

我国红黄壤的矿物特性

马毅杰 罗家贤

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文对花岗岩和玄武岩发育的红黄壤原生矿物和粘土矿物组成及其风化演变,作了系统和深入地论述。

我国南部地区的红黄壤主要包括红壤、黄壤、砖红壤、赤红壤等。近年来,我国土壤科学工作者结合土壤资源考察、地区性的土壤调查及改良利用,对其矿物特性开展了一些研究。本文对研究成果,作一概述。

一、土壤原生矿物组成

土壤中原生矿物有石英、长石、角闪石、云母及各种铁矿物等数十种^[1]。据我们研究,红黄壤原生矿物组成除石英和长石外,还有相当数量的铁矿物和少量锆石、电气石、角闪石和云母等。它们均与母质来源密切相关,也深受土壤风化作用的影响。

土壤原生矿物有轻重矿物之分,按用比重为2.9的重液分离出土壤中的轻重矿物,福建和浙江嵊县玄武岩发育的红壤中,轻矿物在各类土壤颗粒级中均占主要地位,随着颗粒增大重矿物的比例才有所增加;广东徐闻的砖红壤在10—50微米的粒级中重矿物的含量超过轻矿物,但在50—100微米的粒级中,重矿物的比率明显下降。这种土壤中的重矿物经X光粉末薄片鉴定证实,有许多石英存在,实际上是以细小的颗粒为核心,外包厚层氧化铁的包裹体使比重增大,从而大大增加了土壤的重矿物部分的比例。应该指出的是,在50—100微米的颗粒中,重矿物的含量从剖面上往下逐次减少,说明剖面上层的铁氧化物较丰富,使铁包体增加。从不同粒级的重矿物含量变化看,徐闻砖红壤的氧化铁包体颗粒以形成粉砂粒大小为主要部分。花岗岩发育的红壤中,轻矿物占绝对优势,但颗粒较粗部分重矿物含量增加。广东赤红壤增加不太明显,铅山红壤增加较明显,黄山红壤增加极明显,表明重矿物的分布受气候风化因素的影响。花岗岩发育的黄壤含轻重矿物的量与花岗岩发育的红壤基本相似,但轻矿物的含量更高,尤其在较细的粒级和风化较强的阴春黄壤中,全都是轻矿物。

石英和长石的比重都在2.65以下,土壤中的轻矿物实际上是以它们为主的。这两种矿物抗风化能力较强,有人曾用它们来作指示矿物,计算土壤剖面中的粘粒形成和移动^[2]。土壤中石英和长石的含量主要受成土母质的影响,但也不能忽视气候风化的影响,粘粒($<2\mu$)部分,玄武岩和花岗岩发育的土壤含石英和长石比花岗岩发育的黄壤明显低,在2—10和10—50微米的粒级中,所有土壤的石英和长石大大高于 <2 微米粒级,从各种粒级石英/长石的比率看, $2\mu > 2-10\mu > 10-50\mu$;在各种土壤中,玄武岩发育的红壤 $>$ 花岗岩发育的红壤 $>$ 花岗岩发育的黄壤。石英在土壤中的风化是很弱的。据研究,土壤经9400年之久,石英仅风化了0.5%,而长石的风化却很明显^[3],因此用土壤中的石英/长石比率可反映出土壤的风化

强度,其比率越高土壤的风化强度也越大,显然,长石在细粒级中受风化较厉害;玄武岩发育的红壤风化最强烈,花岗岩发育的红壤次之,而花岗岩发育的黄壤最弱。从土壤剖面来看,在玄武岩发育的红壤中,A层的石英和长石都明显地高于B层和C层,石英/长石的比率是A层 \approx B层 $>$ C层。说明A层的风化很强烈,而且淋溶所产生的结果也强烈,花岗岩发育的红壤中,石英和长石的含量在各层无悬殊差异,其石英/长石的比率除C层较低外,A层虽然高于B层,但均较玄武岩发育的红壤低,表明这类土壤的风化程度和淋溶程度弱。在花岗岩发育的黄壤中,A层和B层的石英和长石含量比C层高得多,石英/长石的比例在这两层也接近,比C层略高,说明这些土壤受淋液因素的影响很明显,又因其长石含量较高,所以风化强度较弱。

