西部由石灰岩发育的紅色石灰土和棕色石灰土的粘粒矿物中，除在 C 层可以見到伊利石外，上部土层中只有大量蛭石与高岭石伴存^[14]。这一带土壤中含有大量蛭石，正可以区别于华南紅壤和砖紅壤地区的土壤。华南的紅壤和砖紅壤不經常有蛭石^[13]，但华南的山地黃壤往往含有不少蛭石^[11]。

蛇紋岩等基性火成岩的风化物和一些沉积岩中常見三八面体型的鉄鎂綠泥石，这种矿物易于风化，在土壤中不多見，特别是酸性土壤中更少見^[41]。土壤中多半是二八面体型的次生綠泥石，它是云母晶层中間夾着带正电荷的鋁、鉄或鎂的氢氧化物的矿物，这是成土过程的产物，在风化过程中它是蛭石的后一步^[26,28,33,35,36,39,46]。目前国内还没有关于这类矿物的报导。在广东防城十万大山由紫色砂岩所发育的山地黃壤粘粒中有較多的綠泥石与伊利石伴存，广西凌乐山地黃壤 C 层亦有少量綠泥石存在，这种綠泥石可能来自母质^[11]。在青藏高原东部山地森林土壤和山地草甸土中也有这种綠泥石（最近資料）。

三、濛脫类矿物

土壤中的濛脫类矿物多来自成土母质，但也可以由伊利石、蛭石或綠泥石轉变而来，也可由溶解物质及非晶形物质合成。水流停滞地区的沉积物常多含濛脫类矿物，可能是分选作用的结果。如渗透水和径流水含有多量的两价阳离子，可有利于濛脫石的形成^[34]。

在強烈的淋溶作用下,如矿物晶层間沒有充足的阳离子,綠泥石可变成蒙脫,美国威斯康辛州北部的粗砂質棕色森林土,因表层渗透性高,云母中的鉀被洗去,很快通过蛭石及綠泥石而变成蒙脫,可是,在C层由于土壤渗透性較差,含綠泥石較多^[54,55]。

蒙脫类矿物一般分布于黑鈣土、栗鈣土等草原土壤中。內蒙集宁由花崗岩发育的暗栗鈣土和鄂尔多斯东部紫紅色砂砾岩发育的淡栗鈣土的粘粒矿物中都含有很多蒙脫^[15]。新疆霍城灰鈣土 <5 微米部分亦含有不少蒙脫石^[31]。西藏高原中部高山草原土和山地灌木草原土的鈣积层中,蒙脫相对含量較高,在喜馬拉雅山南坡山地灰化土的 A₂ 层也含有大量蒙脫^[7]。母質对蒙脫的分布也有很显著的影响。苏联研究者报导,发育于黄土物質的黑鈣土以拜来石为主,发育于第三紀紅色粘土的黑鈣土以高岭类矿物和非晶物質为主^[20]。美国中部的黄土物質和冰川泥所发育的湿草原土、灰棕壤、灰化土和灰壤都含有高量的蒙脫类矿物^[43]。还有人認为冰川泥发育的土壤中的蒙脫类矿物来自母質,而非成土作用的产物^[24]。由黄土母質发育的东北黑鈣土,在 <1 微米部分就含有很多蒙脫石,若从其中分离出 < 0.1 微米部分,蒙脫含量更为显著^[16]。在华北平原,由黄土性母質所发育的褐土以含有或多或少的蒙脫而与发育于其它母質的褐土有所不同^[5],看来,也是受母質的影响所致。南京近郊由花崗岩和紫色頁岩发育的黄棕壤C层含有蒙脫,但剖面上部蒙脫显著減少,其量与附近由輝长岩或石灰岩发育的土壤相近^[8]。四川重庆紫色頁岩发育的紫棕壤,其C层也同样含有較多的蒙脫^[31]。我国黄褐土和黄棕壤地区似乎是蒙脫类矿物分布的南界。南亚热带和热带地区的土壤中,蒙脫极为罕見,只有在某些黑色石灰土^[41]、水稻土^[3]和发育于新噴出岩的幼年土壤^[12]中可以見到少量蒙脫存在,这可能是石灰岩和玄武岩含有較多的两价阳离子的关系。在国外也有报导,由这些岩石发育的黑色石灰土和黑棉土都含有較多的蒙脫^[38,45]。

