

# 我国紅壤区某些主要土类鉀的含量、 状态以及含鉀矿物的轉化規律

李庆逵 王美珠 張效年

(中国科学院土壤研究所)

就一般农业土壤来讲,土壤中鉀素的絕大部分是以原生矿物和粘土矿物的状态存在。O. J. Attoe 和 E. Truog<sup>[1]</sup> 把土壤鉀素分为三部分:第一部分是不易为植物所利用的,主要是长石和白云母;第二部分是迟效性鉀,包括黑云母和粘土矿物所固定的鉀,有90%以上可以被0.5N HCl所提出,約占土壤全鉀量的1—2%;第三部分是速效性鉀,主要的是代換性鉀,以及一部分有机鉀。在以后的研究文献中,虽然有不断的补充和修改,但是大体上同意这样一个归納。Прянишников 的早期試驗(1911—1913)也証明土壤鉀矿物对于植物的有效度是:黑云母>白云母>正长石>微斜长石,但是后两种矿物基本上是很少营养价值的。

在土壤的鉀矿物中,长石最为稳定,不能为浓酸所分解。在砂培試驗上用作单一的鉀源时,只有发展較低(low development)的植物,才对它有一定的吸收能力<sup>[2]</sup>,在农业土壤中,一般作物都不能从长石中获得鉀素营养。白云母类型的鉀矿物,显然較长石易于分解,在长期的土地利用过程中,可以逐漸的起分解作用<sup>[3]</sup>,这类矿物一般为浓盐酸所溶解。

除了长石和白云母类型以外,土壤中主要的矿质鉀源,还可以分成两组。第一是速效性的,为当季作物鉀素营养的主要給源,在农业土壤中是代換性鉀。第二组也是有效性的,但它們的鉀素的活度較低,包括黑云母、伊利石、其他水化云母系的分解居間体,以及被蒙脫石或貝得石类型粘土矿物所固定的鉀离子,在农业土壤中,它們不断的补充土壤胶体的表面所吸附的鉀离子,作为代換性鉀的貯源。但是在砂培中,用这类矿物作为鉀源时,也能使一般作物有良好的生长<sup>[3,4]</sup>。

在这篇报告里,用“速效性鉀”这个名詞来表示代換性鉀。关于它的測定方法比較成熟,我們不再討論。我們把黑云母,包括伊利石的整个水化云母系的粘土矿物,以及被蒙脫石类型所固定的鉀离子,归納成一組,用“有效性鉀”的名詞来表示。有关測定这一組鉀离子方法的建議比較多,包括1N HNO<sub>3</sub>溶解法<sup>[5]</sup>、稀盐酸溶解法<sup>[4,6]</sup>、6N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶解法<sup>[7]</sup>以及高电压电析法<sup>[8,9]</sup>。这些試驗結果,証明1N HNO<sub>3</sub>消煮的方法是比較簡單,并且能够概括属于这一类型的鉀素。

本文根据上述方法,把我国紅壤区的某些主要土壤类型中的鉀素进行分組分析。同时也应用X射綫衍射法及偏光显微鏡檢定主要粘土矿物及原生矿物,做化学方法的补充。

我們根据研究材料来討論我国紅壤区主要土壤的鉀肥水平,同时也按照各組粒級(砂粒、粉砂及粘粒)以及成土母质中的鉀素状态來說明土壤发生及利用过程中含鉀矿物的演

变規律。

## 土壤性質和試驗方法

試驗共选用了 19 个土壤标本和部分土壤的成土母質, 包括砖紅壤(标本 8, 目下也叫做“赤土”)、高度富鋁化的紅壤(标本 19、22、23)、紅壤(标本 2、4、14、25)、黃壤(标本 10、12、15)、由富含鉀矿物母質而发育的殘积性紅壤(标本 6、18、27) 以及水稻土(标本 34945、34934、34758、34748、34788)。現在把这些土壤的性質和分布分別予以說明。

**砖紅壤** 由玄武岩高度风化体而发育的砖紅壤, 分布于海南島北部及雷州半島南部, 以标本 8 为代表, 采于雷州半島徐聞。为含氧化鉄 19—21%、氧化鋁 23—29% 左右的重粘土, 目下大部开发, 种植甘蔗、甘薯、陆稻及热带經濟作物<sup>[10,11]</sup>。谷地种植水稻(标本 34758、34748, 代表砖紅壤性水稻土, 采于徐聞)。

**高度富鋁化的紅壤** 华南热带及亚热带地区的紅壤<sup>[16]</sup>, 以高岭石—三水鋁石为主要粘土矿物<sup>[17]</sup>。分布在广东韓江流域、鑑江流域及江西南部的高丘陵地区的紅壤, 有大面积深受侵蝕。标本 22, 采于广州龙眼洞, 母質为伟晶花崗岩, 壤粘土。标本 19, 采于粤西浦北, 母質为斑晶花崗岩, 壤粘土。标本 34788, 为水稻土, 采于广州花崗岩山区的谷地。标本 23, 采于广东北海湾沿岸平坦地区, 母質为浅海沉积物, 由深度风化的变质岩及花崗岩所組成<sup>[14]</sup>。

**紅壤(华中丘陵地区)** 在江西、湖南、浙江西部, 有大面积紅壤低丘陵地<sup>[13]</sup>, 其相对高度自 20—30 米至 100 米以下。种植茶、果树、甘薯、花生等。标本 2, 采于江西甘家山, 土壤酸度 4.5—5, 每百克土含活性鋁 2 毫克当量, 粘壤土, 成土母質为紅色粘土。本区丘陵地的下坡, 紅色粘土多受侵蝕, 暴露由紅砂岩发育的紅壤。标本 4, 采于离甘家山西 10 公里地方, 除質地較粗为輕粘壤土, 及土层較薄外, 其利用情况及土壤性質均同标本 2。标本 25, 采于江西新建万寿宮附近丘陵地, 为紅壤荒地, 长短草及矮灌木, 間植油茶, 为由千枚岩发育的粉砂壤土。标本 14, 为发育于贛江下游沿河低丘陵地上的紅壤, 母質为紅色砂質物質, 富含云母細片和长石碎屑, 采于南昌蓮塘。洞庭、鄱阳沿湖低丘陵地, 都有这类土壤。

**由富含鉀矿物的母質而发育的幼年紅壤** 在华南及华中地区某些由富含鉀矿物母岩而发育的紅壤受母質的影响很大, 这些土壤有一部分是薄层殘积性, 含有岩石碎块。标本 27 采于海南南方丘陵地<sup>[10]</sup>, 种有甘薯、陆稻等旱作, pH 5.0—5.5, 壤土, 母質为片岩。标本 18 采于江西新建西山<sup>[13]</sup>, 长有次生林, 为由花崗岩发育的紅壤, 壤質粘土, 因受母質影响, 富含黑云母細片。标本 6, 采于南昌生米街低丘陵地, 为由石灰性紫色砂岩发育的薄层幼年紅壤, 壤粘土, 富含基性物質。这类由中性或石灰性紫色砂頁岩风化的幼年土壤在华南及华中的丘陵地区分布較为广泛, 标本 34945 及 34934 是这类土壤的谷地水稻土, 采于广东。