鉴于红黄壤分布的地域较广,成土母质多种多样,这对于土壤中原生矿物组成产生显著影响。玄武岩发育的徐闻和漳浦赤红壤含的铁矿物多为赤铁矿、钛铁矿和褐铁矿,它们在高温多雨的热带和亚热带地区是较常见的土壤矿物,从剖面本身看,赤铁矿和钛铁矿有随剖面的深度增加而减少,而褐铁矿却有增加的趋势,说明赤铁矿是在温度高而湿度相对低的条件下形成的。花岗岩发育的红壤除含铁矿物外还含一定量的角闪石、云母、锆英石和电气石。这里应特别指出的是关于锆英石含量的变化,风化较强烈的广州赤红壤比风化较弱的崇安和铅山红壤高得多,除江西铅山红壤外,剖面上层比下层高。锆英石因是一很难风化的矿物,常用来作为土壤风化的指示矿物^[4],广州赤红壤中较易风化的物质迁移后,难风化的锆英石则相对残留,所以广州赤红壤的锆英石高于崇安红壤,而崇安红壤又高于铅山红壤。在剖面中,因上层风化较下层强,受淋溶也强,因而锆英石的含量是从上而下减少,但铅山红壤的锆英石在剖面内的变化不明显,可能是风化和淋溶都较前面两种土壤弱的缘故。蒋梅茵^[5]对江西泰和第四纪红色粘土矿物特征研究表明,轻矿物占97.1—98.6%,绝大部分为石英,只有极微量的正长石,说明土壤风化程度较高。重矿物含量虽少,但种类颇杂,主要是不透明矿物,其次是铁镁矿物及电气石和锆石等。

二、土壤粘粒矿物组成

(一) 土壤氧化铁 对于大多数土壤类型而言,氧化物矿物在数量上只是土壤粘粒矿物的次要组分,但他们所起的作用,不论是其本身所具有的,还是对其它矿物产生的影响,都是不容忽视的,对于热带、亚热带铁铝土和铁硅铝土更是如此,据我们研究,南方红黄壤地区,土壤中氧化铁的游离度有自南向北递减趋势,其顺序为砖红壤 $>$ 赤红壤 $>$ 黄壤。无定形氧化铁含量或氧化铁的活化度与游离氧化铁游离相反,即黄壤 $>$ 红壤 $>$ 赤红壤 $>$ 砖红壤,这与土壤有机质含量和成土环境(如积温与水分状况)密切相关。我国花岗岩母发育的红壤、赤红壤及砖红壤中,铁的游离度分别为33—35%、53—57%及64—71%,反映不同热量带下现代富铝化程度的差异,而在同一地区不同母质发育的土壤,游离铁含量有较大差异,例如,福建南端花岗岩发育的红壤粘粒($<0.01\text{mm}$)的游离铁含量为8%,而附近玄武岩发育的红壤为14—15%;云南南部大勐龙古老洪积物发育的红色砖红壤为11%,河口片麻岩发育的黄色砖红壤为19—24%^[4,6];昆明地区基性岩(玄武岩、石灰岩)母质发育的红壤为12—16%,而酸性岩(页岩、砂岩)母质发育的红壤则为6—8%^[7]。蒋梅茵和杨德涌研究^[8,9]表明,花岗岩发育的红壤是在在干、湿、热作用下形成的,故游离氧化铁为赤铁矿和针铁矿等混合物。同一母质的黄壤形成于湿润生物气候条件下,游离氧化铁以黄色的针矿和针铁矿物为主。玄武岩发育