四、高岭类矿物

土壤中的高岭石和埃洛石可能是从母質遗留下来的,也可能是由 2:1 型层状硅酸盐矿物演变而来的,也可能是由三水鋁矿复硅而成或由水鋁英石演变而来。鉀长石可以經次生云母而轉变为高岭石^[44],但鈉长石可以轉变为埃洛石^[29]。氧化鋁的复硅作用,第一步是轉变为三水鋁矿的結構,接着是部分脫水使 OH 变为 O 并与硅氧四面体結合,再經過氧化硅的重新定向排列^[50]。高岭石可以变为水鋁英石和游离氧化物^[51,52]。古老埋藏火山灰中的水鋁英石可經复硅作用而变为埃洛石,如硅不够多則形成結晶的三水鋁矿和埃洛石^[32]。水鋁英石多分布于火山灰发育的土壤中^[25,37,48,56],但在砖紅壤中也可由高岭石轉变而来^[51]。

高岭类矿物是热带和亚热带土壤的一种指示矿物^[20,31]。我国东北、西北、华北和青藏高原的土壤中虽也含有高岭,但为量甚少,既非优势矿物,也非指示矿物。在黄棕壤和黄褐土地区,土壤粘粒矿物中高岭含量显著增高,說明脫硅作用已开始,1:1 型层状硅酸盐已逐漸形成。南京地区土壤中的粘粒矿物,含有較多高岭,由岩石組成与粘粒矿物分布的关系可以看出,斜长石可风化为埃洛石,而正长石則可同时形成蒙脫、伊利石和高岭石^[8]。四川峨嵋玄武岩发育的灰棕壤,粘粒矿物中約有五分之一是高岭石^[31]。青藏高原边缘亚东地区花崗岩发育的棕壤^[7]和四川盐源盆地冰磧物上的紅壤中都含有較多的高岭石(最

近資料)。

在紅壤地区,高岭石含量显著增多。江西第四紀紅色粘土及其所发育的土壤,从北而南,伊利石逐渐减少,而高岭石逐渐增加^[17]。同一地带的山地黃壤,虽亦含有多量的高岭石,但其含量远逊于紅壤,其中还有大量的伊利石和蛭石^[21]。貴州貴陽的黃壤,除高岭石外,还有埃洛石存在^[21]。紅色石灰土以及在石灰岩古风化壳上发育的其它土壤,如广西武鳴的紅壤和云南昆明的砖紅壤,除高岭石外,也有不少蛭石^[14,31]。即使在閩粵沿海、海南島和云南南部等地的紅壤和砖紅壤地区,土壤中高岭石虽很多,但仍不能成为绝对优势。只有在雷州半島南部和海南島北部的玄武岩古风化壳上形成的砖紅壤中伊利石和蛭石才隱匿不見^[12,13,18]。