**黃壤** 由石灰岩母質发育的黃壤, 在广西省境内的分布較多。标本 12, 采于广西德保龙烟山, 棕黄色, 微酸性粘土 (pH 6.7)。标本 15, 采于德保那模山, 母質为紫紅色頁岩, 酸性粘土<sup>[14]</sup>。标本 10, 采于广东防城十万大山, 目下生长高草, 強酸性壤土, 母質为紫紅

色砂岩<sup>[12]</sup>。

試驗方法：速效鉀系用 1N NH<sub>4</sub>Ac 提取，火焰光度計測定。有效性鉀系用 1N HNO<sub>3</sub> 煮沸 10 分鐘，土酸比例 1:10；迟效性鉀系用 25% HCl 煮沸 6 小时，土酸比也为 1:10。HNO<sub>3</sub>、HCl 溶液中的鉀素，在去除 Fe、Al 后，用火焰光度計測定。全鉀量減去速效鉀、有效鉀及迟效鉀为无效鉀。

## 結 果 及 討 論

**土壤鉀肥水平的估計** 土壤科学工作者大体上都有一个概念，以为生成在热带生物气候条件下的紅壤区土壤，由于高度的淋溶作用，土壤中鉀素貧乏，需要鉀肥的可能性应该很大。但是国内外肥料試驗結果，都不能証实这样一个概念。根据中国农业科学院的試驗报告<sup>[18]</sup>，稻、麦等作物，在华南地区对鉀肥有显著的增产作用者很少。就海南島及粵西地区的热带經濟作物施肥結果来看，鉀肥也仅仅对剑麻类作物有显著的肥效。在甘家山紅壤丘陵地上的肥效試驗，鉀肥的效应也仅表现在有充分硫酸銨基础上的甘薯。印度的田間試驗結果，也发现作物对于鉀肥起增产作用的不多，而紅壤及砖紅壤中，含有不同状态的鉀素，作物在生长过程中也能利用一部分非代換性鉀<sup>[13]</sup>。澳大利亚在 1956 年的鉀肥消費量为 19,031 吨(以 K<sub>2</sub>O 計算，折合硫酸鉀約仅 4 万吨)，主要缺鉀的土壤局限于沿海地区，由玄武岩发育的砖紅壤粘土及某些灰化土壤，施用的作物为甘蔗、果树、馬鈴薯和牧地<sup>[20]</sup>。这些材料都說明为了弄清楚鉀肥在紅壤地区的需要性，有必要就主要土类的鉀素貯量状态及其有效度，进行分析和研究。

土壤中粘土矿物的代換量为一比較稳定性的指标，而盐基飽和度，以及代換性鉀則在耕作和淋溶过程中是有所变化的。但是含鉀居間矿物和粘土矿物晶层中的鉀，可以作为鉀素貯备量来补充代換性鉀的損失。因此，虽然代換性鉀通常只占土壤全鉀含量的 1% 以下，但是土壤的鉀肥水平远較氮肥水平为稳定，并且通常可以用休閑、晒田和輪作等办法来恢复鉀素肥力。因此把土壤鉀素状态做一全面測定，在一定時間以內，可以做为鉀肥需要性的指标。

表 1 及表 2 为各个土壤中鉀素含量及其状态，我們根据分析結果，按照鉀肥水平，归納成下列各級。

1. 含鉀質养分极为丰富的土壤。我国紅壤区的某些土壤，其成土母質中，富含基性矿物，由于某些鉀矿物极难分解（如长石、微斜长石），而鈣鎂矿物的分解較快（如輝石、橄欖石、鈣斜长石等），所以在形成強酸性紅壤以后，土壤鉀素含量往往超过鈣素<sup>[21]</sup>。因此这类未經深度侵蝕的紅壤以及殘积性幼年土，鉀肥水平一般都很高，其附近谷地的水稻土，也有較高的肥力。

华南、华中地区由花崗岩（标本 18）、片岩（标本 27）发育的紅壤，贛江沿岸台地，由富含云母和长石的砂土而发育的紅壤（标本 14），以及由石灰性紫色砂岩而发育的中性紫色土（标本 6），速效性鉀的含量每百克在 20 毫克左右（指 K，下同），相当于每亩 60 斤（以 15 厘米的耕作层內 K 素計算，下同）。有效性鉀的含量每百克达 40—73 毫克，折合每亩 120—220 斤，二者总量占土壤全鉀量的 2.0—5.3%。上述土壤的半风化母質，含有高量的鉀素，标本 18 号的花崗岩母質含 K 2.64%，标本 14 号的砂質母質含 K 2.56%，标

表 1 主要土类中钾的含量及状态

钾肥水平	土 壤	分布地区	全钾 (K%)	速效钾		有效钾		迟效钾 (K毫克/100克)	无效钾 (K毫克/100克)
				含量 (K毫克/100克)	占全钾 %	含量 (K毫克/100克)	占全钾 %		
1. 钾素养分极为丰富的土壤	由富含钾矿物母质发育的幼红壤								
	标本 27 (片岩母质)	海南岛东方	1.64	19.4	1.2	67.8	4.1	475	1077
	标本 18 (花岗岩母质)	江西新建西山	2.09	22.5	1.1	73.0	3.5	534	1460
	标本 14 (赣江下游砂质物质)	江西南昌莲塘	2.43	15.1	0.6	34.5	1.4	291	2089
2. 钾素养分充足的土壤	由富含钾矿物母质发育的紫色土								
	标本 6 (石灰性紫色砂岩母质)	江西南昌丘陵地	2.51	17.9	0.7	43.8	1.8	1121	1327
	红壤(华中丘陵地区)								
	标本 2 (红色粘土母质)	江西中部, 相对高度 20—30 米至 100 米以下的低丘陵地	1.35	9.4	0.7	10.0	0.8	680	651
	标本 4 (红砂岩母质)		1.07	9.4	0.9	10.8	1.0	427	623
	标本 25 (千枚岩母质)		2.54	10.0	0.4	8.9	0.4	164	2358
	黄壤								
	标本 12 (石灰岩母质)	广西德保	0.72	10.0	1.4	8.8	1.2	381	321
	标本 15 (紫红色页岩母质)		1.44	7.3	0.5	7.7	0.5	380	978
3. 钾素养分不足的土壤	砖红壤								
	标本 8 (玄武岩风化体发育)	海南岛北部及雷州半岛	0.13	4.7	3.6	0.7	0.5	56	69
	高度富铝化的红壤								
	标本 22 (由花岗岩母质发育)	广东中部侵蚀丘陵地	0.53	9.4	1.8	3.6	6.8	193	323
	标本 19 (花岗岩母质发育)	粤西侵蚀丘陵地	2.27	6.4	0.3	0.8	0.4	223	2040
标本 23 (浅海沉积物母质)	粤西, 北海湾沿岸平坦地	0.12	8.9	7.3	3.2	2.7	90	18	
	黄壤								
	标本 10 (紫红色酸性砂岩母质)	广东防城山区	0.27	4.2	1.6	5.3	2.0	168	93