的红壤，赤红壤和砖红壤氧化铁主要为赤铁矿和铅铁矿，而在粗粒中有磁铁矿、赤铁矿和钛铁矿。此外，粘粒中 TiO_2 的含量较高，这是玄武岩发育的土壤的特点。

(二) 土壤粘土矿物 土壤粘土矿物组成主要受成土母质与成土过程的影响。据杨德涌^[9]研究，处于不同地带，由花岗岩母质发育的赤红壤、红壤和黄壤在粘土矿物组成上有明显的差异。地处南亚热带广州的赤红壤，粘粒矿物以高岭石为主，其含量占 < 2 微米粘粒部分的54%，水云母和过渡矿物少量，三水铝石也只有3%，还含有17%左右的非晶物质，未见有蒙皂石和蛭石，所以每千克粘粒的阳离子交换量不到10厘摩尔。地处亚热带江西铅山红壤，粘粒含有42%的高岭石，13—17%的水云母和少量蛭石，钾质样品的X射线衍射图谱表明，其中还含有少量1.4nm过渡矿物和绿泥石，三水铝石含量为2%，稍低于赤红壤，而非晶物质则略高于赤红壤。处于红壤带北部边缘地区的安徽九华山的黄红壤，粘粒中高岭石35%，且结晶差，土壤中水云母、蛭石、蒙皂石及1.4nm过渡矿物和绿泥石等含量虽都不高，但粘土矿物品种较齐全。此外，还含有较多的非晶物质，在土壤底层含量最高达35%，明显高于赤红壤和红壤，但未见有晶质的三水铝石存在。在黄壤中晶质的三水铝石高于红壤，广东阳春黄壤达18—24%，安徽黄山黄壤为9—17%，江西铅山相对最低，为6—7%。江西和安徽的红壤中都有少量绿泥石存在，而广东的红壤和黄壤中均未见，反映其风化程度不同。玄武岩母质发育的红壤因所处生物气候条件不同，矿物组成有明显差异。据蒋梅茵研究^[8]，热带砖红壤表层粘粒中高岭石的含量为34%，非晶物质为25%，三水铝石为8%，1.4nm过渡矿物为11%，水云母含量很低，硅铝率为1.88，阳离子交换量每千克15.85厘摩尔。南亚热带赤红壤粘粒中高岭石和非晶物质的含量与砖红壤差不多，只是赤红壤粘粒没有三水铝石，而含有7—11%蒙皂石。所以硅铝率、阳离子交换量都高于砖红壤。中亚热带的红壤粘粒中高岭石和非晶物质的含量低于砖红壤和赤红壤，而蒙皂石和水云母的含量要高于它们。故硅铝率和阳离子交换量也随之增高。在2—10微米粒级中，除含有石英和长石外，还含有不少次生粘土矿物，如砖红壤和赤红壤的该粒级中含有20%左右的高岭石。玄武岩母质在不同地带发育的几种红壤中、粘粒矿物组成上也出现明显差异。高岭石非晶物质和氧化铁的含量由北向南逐渐增加，高岭石的晶形也变好，而蒙皂石和水云母的含量则减少。三水铝石只存在于砖红壤中，表明在淋溶条件下，由高岭石脱硅而形成，同时也显示土壤风化强度相当高。据徐风琳研究^[10]，我国红壤和黄壤普遍含有1.4nm过渡矿物，其中花岗岩和云母片岩发育的土壤一般比第四纪沉积物发育的土壤含量较多，这可能与前者含云母类矿物较多，土壤质地较砂，以及淋溶较强有关。在红黄壤地区，山地红壤比同一母质的基带土壤含量较多，这与随海拔升高，气温下降，土壤矿物风化减弱，2:1型矿物增多和年降雨量增大，淋溶增强及土壤中羟基铝增多有关。

三、土壤矿物风化

(一) 土壤原生矿物风化 长石是地壳中分布最广的矿物之一，虽然是一种较难风化的土壤原生矿物，但不同种类的长石，其风化程度差异很大。因此，在土壤形成过程中，长石的风化状况在一定程度上能够反映出土壤原生矿物风化程度。我们的研究表明，红黄壤中长石风化的主要特点是：