五、游离氧化物

硅、鋁、鐵的氧化物可来自母質殘遺,也可能是成土过程中其它矿物的风化产物。鉄、鋁氧化物虽可来自硅酸盐的骨骸,但多数是由母質风化产物再沉淀而成。

三水鋁矿是在常温下能够形成的唯一氧化鋁矿物。土壤中三水鋁矿的含量可作为脫硅作用或富鋁性风化作用強弱的标志。我国北方的石灰性土壤中不含三水鋁矿,大致在长江或北緯 30° 以南才有出現。安徽黃山发育于花崗岩的山地黃壤的粘粒矿物中有少量三水鋁矿^[19]。西藏高原南部堆龙德庆亚高山草甸土在剖面上部三水鋁矿較多;喜馬拉雅山南坡亚东山地棕壤和山地灰化土中則在剖面下部較多^[7]。美国也有資料說明老的山地土壤中含有較多量的三水鋁矿^[22,27]。江西南昌附近丘陵紅壤中三水鋁矿的分布因成土母質而有差异,花崗岩发育的紅壤粘粒矿物中其三水鋁矿含量比千枚岩发育的紅壤为多^[8]。第四紀紅色粘土发育的紅壤及其水稻土含三水鋁矿很少。同属水稻土,由于地区不同,三水鋁矿的含量也有差异,广东博罗花崗岩风化物所形成的紅壤性水稻土的粘粒矿物中所含的三水鋁矿就比江西資溪同类水稻土为多。同时,后者含伊利石較多而高岭石較少^[3]。一般中亚热带紅壤中的三水鋁矿比南亚热带紅壤中較少。山上的黃壤中三水鋁矿的含量一般比山下的紅壤多,并且随着海拔增高而有增加的趨勢^[21]。砖紅壤中一般含有較多的三水鋁矿^[12,18]。由此可以推断,生物水热条件与矿物风化程度有密切的关系。但有些紅壤和砖紅壤的粘粒矿物中三水鋁矿极少,这可能是母質的矿物組成限制了三水鋁矿的形成或有利于三水鋁矿經复硅作用形成高岭石^[13],也可能是三水鋁矿的結晶較大,分布在較粗的粒級中。广东化县花崗岩发育的紅壤 C 层,三水鋁矿主要分布在 >5 微米的顆粒中, <5 微米部分以高岭石为主,但亚表土中無論顆粒粗細都不見三水鋁矿,只見高岭石与石英共存(最近資料)。

赤鉄矿和針鉄矿多由母質风化物沉淀結晶而成,針鉄矿可能是由非晶形氧化鉄老化,或碳酸鉄氧化而成^[47]。赤鉄矿以紅壤和砖紅壤中含量最多,可作为一种指示矿物。

我国北方土壤中含氧化鉄較少, <1 微米或 <5 微米部分的氧化鉄含量一般在 10% 以下^[31]。南方土壤含氧化鉄較多,但由于母質不同,含量亦有差异。贛北星子第四紀紅色粘土发育的黃紅壤,其 <1 微米部分含氧化鉄 12—14%, 贛南泰和同类母質发育的紅壤 <1 微米部分含氧化鉄 10—12%, 根据伦琴射綫分析,紅壤中含有較多赤鉄矿,而黃紅壤中可能是另一种形态的含鉄矿物^[17]。福建南靖花崗岩发育的紅壤, <1 微米部分含游离氧

化鉄約 8%，同类母質的山地黄壤游离氧化鉄含量更少，仅 3—4%，但附近由玄武岩发育的紅壤 < 1 微米部分游离氧化鉄可高达 14—15%。广西凌乐山地黄壤剖面各层 < 1 微米部分游离氧化鉄含量变化于 10% 到 26% 之間，但山下同类母質发育的紅壤仅 10—12%^[11,13]。

砖紅壤中赤鉄矿及針鉄矿的含量較高，但也因成土母質和其他成土条件不同而异。云南南部大勐龙由古老洪积物发育的紅色砖紅壤 < 1 微米部分含游离氧化鉄 11%，河口由片麻岩发育的黄色砖紅壤 < 1 微米部分含游离氧化鉄 19—24%，可能以針鉄矿为主^[13]，云南昆明由石灰岩发育的砖紅壤 < 5 微米部分含氧化鉄 23%^[31]。雷州半島由玄武岩发育的紅色砖紅壤(徐聞)可能含有赤鉄矿，而黄色砖紅壤(曲界)中可能是針鉄矿^[28]。根据其它国家的資料，砖紅壤中含有 20—30% 的游离氧化鉄，如在干湿季节交替变化的地区，赤鉄矿和針鉄矿的含量可更高，达 35—50%^[31]。紅壤地区氧化还原作用強烈引起鉄質結核的形成。据分析，这些結核中可能含有 70—85% 的赤鉄矿或針鉄矿。灰化作用所形成的結核以赤鉄矿为主，潛渍作用所产生的結核以針鉄矿为主^[32]。

在这里还要談一談的是氧化鈦，这是比較穩定的矿物，由它的含量可以說明成土作用的強度。我国北方的土壤中 < 5 微米部分氧化鈦含量不到 1%，紅壤及灰化土可含 1—2%，而砖紅壤可高达 5%^[31]。美国夏威夷砖紅壤中銳鈦矿及鈦鉄矿含量可高达 20%^[51]。