本 27 号的片岩母质含 K 1.74%, 标本 6 号的紫色砂岩含 K 2.74% (母质分析结果未列在表 1 中)。土壤的钾质养分依然受母质的影响, 由于风化母质中含有高量钾素, 土壤的全钾含量也较高, 在 K 1.6—2.5% 间, 伊利石为细粒部分主要粘土矿物之一, 粗粒部分也有高量的长石和云母, 是红壤地区钾肥水平最高的土类。

2. 含有充分钾素养分的土壤。华中丘陵地的红壤 (标本 2、4、25) 由于成土母质含有一定的钾素 (红色粘土含 K 1.70%, 红砂岩含 K 2.43%, 千枚岩含 K 3.01%, 结果未列入表中), 成土过程中的富铝化作用又没有华南热带和亚热带地区这样剧烈。除了高岭石以外, 土壤粘粒中的伊利石和蒙脱石仍旧占有一定数量。这类红壤, 含全钾 K 1.0—2.5%, 速效钾及有效性钾的含量, 每百克均在 10 毫克左右, 每亩耕作层土壤中两者合计 60 斤左右, 占全钾量的 1.0—2.5%。结合田间试验的材料来看, 在目前农业情况下, 对这类土壤

表 2 水稻土中鉀的含量及状态

土 壤	标本号码	地 点	全鉀 (K %)	速效鉀		有效鉀		迟效鉀 (K 毫克 /100克)	无效鉀 (K 毫克 /100克)
				含量 (K 毫克 /100克)	占全鉀 %	含量 (K 毫克 /100克)	占全鉀 %		
发育于砖紅壤上的 水稻土(玄武岩 风化体母质)	34758	广东徐闻	0.17	23.4	14.1	6.2	3.6	61	80
	34748	广东徐闻	0.23	17.8	7.7	11.8	5.1	46	155
发育于富鋁化紅壤 上的水稻土(花 崗岩母质)	34788	广东珠江三角 洲谷地	1.06	8.3	0.8	18.0	1.7	184	849
发育于紫色土上的 水稻土	34945	广东南雄	2.12	37.8	1.8	29.7	1.4	1260	792
	34934	广东南雄	1.79	17.4	1.0	20.8	1.2	912	840
发育于华中低丘陵 地区紅壤上的水 稻土(紅色粘土 及紅砂岩母质)		江西	—	12—20	—	32 以上	—	—	—

來說,鉀肥不是增产的因子。

由石灰岩及紫色頁岩而发育的广西黄壤(标本 12、15)也有充足的鉀素养分。

3. 鉀素养分不足的土壤。华南地区高富鋁化作用形成的紅壤和砖紅壤(标本 22、19、23、8),含速效性鉀低,一般每百克只有几个毫克,相当于每亩耕层 15—25 斤左右。有效性鉀含量更低,一般每亩不足 10 斤,这类土壤极为需要鉀肥。从土壤的全鉀含量来看,又可分为两种情况,一种是土壤含原生鉀矿物很少,全鉀含量低于 0.15%,如紅色风化壳发育的砖紅壤(标本 8),浅海沉积物发育的紅壤(标本 23);第二种土壤含有多量的原生鉀矿物,但是长石及白云母占絕大部分,深度风化所生成的細粒部分,以高岭石类型为主,速效性鉀仅占全鉀的 0.3% (标本 19),华南及贛南地区由花崗岩母质而发育,受深度侵蝕的丘陵地紅壤以及未經熟化的谷地水稻土,属于这一类型。Я. В. Пейв 在总结国际土壤学会(1957)有关土壤肥力及植物营养問題的論文中,也指出当紅壤中每百克土壤的代換性鉀低于 2.5—5 毫克时,植物便缺乏鉀素营养<sup>[22]</sup>。按照 J. Lamb 的研究結果,土壤中代換性鉀降低到每百克 2.5 毫克时,植物便很难再吸收土壤中的鉀素<sup>[23]</sup>。同时也有試驗指出,即便含有足量代換性鉀的土壤(如每百克 15—20 毫克)在有效性鉀貯量很低的情况下,鉀肥对作物也有增产作用<sup>[24]</sup>。因此我們把第三組土壤,列为需要鉀肥的类型。

广东防城山地由強酸性紫色砂岩而发育的紅壤(标本 10),由于母岩含鉀矿物很少,速效鉀、有效鉀含量都低,也归入需要鉀肥的一級。

4. 水稻土中的鉀质养分。水稻土中的含鉀原生及次生矿物类型,是服从于它的前身土类。但由于长期頻繁的耕作、施肥等人工活动的影响,粘粒表面吸附了一部分肥料中的鉀,同时 2:1 型粘土矿物也固定了小部分鉀肥。所以熟化了的水稻土其速效性鉀及有效性鉀一般都較其前身的土壤为高(表 2)。例如标本 34758、34748 砖紅壤性水稻土,速效性鉀从其前身土壤每百克 5 毫克左右提高到 20 毫克左右,有效性鉀从 0.7 毫克提高到 9 毫克。这种水稻土的速效性鉀及有效性鉀的总和占土壤全鉀量 15% 左右,是土壤受施肥影响的明显标帜。

江西省低丘陵地区红壤的谷地水稻土, 由于伊利石在粘土矿物中占有一定的比重, 而这类矿物及其分解居间体, 具有固钾性能, 因此耕作施肥的结果使有效性钾的含量从每百克 10 毫克增加到 30 毫克以上。

**土壤中含钾矿物的分布情况和转化规律** 上面我们把土壤中的钾素, 按照化学分析结果, 分成四组。并且根据化学性质推断各组钾素的存在状态。现在我们分析一下各组钾素在不同土壤粒级中的分布情况。应用机械分析方法, 把土壤粘粒 (<5 微米)、粉砂 (5—50 微米)、细砂 (0.05—0.1 毫米) 及粗砂 (0.1—1 毫米) 四级分离开来, 分别测定其钾素含量 (结果见表 3)。在高度风化的红壤内的 <5 微米一级中, <2 微米部分一般占 80% 上下, 所以我们用 <5 微米来概括粘粒, 没有再进行更细的分离。