1. 气候和母质赋予的特点。我国长江以南的热带和亚热带地区，气温和雨量都较高，实际上土壤都受到较强的风化，因此长石残留在粘粒部分都不多，以粉砂粒为例，土壤A层和

B层的长石含量变化是从热带的 $< 1\%$ 向亚热带增加到 15% 以上,但发育母质的不同,这种增加的行为也不同,花岗岩发育的红壤是直线增加,最高值在 15% 左右,玄武岩发育的红壤从热带到南亚热带地区增加得不太明显,到中亚热带地区又锐增,最高值可达 29% 。可见,土壤中的长石含量随风化强度的减弱而增加,但作为粉砂级的长石,玄武岩发育的土壤只有在接近中亚热带地区之后才比花岗岩发育的土壤高,换言之,在高温多雨地区,玄武岩发育的土壤中的长石比花岗岩发育的更易受风化。

2. 粒级分布的特点。长石在粒级的分布因土而异,玄武岩和花岗岩发育的红壤的长石在 < 2 微米部分含量很少,2—10微米部分有明显增加,但含量 6% 以下,在10—50微米中虽有增加,但不显著,花岗岩发育的黄壤却不同,在 < 2 微米部分的长石含量只有 2% ,但在2—10微米部分都成直线增加,其含量在 $10\text{—}17\%$ 之间。红壤的长石含量在粘粒和粉砂粒中并不很高,表明它在受到较强的风化后,大部分已变成高岭石或三水铝石等矿物,黄壤的长石因风化较弱,而且以物理风化为,所以大部分仍停留在粉砂和砂粒中,据加拿大学者报道,较寒冷的法罗群岛土壤,因风化弱,粉砂和砂粒中含斜长石在 $10\text{—}80\%$ 之间^[11]。可见,土壤风化的强弱是影响各粒级长石分配的重要原因。

3. 长石在剖面内的分布特征。不同土壤剖面A、B、C 3个发生层的土壤的粉砂级的长石分布状况列于表1。因为各种土壤的粘粒部分含长石量差异不大,所以表中列出变化较大的粉砂粒部分,玄武岩发育的红壤含长石量虽然随剖面深度增加而减少,但层与层之间相差不大,表明这些土壤受到强烈风化外还有一定的淋溶强度,花岗岩发育的红壤中,B层和C层的长石高于A层,说明受强烈风化,但淋溶较弱,使较多的被风化物质集中在A层而又没有向剖面下部或横侧迁移的结果,花岗岩发育的黄壤中,除了各层的长石含量明显地高于上述两种红壤外,随着剖面深度增加长石含量减少,但层与层之间的差异并不太突出,说明这种土壤受风化较弱但淋溶强度较高,而且大多数风化物质是随着淋溶而迁移到剖面之外。

表 1 不同土壤中粉砂级中的长石在剖面中的分布(%)

土 壤	A 层	B 层	C 层
玄武岩发育的红壤	6.9	4.7	3.0
花岗岩发育的红壤	4.2	6.8	7.5
花岗岩发育的黄壤	16.0	14.2	12.0

4. 长石种类表现出的特征。土壤中的长石主要是斜长石和K长石(或正长石),Na长石和Ca长石是斜长石的端元成分,从表2看出,粘粒部分的Na长石/K长石和Na长石/Ca长石都比粉砂粒高,而且后一比值又比前一比值高,表明粘粒部分含Na长石为主,其次为K长石,Ca长石含量很少。因为Na长石是土壤粘粒的主要长石,自然,斜长石长石/K在粘粒中的值也与Na长石/K长石的值相对应出现,从表中可见,前者是在5—7之间,后者在4.6—6.4之间。在粉砂级却不同,Na长石/K长石比值较玄武岩发育的红壤高,说明仍以Na长石为主,但花岗岩发育的红壤其比值为1.6,表明Na长石所占优势已在下降。花岗岩发育的黄壤为0.7表明K长石超过Na长石。类似的情况也表现在斜长石/K长石比值上,但玄武岩和花岗岩发育的红壤分别为1.2和1.9,表明二者的斜长石和K长石含量相接近。Na长石/Ca长石比值,无论在粘粒或粉砂级都较高,证实在润湿的热带和亚热带地区,土壤细粒部分含Ca长石不多。上述分析表明,这2种母质发育的3个土壤的长石抗风化能力若以其存在量作比较的话,则以Na长石>K长石>Ca长石。