六、成土作用与土壤粘粒矿物組成的关系

土壤中的粘粒矿物很多是成土母質殘留下来的，特别是冲积物和风化較弱的母質所形成的幼年土壤，成土作用不强，土壤中的粘粒矿物多半来自成土母質，但是，也有很多粘粒矿物是母質中的矿物演变而来的，也有一些是由溶解物質和非晶形物質合成的。过去土壤发生学的理化性質研究，多从化学元素出发，虽也可說明一些問題，但不甚透彻。土壤粘粒矿物的組成及其演变，不仅可說明各土壤間胶体性質的差异，还可反映土壤形成过程的类型和程度，但目前这方面的工作还不很多，缺乏系統的資料，是正在向前发展的研究課題。

成土作用对于土壤粘粒矿物的組成有很深刻的影响。一般來說，干冷气候条件下的土壤中含有相当量的原生矿物，湿热气候下的土壤有較多的氧化铝、氧化鉄及氧化鈦等較为穩定的矿物，过渡气候带的土壤多含层状硅酸盐。荒漠和半荒漠地区的土壤粘粒矿物以伊利石为主，黑鈣土及栗鈣土区的土壤除有大量伊利石外，还伴有不少濃脱类矿物；褐土区的土壤除有大量伊利石外还有不少蛭石，北亚热带土壤的粘粒中伊利石和蛭石減少而高岭石漸增；中亚热带紅壤的粘粒以高岭类矿物为主，但也有少量伊利石和蛭石；南亚热带和热带的土壤則除高岭石外，还含有較多的三水鋁矿和赤鉄矿。根据不同生物气候带土壤粘粒矿物的分布情况，可以推論层状硅酸盐的演变有如下的序列：伊利石→伊利石、蛭石→伊利石、蛭石、高岭→高岭、蛭石→高岭、三水鋁矿。

气候虽可影响矿物的变化，但由于成土母質中所含的矿物种类不同，各矿物的組成和化学性質又有很大的差异，所以，矿物在成土过程中的变化也不一样。土壤母質中的矿物如属于較难风化的类型，而又有足量的两价金属离子或其它离子，很难在成土过程中发生变化而仍殘留于土壤中。土壤渗透性能的好坏可影响矿物风化物的淋溶或聚集的速度，

可加速或阻碍矿物的变化。土壤渗透性良好，可以加强淋溶作用而留下含阳离子或硅较少的矿物，如拜来石、高岭石、三水铝矿和水铝英石。土壤母质对土壤粘粒矿物组成的影响例证很多^[3,5,8,10,20,32]。同属第四纪物质，黄土所发育的土壤多含伊利石，而红色粘土所发育的土壤多含高岭。同属红壤亦因母质不同而三水铝矿的含量有差异。

地形的起伏和地面的坡向不同，引起小气候的变化并影响土壤水分的运行，同样会影响土壤粘粒矿物的演变。例如，在岩隙或局部低凹处形成的黑色石灰土，由于所处环境比较阴湿，排水不畅，淋溶弱，所以，其粘粒矿物组成与附近石灰岩山区常见的棕色石灰土迥然不同，黑色石灰土的粘粒中含有大量伊利石和少量蒙脱^[4]。有些山地黄壤随海拔升高而粘粒中三水铝矿的含量增加。此外，土壤经过干湿交替的过程，还可促使铁质矿物的演变。

成土时间的长短也可影响粘粒矿物的变化。成土时间长久，即在温暖过渡地带也可加深矿物的风化。同在一个地区，成土时间较长的土壤中所含的粘粒矿物就比成土时间较短的土壤中的为稳定。黑龙江省五大莲池火山熔岩残积层发育的土壤，成土年龄由300年增至1,000年，蒙脱类矿物减少而高岭石随之出现^[21]。在海南岛近期火山喷出岩发育的热带幼年土中还可出现少量蒙脱^[12]。

土壤矿物演变的生物因素也是十分重要的。植物残渣不仅含有大量的金属元素和硅，还可在土壤溶液中加入有机化合物，络合铁铝而促进硅酸盐和氧化物的释放和淋溶，这就是络合淋溶作用^[9]。有些灰化土的A₂层中有大量的蒙脱，就是这方面的例子。

如上所述，土壤中粘粒矿物的演变与土壤形成过程紧密联系。成土因素对土壤形成的影响是综合的，但在不同环境条件下，占优势的成土因素并不一样，粘粒矿物的组成和演变也因而具有不同的特点。