就现有的研究材料看来, 水化云母类, 是土壤粘粒中唯一的富钾矿物。因此土壤粘粒的含钾百分数也受风化程度的影响, 在砖红壤及富铝化的红壤中, 粘粒部分主要是高岭石, 含钾在 0.1—0.8% (见表 3 及附图)。在亚热带红壤及幼年红壤中, 伊利石—蒙脱石和高岭石同为粘土矿物的主要组成部分, 粘粒含钾量一般在 1.8—2.9%。除了少数含有大量原生钾矿物的土壤以外 (标本 14、18、25、19, 参看表 4), 粘粒一级的含钾量, 占土壤全钾 40—90%。

在红壤中, 土壤机械组成中粉砂 (5—50 微米) 一级的含量, 一般是很低 (<20%), 高度风化的砖红壤, 和热带地区富铝化红壤则 <10%。这一级钾的含量是不高的。在所研究的标本中, 只有由千枚岩发育的红壤 (标本 25), 由于母岩性质的影响, 粉砂占 50%, 并且含有大量云母片, 占土壤全钾的 60%。

偏光显微镜的检查结果 (表 4), 可见砂粒部分的矿物组成是以石英为主。但是成土母质中的原生钾矿物, 影响砂粒的含钾量极大。标本 19, 系高度富铝化的红壤, 母质是斑晶花岗岩, 主要的粘土矿物是高岭石, 但是粗砂一级中却有大量的长石, 占土壤全钾的 80%。标本 14, 系由砂质冲积物发育的红壤, 粗砂部分含有大量长石和云母, 占土壤全钾量 60—70% (除了这些标本以外, 粗砂级几乎都是石英, 所以未列在表 3 中)。江西西山由花岗岩发育的林地红壤 (标本 18) 的细砂粒, 含黑云母 10%, 长石 15% (表 4), 加上粗砂部分的含钾矿物其总含钾量约占土壤全钾的 50%。

这些结果说明了在红壤地区中, 土壤砂粒部分的含钾量, 决定于母质中长石和云母的含量。而直接关系到植物营养的有效性钾, 则大部存在于粘粒中, 取决于成土作用所形成的粘土矿物类型。H. D. Merwin<sup>[25]</sup> 把美国寒温带某些土壤也做了分级的钾素测定, 发现土壤中的代换性钾有 40—83% 来自粘粒 (<2 微米), 15—51% 来自粉砂 (2—50 微米), 而砂粒中的代换性钾一般低于 0—8 ppm。

表 4 系某些土壤的半风化母质 (C<sub>1</sub>) 与其表土的细砂部分的矿物检定结果。将两者对照一下, 可以清楚的看出, 从母质到土壤, 细砂部分的长石、云母等含钾矿物显著的减少, 而抗风化的石英部分则大大的增加。

由于大部分供试土壤中 40—90% 以上的钾素属于小于 5 微米的粘粒部分, 我们对一部分土壤和它们的相应母质的粘粒 (<5 微米) 进行了 X 射线的鉴定\* (图 1—6), 同时测

\* X 射线衍射图的摄录条件: 粉末法, Cu 靶, Ni 滤光片, 电压 34KV, 电流 10mA。扫描速度每分钟 1°。仪器是借用中国科学院土壤及水土保持研究所的。

表 3 主要土类中各組粒級的含鉀量

土 壤	分布地区	土壤 ( $<1$ 毫 米) 含鉀量 (K %)	粘粒部分( $<5$ 微米)			粉砂部分( $5-50$ 微米)			細砂部分( $0.05-0.1$ 毫米)		
			粘粒含 量 (%)	粘粒含 鉀量 (K %)	存在于粘 粒中的鉀 量(K毫克 /百克土)	粉砂含 量 (%)	粉砂含 鉀量 (K %)	存在于粉 砂中的鉀 量(K毫克 /百克土)	細砂含 量 (%)	細砂含 鉀量 (K %)	存在于細 砂中的鉀 量(K毫克 /百克土)
由富含鉀矿物母 质发育的幼紅 壤											
标本 27 (片岩 母质)	海南島东方	1.64	33.6	2.64	0.89	30.1	—	—	6.5	0.98	0.08
标本 14 (赣江下 游砂质物质)	江西南昌蓮塘	2.43	19.8	1.98	0.39	11.8	1.78	0.21	6.3	2.47	0.16
标本 18 (花崗 岩母质)	江西新建西山	2.09	47.5	1.78	0.85	8.4	2.85	0.24	14.9	2.62	0.39
由富含鉀矿物母 质发育的紫色 土											
标本 6 (石灰 性紫色砂岩母 质)	江西南昌丘陵 地	2.51	48.9	2.77	1.38	21.7	2.28	0.50	16.4	1.37	0.22
紅壤 (华中丘陵 地区)											
标本 2 (紅色 粘土母质)	江西中部、相 对高度20—30 米至100米以 下的低丘陵地	1.35	51.9	2.53	1.22	25.0	0.49	0.12	14.9	0.21	0.03
标本 4 (紅砂 岩母质)		1.07	51.8	1.83	0.94	32.8	0.44	0.14	7.6	痕跡	痕跡
标本 25 (千枚 岩母质)		2.54	20.1	2.89	0.58	49.5	3.19	1.58	18.6	2.84	0.53
黃壤											
标本 12 (石灰 岩母质)	广西德保	0.72	85.1	0.60	0.51	3.8	1.54	0.06	2.7	0.51	0.02
标本 15 (紫色 頁岩母质)		1.44	61.4	1.68	1.03	17.8	1.99	0.36	9.7	0.57	0.06
标本 10 (紫紅 色酸性砂岩母 质)	广东防城	0.27	18.8	1.61	0.30	15.4	0.10	0.02	0.8	0.07	0.04
磚紅壤											
标本 8 (玄武岩 风化体发育)	雷州半島及海 南島北部	0.13	78.2	0.09	0.07	4.2	0.27	0.01	3.0	0.05	痕跡
标本 11 (石灰岩 风化体发育)	云南昆明	0.43	80.9	0.39	0.31	6.3	0.66	0.04	2.8	0.80	痕跡
高度富鋁化的紅 壤											
标本 22 (花崗 岩母质发育)	广东中部侵蝕 丘陵地	0.53	39.4	0.81	0.32	15.9	1.33	0.21	5.5	0.09	痕跡
标本 19 (花崗 岩母质发育)	粵西侵蝕丘陵 地	2.27	53.9	0.67	0.37	5.8	1.33	0.07	6.6	—	—
标本 23 (淺海 沉积物母质)	粵西、北海湾 沿岸平坦地	0.12	24.1	—	—	2.9	1.74	0.05	7.2	0.02	痕跡