(二) 土壤风化及其与粘粒矿物关系 粘粒矿物是土壤风化和成土过程的产物,它的形成和演变与当地生物气候条件和成土母质密切相关。花岗岩和玄武岩矿物组成差异影响其风化

表 2

不同土壤不同粒级中各种长石的比值

土 壤	粒 级	Na长石/K长石	Na长石/Ca长石	斜长石/K长石
玄武岩发育的红壤	粘粒	5.5	11.0	6.0
	粉砂级	3.8	8.0	1.2
花岗岩发育的红壤	粘粒	6.4	6.4	7.0
	粉砂级	1.6	12.0	0.9
花岗岩发育的黄壤	粘粒	4.6	14.0	5.0
	粉砂级	0.7	16.3	0.4

程度,花岗岩组成以长石、石英为主并含有一定量云母类矿物,而玄武岩主要由斜长石、辉石、橄榄石、磁铁矿和钛铁矿等矿物组成。热带和亚热带地区高温多雨,有利于矿物分解和次生矿物的生成。玄武岩含有较多的易风化矿物,由其发育的红壤,铝富集作用明显,富铝化程度深,而花岗岩发育的红壤则相对较弱。玄武岩发育的砖红壤粘粒中矿物的演变是:

铁镁硅酸盐矿物 }
斜 长 石 } → 非晶物质 → 高岭石 → 三水铝石

在赤红壤和红壤中则是:

铁镁硅酸盐矿物 }
斜 长 石 } → 水云母 → 1.4nm 过渡矿物 → 蒙皂石 → 高岭石

花岗岩发育的砖红壤粘粒中,高岭石占绝对优势,2:1型矿物很少,所以它的主要演变过程是:长石和2:1型矿物→非晶物质→高岭石→三水铝石。在江西和安徽的红壤和黄红壤中含有相当数量的2:1型矿物,其中黄红壤中高岭石与2:1型矿物的含量之比有时接近1:1,因此这两个土壤的粘粒矿物演变过程中,从水云母演变成高岭石和蒙皂石之间还明显地存在着1.4nm过渡矿物和夹层矿物的演变阶段。在江西的红壤中,高岭石脱硅作用后有很少量的三水铝石形成,而安徽黄红壤高岭石脱硅后似乎只能形成非晶物质、黄壤中含有较多的2:1型矿场,而红壤中含有较多高岭石,这说明黄壤的风化程度较红壤弱。据蒋梅茵和杨德涌的研究结果^[9,10],玄武岩发育的红壤中游离铁,铁的游离度、非晶物质、高岭石等含量与积温和年平均温度呈正相关,与纬度呈负相关。由此可见,矿物风化程度上的差异与水热条件,特别是积温和年平均温关系密切。花岗岩发育的土壤也有同样趋势,根据安徽、江西和广州的气象资料,安徽黄红壤江西红壤和广州赤红壤的年均气温分别为16.4℃、17.9℃和21℃,这一带是从北部边缘的黄红壤到气候介于红壤、砖红壤之间的赤红壤,其花岗岩母质发育的粘粒高岭石含量与该土壤的年均气温呈正相关($r = 0.998, n = 3$)。赤红壤、红壤和黄红壤粘粒的ba值分别为 0.04 ± 0.01 、 0.10 ± 0.01 和 0.13 ± 0.02 ,这说明从南到北不同地带红壤的风化淋溶作用逐渐递减,且与年均气温呈良好的负相关($r = -1.000, n = 3$)。土壤中粘粒矿物有相当一大部分是化学反应的产物,尤为突出的是,高岭石的形成其化学反应的速率随温度升高而加快。