参 考 文 献

- [1] 熊毅：由更新统沉积物的胶体矿物分析试论第四纪气候。地质学报，32卷，1—2期，26—41页，1952。
- [2] 熊毅、許冀泉、蔣劍敏：中国土壤胶体研究：I. 黄土胶体的矿物组成和性质。土壤学报，6卷，2期，89—98页，1958。
- [3] 张效年：中国水稻土的粘粒矿物。土壤学报，9卷，3—4期，81—102页，1961。
- [4] 汪安球：内蒙荒漠草原棕钙土的形成及其特性。土壤学报，10卷，4期，341—353页，1962。
- [5] 許冀泉：中国土壤胶体研究：III. 褐土胶体的粘粒矿物组成。土壤学报，9卷，3—4期，103—109页，1961。
- [6] 曾昭顺、庄季屏、李美平：论白浆土的形成和分类问题。土壤学报，11卷，2期，111—129页，1963。
- [7] 許冀泉、楊德涌：中国土壤胶体研究：VI. 西藏高原几种主要土壤的粘粒矿物组成和演变。土壤学报，12卷，3期，275—285页，1964。
- [8] 唐誦六、蔣梅茵、虞鎖富、顧新运、許冀泉：中国土壤胶体研究：IV. 南京地区几个土壤剖面的粘粒矿物研究。土壤学报，11卷，2期，261—274页，1963。
- [9] 李庆远、王美珠、张效年：我国红壤区某些主要土类钾的含量、状态及含钾矿物转化的规律。土壤学报，9卷，1—2期，22—36页，1961。
- [10] 赵其国：昆明地区不同母质对红壤发育的影响。土壤学报，12卷，3期，253—265页，1964。
- [11] 虞鎖富、許冀泉：华南山地黄壤的粘粒矿物组成。(未刊稿)
- [12] 张效年：海南岛热带土壤的粘粒矿物。土壤学报，11卷，1期，36—51页，1963。
- [13] 蔣梅茵、許冀泉：几种亚热带和热带土壤的粘粒矿物组成。(未发表资料)
- [14] 顧新运、許冀泉：中国土壤胶体研究：V. 滇桂地区石灰岩发育的三种土壤的粘粒矿物组成和演变。土壤学报，11卷，4期，411—416页，1963。
- [15] 文振旺、徐琪、李錦、蔡蔚祺、方文哲：内蒙古自治区土壤地理区划。土壤专报，34号，41—108页，1959。
- [16] 中国科学院土壤及水土保持研究所土壤胶体组：X-射线分析证实东北黑土中有蒙脱类矿物存在。科学通报，1960年，8期，254—255页，1960。