定了阳离子交換量(表 6 中用 NaOH 蒸餾所释放的鉍量)。表 6 中也列出了它們的全鉍含量,根据这些材料,綜合判断的結果。这些土壤和相应母质的粘粒的矿物組成列于表

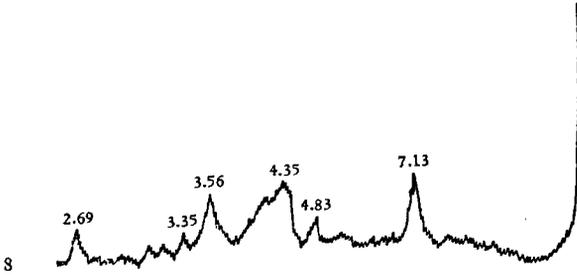


图1 玄武岩风化体发育的砖红壤的X射线衍射图谱

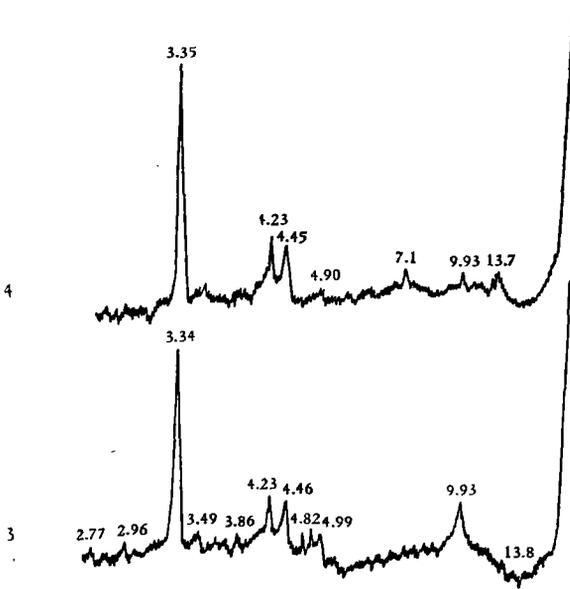
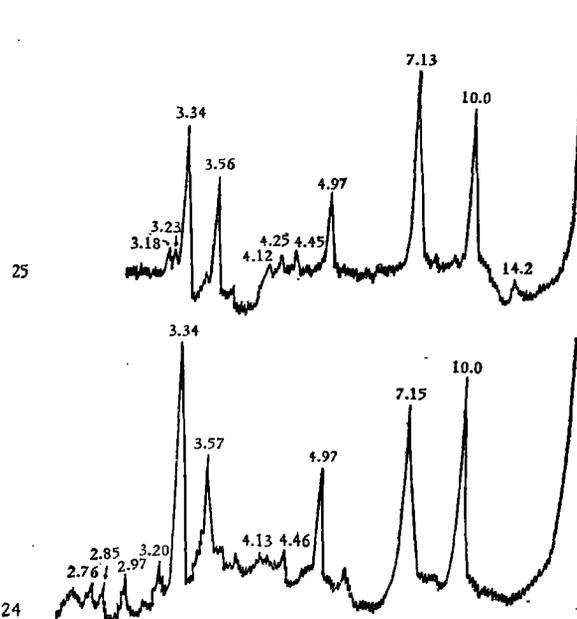