由于各地水热条件的变化,土壤中矿物质、有机质的转化过程及其产物的迁移状况的不同。所以随着中亚热带向亚热带和热带生物气候条件的变化,矿物的风化和土壤发育程度

不断加强。可见,生物气候因素引起土壤性质及矿物组成的变化比其它因素来得强烈。

参 考 文 献

- [1] Mitchell, W. A., Heavy Minerals, pp449—480, in Gieseking, J. E. (ED.) Soil components vol 1.2. Inorganic components. Springer—verlag, New York. 1975.
- [2] Barshad, I. Chemistry of soil developming. In Beat F. E. (ed) Chemistry o Soil (second edition)pp.1—70. Reinhold publishing Co. New York. 1964.
- [3] Teveldal, S. Jorgensen,P. and Stuanes, A. O. lang—term weathering o silicates in a Sandy soil at Nordmoen, Southern Norway. Clay Miner, 25:447—465. 1990.
- [4] 陈健飞, 铁在铁铝性土壤发生分类上的意义, 土壤地理研究, 2期, 12—19页, 1985。
- [5] 蒋梅茵, 江西泰和第四纪红色粘土的矿物特征, 沉积学报, 3:95—104, 1985。
- [6] 朱鹤健, 福建东部山地土壤丘陵土壤基本特征, 土壤学报, 20卷3期, 225—237页, 1983。
- [7] 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—264页, 1964。
- [8] 蒋梅茵等, 玄武岩发育的几种红壤的矿物特征, 土壤学报, 28卷3期, 268—275页, 1991。
- [9] 杨德涌等, 我国东部花岗岩发育的红壤和黄壤的粘粒矿物组成及其演变, 土壤学报, 28卷3期, 276—283页, 1991。
- [10] 徐凤琳, 中南地区土壤中的14埃过渡矿物, 华中农业大学学报, 6期, 8—12页, 1989。
- [11] Rutherford,G. K. and Debenham. P. L.The mineralogy of some siltand clay fractions from soils on the Faeroe Islands. 132:228—299. 1981.

(上接第122页)

工程培养出高效吸钾基因型烤烟新品种已成为可能。

植物在矿质营养遗传上的差异是多方面原因引起的,可能有以下几个方面的机理:根系从介质中吸收养分能力的差异;养分在根中移动和向木质部输送的差异;植物地上部分分配的差异和植物代谢及生长过程中养分利用率的差异等。

我国的植烟区土壤的酸度、养分含量和气候等方面千差万别,不同品种的烤烟,其适应环境能力不同。因此,选择适宜的烟草品种是保证烟叶质量的关键。目前,我们正在设想通过生物工程技术进行吸K基因的分析,克隆和基因移植,以培育出高效吸钾基因型烤烟新品种。

参 考 文 献

- [1] 曹志洪, 我国烟叶全钾状况及其与植烟土壤环境条件的关系, 优质烤烟生产的土壤与施肥。江苏科学出版社, 1991。
- [2] Hawks, S. N. Jr. and Collins,W. K. Principles of flue—cured tobacco production. N. C. State University NC. USA, 1983.
- [3] 史瑞和, 植物营养原理, 江苏科学出版社, 1989。
- [4] 韩锦峰等, 烤烟干物质累积和NPK吸收分配规律的研究, 河南农业大学学报, 第1期, 8—17页, 1987。
- [5] 沙戈, 烟草栽培, 农业出版社, 1985。
- [6] Barber, S. A., soil nutrition bioavailability—A mechanistic approach, John Wiley and Sons,New York, 1984.
- [7] Chouteau, J. and Fauconnier,D., Fertilizing for high quality and yield tobacco. International potash institute. Bern Switzerland. 1988.
- [8] Glass, A. D. M., plant nutrition,An introduction to current concepts, Johns and Valley publishers, Boston/Portola. Valley, 1989.
- [9] Hiatt, H. J., Plant and soil. 18:273—276, 1963.