- [17] 許冀泉:江西省紅壤的粘土矿物組成。(未发表資料)
- [18] 张效年、李庆遠:华南土壤的粘土矿物組成。土壤学报, 6卷, 3期, 178—192頁, 1958。
- [19] 戴昌达、文振旺、张俊民、方文哲、毛慕永:黄山土壤的垂直分布和基本性質。土壤学报, 6卷, 1期, 54—64頁, 1958。
- [20] Горбунов, Н. И.: Закономерности распространения глинистых минералов в главнейших типах почв СССР. Почвоведение, № 2, 1956.
- [21] Горбунов, Н. И. и Сун Да-чен: Образование вторичных минералов на первой стадии формирования почв. Доклады советских почвоведов к VII международному конгрессу, Изд. АН СССР., Москва, 1960.
- [22] Alexander, L. T., Hendricks, S. B. and Faust, G. T.: Occurrence of gibbsite in some soil-forming materials. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 6, pp.52—57, 1942.
- [23] Barshad, I.: Vermiculite and its relation to biotite as revealed by base exchange reactions, X-ray analyses, differential thermal curves and water content. Amer. Mineral., V. 33, pp. 655—678, 1948.
- [24] Beavers, A. H.: Source and deposition of clay minerals in Peorian loess. Science, V. 125, p. 1285, 1957.
- [25] Birrell, K. S. and Fields, M.: Allophane in volcanic ash soils. J. Soil Sci., V. 3, pp. 156—166, 1952.
- [26] Brown, G.: Soil morphology and mineralogy. A Qualitative study of some gleyed soils from North-west England. J. Soil Sci., V. 5, pp. 145—155, 1954.
- [27] Coleman, N. T., Jackson, M. L. and Mehlich, A.: Mineral composition of the clay fraction: II. of several coastal plain, Piedmont, and mountain soils of North Carolina. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 10, pp. 81—85, 1950.
- [28] Dixon, J. B. and Jackson, M. L.: Properties of integradiant chlorite-expandable layer silicates of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 26, pp. 358—362, 1962.
- [29] Hay, R. L.: Origin and weathering of late pleistocene ash deposits on St. Vincent, B.W.I. J. Geol., V. 67, pp. 65—87, 1959.
- [30] Hathaway, J. C.: Studies of some vermiculite-type clay mineral. Proc. 3rd Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals, pp. 74—86, Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council pub. 395, Washinton, D. C., 1955.
- [31] Hseung, Y. and Jackson, M. L.: Mineral composition of the clay fraction: III. Some main soil groups of China. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 16, pp. 294—297, 1952.
- [32] Jackson, M. L.: Frequency distribution of clay mineral in major great soil groups as related to the factors of soil formation. Proc. 6th Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals, pp. 133—143, Pergamon Press, New York, 1959.
- [33] Jackson, M. L., Hseung, Y., Corey, R. B., Evans, E. J. and Vanden Heuvel, R. C.: Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments: II. Chemical weathering of layer silicates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 16, pp. 3—6, 1952.
- [34] Jackson, M. L. and Sherman, G. D. Chemical weathering of minerals in soils. Advances in Agronomy, V. 5, pp. 219—318, 1953.
- [35] Jeffries, C. D., Rolfe, B. N. and Kunze, G. W.: Mica weathering sequence in the Highfield and Chester soil profiles. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 17, pp. 337—339, 1953.
- [36] Klages, M. G. and White, J. L.: A Chlorite-like mineral in Indiana soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 21, pp. 16—20, 1957.
- [37] Kanno, I.: A pedological investigation of Japanese volcanic ash soils. Trans. 6th Inter. Congre. Soil Sci. V. E, (Com. V), pp. 105—109, 1956.
- [38] Kunze, G. W. and Templin, E. H.: Houston Black clay, the type grumusol: II. Mineralogical and chemical characterization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 20, pp. 91—96, 1956.
- [39] Rich, C. I.: Aluminum in interlayers of vermiculite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 24, pp. 26—32, 1960.
- [40] Rich, C. I. and Obenshain, S. S.: Chemical and clay mineral properties of a Red-Yellow Podzolic soil derived from muscovite schist. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., V. 19, pp. 334—339, 1955.
- [41] Rich, C. I. and Thomas, G. W.: The clay fraction of soils. Advances in Agronomy., V. 12, pp. 1—39, 1960.
- [42] Rolf, B. N. and Jeffries, C. D.: A new criterion for weathering of soils. Science, V. 116, pp. 599—600, 1952.
- [43] Ross, C. S. and Hendricks, S. B.: Minerals of the montmorillonite group (Their origin and relation to soils and clays). U. S. Geol. Survey Prof. Paper 205—B, 1945.