图2 红砂岩半风化体(3)及其所形成的红壤(4)的X射线衍射图谱



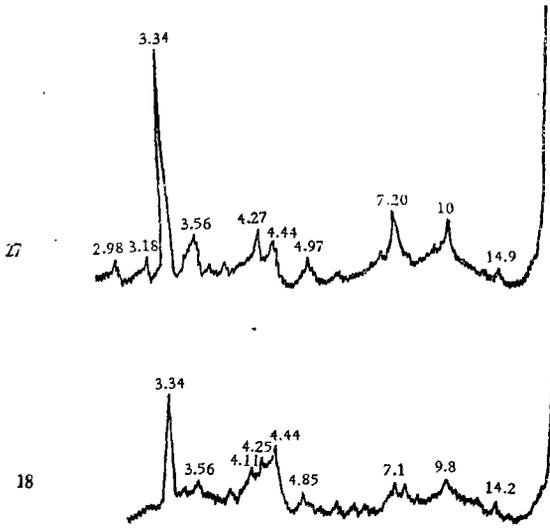


图 4 富含钾矿物母质发育的幼红壤 (27, 由片岩发育; 18, 由花岗岩发育) 的 X 射线衍射图谱

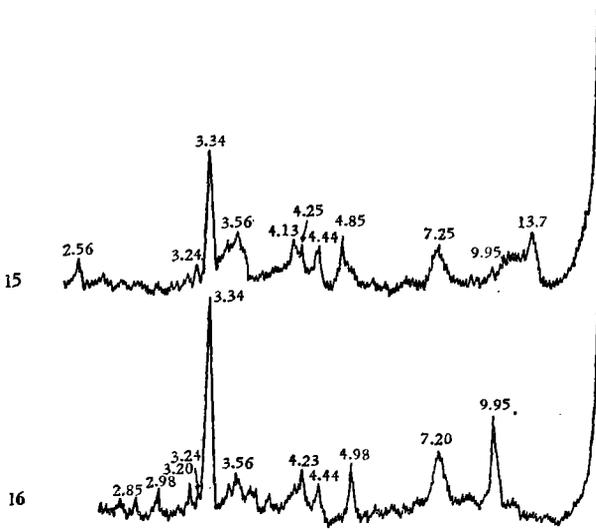


图 5 紫色砂岩半风化体 (16) 及其所形成的黄壤 (15) 的 X 射线衍射图谱

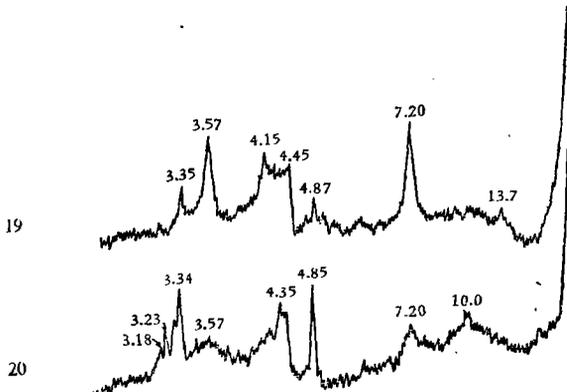


图 6 花岗岩半风化体 (20) 及其所形成的富铝化红壤 (19) 的 X 射线衍射图谱

表 4 几种土壤及其风化母岩细砂部分(0.05—0.1毫米)的矿物组成

标本号	土 壤	地 点	矿 物 组 成
18	花岗岩母质发育的 幼红壤	江西新建西山	黑云母 10%, 长石及其风化物 15%, 石英 70%, 金云母, 白云母少量, 氧化铁, 蛭英石少量
17	花岗岩半风化物	江西新建西山	黑云母 10%, 长石及其风化物 50%, 石英 30%, 金云母, 白云母少量, 氧化铁, 蛭英石少量
27	片岩母质发育的幼 红壤	海南岛东方	石英 90%, 赤铁矿 5%, 絹云母, 蛭英石少量
26	片岩风化物		石英 50%, 长石风化物(表面被粘土矿物及铁质所污染)40%, 其他矿物少量
19	花岗岩母质发育的 高度富铝化红壤	广东浦北	石英 90%, 黑云母 3%, 长石少量, 蛭英石, 氧化铁少量
20	花岗岩风化物		石英 30%, 黑云母 10%, 长石 50%, 白云母少量, 蛭英石, 赤铁矿, 磁铁矿少量
4	红砂岩母质发育的 红壤	江西新建	全部为石英
3	红砂岩风化物		被氧化染污的石英 60%, 透明石英 30%, 云母(黑云母为主) 2%, 长石及其风化物 5%

5. 砖红壤的粘土矿物极为简单, 以高岭石、三水铝石和氧化铁为主, 图 1 中  $7.13 \text{ \AA}$ ,  $4.83 \text{ \AA}$  和  $2.69 \text{ \AA}$ , 为它们相应的 X 射线衍射峰。土壤的代换量很低, 每百克粘粒只有 5 毫克当量, 没有什么含钾矿物 ( $\text{K}_2\text{O}$  只有 0.11%), 因之, 土壤的有效性钾也极低。华中低丘陵地区由红砂岩发育的红壤(图 2, 标本 4 为红壤, 标本 3 为红砂岩母质)粘粒中含有一定量的伊利石( $9.93 \text{ \AA}$ ), 但较其母质却明显的减少, 同时出现了高岭石( $7.1 \text{ \AA}$ ), 蒙脱石( $13.7 \text{ \AA}$ )的含量也有少许增加。同一地区由于千枚岩发育的红壤及其母岩的 X 射线衍射峰极为突出(图 3, 标本 25 为土壤、标本 24 为母质), 这是因为千枚岩的成岩特点, 矿物层状定向排列良好, 使衍射增强。这种土壤含伊利石( $10.0 \text{ \AA}$ )更多, 同时还有大量的高岭石( $7.13 \text{ \AA}$ )和石英( $3.34 \text{ \AA}$ )。由于华中丘陵地区的这些土壤中存在一定量的伊利石, 所以土壤的钾素养分较为充足。由富含钾矿物的母岩发育的幼红壤(图 4, 标本 27 为片岩母质, 标本 18 为花岗岩母质), 因受母质的影响还很深。其粘粒的矿物组成, 除高岭石、石英外, 尚有大量伊利石存在, 因此它们是钾素养分极为丰富的土壤。

图 5 为紫色页岩半风化物及其形成的黄壤的 X 射线衍射图。母岩风化物(标本 16)的粘粒的矿物组成主要是伊利石( $9.95 \text{ \AA}$ )、高岭石( $7.20 \text{ \AA}$ )和石英, 图上未见有指示膨胀性矿物的低角度衍射峰。但紫色页岩所形成的黄壤(标本 15)的粘粒的矿物组成与半风化母质有极大的不同,  $9.95 \text{ \AA}$  衍射峰已很小, 表明只有少量伊利石存在, 但出现了  $13.7 \text{ \AA}$  的衍射峰, 将标本加热到  $550^\circ\text{C}$  保持 1.5 小时后,  $13.7 \text{ \AA}$  衍射峰消失, 同时  $10 \text{ \AA}$  的峰却明显的增强了。因此可以确定  $13.7 \text{ \AA}$  的衍射峰不是绿泥石的, 而是蒙脱石和蛭石(见表 5)衍射产生的。从  $9.95 \text{ \AA}$  到  $13.7 \text{ \AA}$  衍射强度的增大, 推想有云母或伊利石向蛭石转化的过渡性矿物存在。这类土壤中高岭石含量与其母质差不多, 石英有所减少, 出现了多量三水铝石( $4.85 \text{ \AA}$ )。由花岗岩母质发育成富铝化红壤(图 6, 标本 20 为花岗岩半风化物, 标本 19 为富铝化红壤), 伊利石和钾长石( $3.23 \text{ \AA}$ )消失, 而高岭石大大增多, 但三水铝石有显著的减少。

土壤生成发育过程中, 云母矿物转化为蛭石, 也可以用蛭石对铵离子的固定来证明。

当  $\text{NH}_4^+$ -蛭石与  $\text{K}^+$  接触时,  $\text{K}^+$  进入蛭石的內晶层,使晶层間距离縮小,因而把  $\text{NH}_4^+$  固定起来。A. D. Scott<sup>[26]</sup> 在研究某些粘土矿物对鉍离子的固定和释放时,发现蛭石所吸附的  $\text{NH}_4^+$ ,用 KOH 几乎完全不能蒸餾释放出来,但斑脫土和伊利石中的  $\text{NH}_4^+$  絕大部分能用 KOH 蒸餾释放出来。我們用醋酸鉍飽和土壤和其相应的母質的粘粒后,分別用

表 5 主要土类及其成土母質粘粒部分 (<5 微米)的礦物組成

标本号	土 壤	地 点	蛭石	蒙脫石	“中間 矿物”	綠泥石	伊利石	云母	高岭石	石英	鉀长石	三水 鋁石	氧化 鐵
15	紫色頁岩母質发育的黃壤	广西 德保	+	++	+		+		++	+++	+	+	
16	紫色頁岩半風化物						++	++	++	++++	+		
4	紅砂岩母質发育的紅壤	江西 新建		+			+		+	++++			
3	紅砂岩風化物			+			•++	+		++++			
25	千枚岩母質发育的紅壤	江西 万寿宮				+	++	+	++++	+++	+		
24	千枚岩半風化物							+++	++	++++	++++	+	
19	花崗岩母質发育的高度富鋁化紅壤	广东 浦北		+					+++	+		+	
20	花崗岩風化物						+		+	+	++	+	++
27	片岩母質发育的幼紅壤	海南島东方				+	++	+	++	+++	+		
18	花崗岩发育的幼紅壤	江西新建西山		+			++		+	++	+	+	
8	玄武岩風化体发育的磚紅壤	广东徐聞							++++			+++	++

NaOH 和 KOH 进行蒸餾,測定其释放的鉍量, KOH 蒸餾較 NaOH 蒸餾所减少的量,主要即为蛭石所固定的鉍量。从表 6 看出,所选用的土壤中,只有紫色頁岩发育的黃壤中明显的存在着蛭石,其他土壤及母質中都沒有明显的存在。