- [44] Sand, L. B.: On the genesis of residual kaolins. *Amer. Mineral.* V. 41, pp. 28—41, 1956.
- [45] Sawhney, B. L. and Jackson, M. L.: Soil montmorillonite formulas. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, V. 22, pp. 115—118, 1958.
- [46] Sawhney, B. L.: Aluminum interlayers in clay minerals. *Trans. 7th Inter. Congt. Soil Sci.*, V. IV. pp. 476—481, 1961.
- [47] Schwertmann, U.: Die fraktionierte Extraktion der freien Eisenoxyde in Böden, ihre mineralogischen Formen und ihre Entstehungsweisen. *Z. Pflanzenernähr. Dung. Bodenk.*, 84, 194—204, 1959.
- [48] Sudo, T. and Takahashi, H.: Shapes of halloysite particles in Japanese clays. *Proc. 4th Natl. Conf. on Clays and Clay Minerals*, Natl. Acad. Sci-Natl. Res. Council pub. 456, pp. 67—79, 1956.
- [49] Swindale, L. D. and Jackson M. L.: Genetic processes in some residual podzolised soils of New Zealand. *Rapports 6th Inter. Congr. Soil Sci.* V. E, pp. 235—239, 1956.
- [50] Tamura, T. and Jackson, M. L.: Structural and energy relationships in the formation of iron and aluminum oxides, hydroxides and silicates. *Science*, V. 117, pp. 381—383, 1953.
- [51] Tamura T., Jackson, M. L. and Sherman, G. D.: Mineral content of Low Humic, Humic and Hydrol Humic Latosols of Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, V. 17, pp. 343—346, 1953.
- [52] Tanada T.: Certain properties of the inorganic colloidal fraction of Hawaiian soils. *J. Soil Sci.*, V. 2, pp. 83—96, 1951.
- [53] Walker G. F.: The decomposition of biotite in the soil. *Min. Mag.*, V. 28, pp. 693—703, 1949.
- [54] Whittig, L. D., and Jackson, M. L.: Interstratified layer silicates in some soils of northern Wisconsin. *Proc. 3rd Conf. on Clays and Clay minerals*, Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council pub. 395, pp. 322—336, 1955.
- [55] Whittig, L. D. and Jackson, M. L.: Mineral content and distribution as indexes of weathering in the Omega and Ahmeek soils of northern Wisconsin. *Proc. 4th Conf. on Clays and Clay Minerals*, Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council pub., 456, pp. 362—371, 1956.
- [56] Whittig, L. D., Kilmer, V. J., Roberts R. C. and Cady, J. G.: Characteristics and genesis of Cascade and Powell soils of Northwestern Oregon. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, V. 21, pp. 226—232, 1957.

FREQUENCY DISTRIBUTION OF CLAY MINERALS IN THE SOILS OF CHINA

Y. HSEUNG AND C. C. HSU

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

(ABSTRACT)

The present paper deals with the frequency distribution of clay minerals in the soils of China. The soils in the arid and semiarid regions of northern China contain large amount of illite. South of the Hwai River, the content of illite is decreased markedly with the increase of rainfall. However, illite is still dominant in the soils derived from micaceous parent materials. Except the laterite and some terra-rossa, all soils including red and yellow earths contain more or less illite.

Vermiculite and chlorite are always associated with mica and illite. In the soils of semiarid and subhumid regions, vermiculite is a common accessory mineral of illite. In the tropic and subtropic regions, vermiculite is usually associated with kaolin in the red and yellow earths, but not found in the laterites.

Montmorillonite has been identified in the clays of chernozem and chestnut earth. Small amount of montmorillonite is also found in rendzinas, paddy soils and some young soils derived from recent effusive volcanic rocks.

Kaolinite is an indicative mineral of tropic and subtropic soils. It is present obviously in the yellow-brown earths and is higher in the red earths. In the lateritic soils, the content of kaolinite is very high but not absolutely predominant. In the laterites, where both illite and vermiculite do not exist, kaolinite is then present dominantly as the only mineral of layer silicate.

Gibbsite is an indicative mineral of allitic weathering. It is absent in the calcareous soils of northern China, but occurs popularly in the soils south of the Yangtze River or south of 30° north latitude. Both iron and titanium oxides also accumulated in the red earths and laterites.

Illite is a predominant clay mineral in the desert soils. In chernozem and chestnut earth, montmorillonite has been identified although a large amount of illite is present. In the drab soils, vermiculite is usually associated with illite. In the soils of northern subtropic region, kaolinite increases markedly, while illite and vermiculite decrease. In the red earths of middle subtropic region, though kaolinite predominates, there is still appreciable amount of illite and vermiculite. In the soils of southern subtropic and tropic regions, liberal amounts of gibbsite and iron oxide are associated with kaolinite. According to the distribution of soil clay minerals in different climatic regions, it is supposed that the alteration of layer silicates obeys the following sequence: illite → illite, vermiculite → illite, vermiculite, kaolinite → kaolinite, vermiculite → kaolinite, gibbsite.

The constitution of clay minerals in soils is also influenced by factors such as the parent materials, topography, time and biology. Although the effects of pedogenic factors are interdependent and very complex, the different constitution of soil clay minerals is characterized by the specific predominant factor occurring under different conditions.