关于土壤中矿物轉化規律,熊毅根据矿物的結晶化学原理从化学風化角度給予理論上的闡明。其他一些研究工作則証实了土壤中确实存在的一些轉化序列。G. J. Walker<sup>[27]</sup> 曾指出,在黑云母和伊利石的化学風化及生物吸收过程中,出現了蛭石。M. M. Mortland<sup>[28]</sup> 用黑云母栽培小麦后发现部分黑云母变成了蛭石。G. J. Walker<sup>[29]</sup> 并証明,黑云母轉化为蛭石是經過黑云母-蛭石中間矿物的。云母形成蒙脫石已被 R. C. Mackenzie 等<sup>[30]</sup> 所証实。而 W. P. Kelley<sup>[31]</sup> 早在 1939 年就指出了蒙脫石向高岭石的轉变过程。T. Tamula 等<sup>[32]</sup> 在研究夏威夷紅壤时,指出在高温情况下随着降雨量的增加高岭石分解而殘留的三水鋁石的量也增多。但 J. B. Harrison<sup>[33]</sup> 发现在湿熱条件下,三水鋁石可以是斜长石的风化第一产物,同时他也研究証明了在土壤中三水鋁石經复硅作用可以形成高岭石。

根据我們的矿物鑑定結果,特别是对紫色頁岩風化物(标本 16)及其形成的黃壤(标

表 6 几种土壤及其成土母质粘粒部分(<5 微米)对  $\text{NH}_4^+$  的固定

标本号	土 壤	地 点	全钾 ( $\text{K}_2\text{O}\%$ )	释放出的数量 (毫当量/百克)*		固定的数量 (毫当量/ 百克)
				用 NaOH 蒸馏	用 KOH 蒸馏	
15	紫色页岩母质发育的黄壤	广西 德保	2.02	24.9	19.7	5.2
16	紫色页岩半风化物		4.63	4.0	4.0	0
4	红砂岩母质发育的红壤	江西 新建	2.19	18.0	15.7	2.3
3	红砂岩风化物		3.43	22.9	21.0	1.9
19	花岗岩母质发育的高度富铝化红壤	广东 浦北	0.81	13.3	12.1	1.2
20	花岗岩风化物		2.06	11.4	11.6	-0.2
25	千枚岩母质发育的红壤	江西 万寿宫	3.48	7.7	7.0	0.7
24	千枚岩半风化物		—	6.6	—	—
27	片岩母质发育的幼红壤	海南岛东方	3.18	12.4	12.4	0
18	花岗岩发育的幼红壤	江西新建西山	2.14	19.3	17.7	1.6
8	玄武岩风化体发育的砖红壤	广东徐闻	0.11	5.0	—	—

\* 用 1N  $\text{NH}_4\text{Ac}$  饱和成铵质土后用碱蒸馏。

本 15) 和花岗岩半风化物 (标本 20) 及其所形成的富铝化红壤 (标本 19) 的研究所取得的材料, 我们认为在我国红壤地区的成土过程中, 含钾矿物可能有下列的转化规律:

- (1) 云母 → 伊利石 → “中间矿物” → 蛭石 → 蒙脱石 → 高岭石
- (2) 长石 → 高岭石

另外, 由花岗岩发育的富铝化红壤的成土过程中 (图 6 标本 20 为半风化物, 标本 19 为红壤) 可以看出: 斜长石 → 三水铝石 → 高岭石的转化次序是可能存在的。

## 结 论

通过红壤地区某些主要土类钾素含量及其状态的研究结果, 认为这些土壤虽然是在高度淋溶条件下形成的, 但是由于大部分土壤的成土母质中含有丰富的钾矿物, 所以依然拥有足量的钾素给源。华中低丘陵地的红壤 (包括红砂岩, 红色粘土及千枚岩等母质发育的土壤), 含全钾在  $\text{K} 1.0-2.5\%$  间, 速效性钾及有效性钾的总量每百克在 20 毫克上下, 是含有充分钾质养分的土壤。广西地区由石灰岩及中性紫色砂岩而发育的黄壤, 也含有充分的钾质养分。

华中及华南地区, 有一部分由花岗岩而发育, 未受侵蚀的幼红壤, 及残积性幼年土 (如由紫色砂页岩发育的石灰性紫色土), 由于成土母质中含有极高的钾矿物 ( $\text{K} 2-2.7\%$  上下), 土壤受母质的影响很深, 速效性钾及有效性钾的含量在每百克 60-100 毫克间, 是含钾质养分最为丰富的土壤。

华南地区, 由红色风化壳而发育的, 高度富铝化的红壤, 有一部分深受侵蚀, 以及由玄武岩风化体而发育的砖红壤, 有效钾及速效钾的总量在每百克 5-10 毫克上下, 是显著缺钾的土壤。

水稻土中的含钾原生矿物及次生矿物类型, 是服从于它的前身土类。但由于长期频

繁的耕作和施肥的影响,粘粒表面通常吸附有钾离子,同时 2:1 型的粘土矿物也固定了一部分钾。因此熟化了的水稻土,速效性钾及有效性钾的含量,远远超出其前身土壤。

所研究的旱地、林地及荒地的大部分土壤中,土壤粘粒(<5 微米)部分的含钾量,占土壤全钾含量的 40—90% 以上。土壤中的钾素,绝大部分(95—99%)以无效性(长石类型)和迟效性(白云母类型)的状态存在,有效性钾及速效性钾只占全钾的 0.3—5.0%。由于施肥的关系,在某些含钾矿物极低的水稻土中,速效钾及有效钾可占全钾量的 15% 上下。

由母质形成土壤的过程中,含钾矿物起了显著的变化。半风化的母质中常有云母存在,伊利石的含量也较土壤为多。发育成土壤后,伊利石减少,一般不含有云母,而出现了蒙脱石、蛭石和绿泥石,有时也出现由伊利石向蛭石过渡的中间矿物。某些由花岗岩发育的土壤,母质中的长石在土壤中消失而高岭石则大为增加。这样我国红壤地区的成土过程中含钾矿物可能具有下列的转化规律:

(1) 云母→伊利石→“中间矿物”→蛭石→蒙脱石→高岭石

(2) 长石→高岭石

同时在成土过程中还可能存在斜长石→三水铝石→高岭石的转化序列。

### 参 考 文 献

- [1] Attoe, O. J. and Truog E.: Exchangeable and acid soluble potassium as regards availability and reciprocal relationships. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* Vol. 10:81—85, 1954.
- [2] Lewis, C. C. and Eisenmenger, W. S.: Relationship of plant development to the capacity to utilize potassium in orthoclase feldspar. *Soil Sci.* Vol. 65:495—500, 1948.
- [3] Mortland, M. M., Lawton, K. and Uehara, G.: Fixation and release of potassium in some clay minerals. *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* Vol. 21:381—384, 1957.
- [4] Leaf, A. L.: Release of potassium from feldspathic rock and minerals. *Soil Sci.* Vol. 87:11—12, 1959.
- [5] Wood, L. K. and Deturk, E. E.: The absorption of potassium in soils in non-replaceable forms. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* Vol. 5:152—161, 1941.
- [6] Evans, C. E. and Simon, R. H.: Nonexchangeable K remal from soils by successive extractions as related to remal by green house crops. *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* Vol. 14:126—130, 1950.
- [7] Hunter, A. H. and Pratt, P. F.: Extraction of potassium from soils by sulphuric acid. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* Vol. 21:595—598, 1957.
- [8] Ayres, A. S. and Takahashi, M. and Kanehiro Y.: Conversion of nonexchangeable K to exchangeable forms in a Hawaiian soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* Vol. 11; 175—181, 1947.
- [9] Антипов-Каратаев: К вопросу о генезисе глинистых минералов при выветривании первичных минералов. Труды Поч. Инст. АН СССР Том. 51:98—152, 1956.
- [10] 何金海、石 华等:海南岛土壤调查报告。土壤专报 31 号(土壤研究所), 1—66, 1958.
- [11] 赵其国、邹国楚:雷州半岛之土壤及利用。土壤专报 31 号, 67—98, 1958.
- [12] 何金海、张俊民等:广东西南部及广西东南部土壤调查报告。土壤专报 31 号, 99—140, 1958.
- [13] 李庆远、石 华:广东、湖南、江西三省及广西僮族自治区初步土壤规划。土壤专报 34 号, 1—40, 1959.
- [14] 张俊民、韦启璠:广西百色和德保主要土类的生存环境和特性。土壤通报, 3:15—20, 1958.
- [15] 水稻丰产的土壤环境(尚在印刷中,有关江西水稻土的材料,是由于天仁同志供给,有关广东水稻土的材料,由龔子同同志供给)。
- [16] 广东省土壤区划,石 华等编(尚在印刷中)。
- [17] 张效年、李庆远:华南土壤的粘土矿物组成,土壤学报, 1958, 6 卷 3 期, 178—192.
- [18] 1958 年全国肥料试验网试验总结,中国农业科学院。
- [19] Shen, A. F., Deb, B. C. and Bose, S. K.: Potassium status and availability of crops of nonexchangeable potassium in some Indian red and laterite soils. *Soil Sci.* Vol. 68:291—305, 1949.
- [20] Stephens, C. G. and Donald, C. M.: Australian soils and their response to fertilizers. *Advances in*

Agronomy. Vol. X, 216—218, 1958.

- [21] 李庆遠、张效年：中国紅壤的化学性質。土壤学报, 1957, 5 卷 1 期, 78—96.
- [22] Пейв, Я. В.: Вопросы плодородия почв и питания растений. Почвоведение 3:74—76, 1957.
- [23] Lamb, J.: The availability of soil potassium. *Soil Sci.* Vol. 40:365—381, 1935.
- [24] Gisger, L.: The influence of reaction on the solubility and availability of soil potash. *Forschungsdienst*, 4:314—323, 1937.
- [25] Merwin, H. D. and Peech, M.: Exchangeability of soil potassium in the sand, silt and clay fractions as influenced by the nature of the complementary exchangeable cation. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* Vol. 15:125—128, 1950.
- [26] Scott, A. D.: Thermal study of ammonium fixation and release in certain clay minerals. *Amer. Min.* 41:701—721, 1956.
- [27] Walker, G. J.: Trioctahedral minerals in the soil clays of northeast Scotland. *Mineralogy Mag.* 29:72—84, 1949.
- [28] Mortland, M. M., Lawton, K. and Uchera, G.: Alteration of biotite to vermiculite by plant growth. *Soil. Sci.* Vol. 82:477—481, 1956.
- [29] Walker G. J.: The decomposition of biotite in the soil. *Mineralogy Mag.* 28:693—703, 1949.
- [30] Mackenzie, R. C. et al: Illite occurring in decomposed granite at Ballater, Aberdeenshire. *Mineralogy Mag.* 28:704—713, 1949.
- [31] Kelley, W. P. et al: The colloidal constituents of California soils. *Soil Sci.* Vol. 48:201—255, 1939.
- [32] Tamula, T. et al: Mineral content of low humic, humic and hydrol humic latosols of Hawaii. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* Vol. 17:343—346, 1952.
- [33] Harrison, J. B.: Katamorphism of igneous rocks under humid tropical condition. *Imp. Bur. Soil. Sci.* 1—79, 1933.

# ON THE STATUS OF SOIL POTASSIUM AND THE SEQUENCE OF TRANSFORMATION OF POTASSIUM-BEARING MINERALS IN SOME IMPORTANT SOIL TYPES IN THE RED EARTH REGION OF CHINA

LEE CHING-KWEI, WANG MAY-CHU AND CHANG SHIAO-NIAN  
(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, China*)

## (SUMMARY)

Some important soil types derived from various parent materials in red earth region of China have been studied for the content and status of potassium by chemical and mineralogical methods. The soils are grouped into three classes according to their level of potassium nutrients.

1. Soils rich in potassium nutrient—young soils derived from parent materials rich in potassium bearing minerals. Contain exchangeable K about 20mg/100 gms of soil and moderately available potassium (soluble in boiling  $N HNO_3$  solution) 40—70 mg/100 gms of soil. Sum of the two available portions of potassium amounts 2.5—5.3% of the total soil potassium. Illite is a significant component of their clay minerals.

2. Soils with moderate content of potassium nutrient—red soils of subtropic zone of central China and yellow soils. Contain exchangeable and moderately available potassium each around 10 mg/100 gms of soil. Illite and its decomposed intermediates have been found in variable quantities in soil clay.

3. Soils deficiency in potassium nutrient, including lateritic soils and red soils of tropic zone. Contain exchangeable potassium < 10 mg and moderately available potassium < 4 mg per 100 gms of soil. Kaolinite and gibbsite are the main constituents of soil clay.

The content of potassium mineral in rice paddy soils usually depends upon the original soil types from which they have developed. However, adsorption and fixation of potassium from applied fertilizers through intensive cultivation of rice plant increase the available potassium of the paddy soils. To fertile paddy soils of low total potassium content, the available potassium (including exchangeable and  $1N HNO_3$  soluble) may occupy 15% of total soil potassium.

The available portion of soil potassium is mainly held in soil clay. Potassium in sandy particles is in forms of feldspars and micas, varying according to the amount of these minerals present in their parent materials.

The sequences of transformation of potassium bearing minerals in important soil types of red earth region of China are suggested as:

Micas→illite→“intermediates”→vermiculite→montmorillonite→kaolinite.