

硅酸盐钾矿物风化的地球化学及其农业应用

洪庆玉

(四川石油学院地质系)

一、前言

硅酸盐钾矿物直接应用于农业以增加土壤中的可利用钾,在国外有过不少实验,有些国家也正在这样做。譬如,挪威利用黑云母、白榴石;苏联利用霞石、海绿石,都取得一定成效。但用另一些硅酸盐钾矿物,如钾长石、白云母所做的实验是不成功的。因此,这些矿物到目前为止,还不能直接应用于农业。

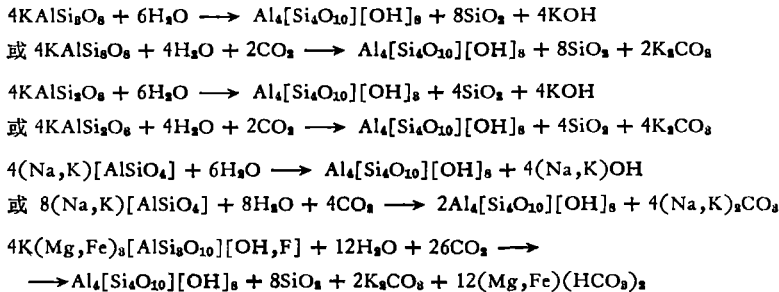
为什么有些硅酸盐钾矿物可直接应用于农业,而另一些硅酸盐钾矿物的钾不能为农作物所吸收呢?到目前为止还没有成熟的解释。为了从理论上解释硅酸盐钾矿物的风化及其农业应用,

作者拟就这方面的初步研究结果,作一讨论。不对的地方请同志们指正。

二、硅酸盐钾矿物风化的地球化学

(一) 主要的硅酸盐钾矿物,有白云母、黑云母、钾长石、白榴石、霞石、海绿石等。其中黑云母含 K_2O 6.2—11.4% (重量百分比,下同)、钾长石 8.8—16.9%、白榴石 15.6—21.5%、霞石 5.4—6.4%、海绿石 4.0—8.3%。这些钾矿物的风化对土壤形成起了一定的作用,同时在一定程度上保证了植物生长所需要的钾肥。

事实表明,这些钾矿物在一定的物理、化学和生物化学的风化条件下,都有类似的反应和产物:



虽然反应式相似,但它们的风化情况及速度却有着显著的差别。在挪威气候条件下进行的大量农业实验表明:黑云母容易风化,白榴石可以风化,而钾长石是极难风化的^[1]。但是,随着气候条件的不同,情况又不尽然。

在我国的气候条件下,不仅黑云母、白榴石等矿物可以风化,而且钾长石也可以风化,根据熊毅和杰克逊^[4]在我国南北各地所收集的土壤样品的矿物成分统计表明(详见后述),秦岭以南—长江以北地区,较北京以南—秦岭以北地区,长石的可风化性增加了 39%;长江以南地区较秦岭以南—长江以北地区,长石可风化性增加了 78%。

由上可见,不同矿物在同一地区风化情况的不同,同种矿物在不同地区风化情况的不同,都强

有力地说明了,硅酸盐钾矿物风化的难易,既取决于矿物的内在因素,又受外在风化条件的影响。

(二) 影响硅酸盐钾矿物风化难易的内在因素很多,如组成矿物的化学元素种类及其含量、结晶类型、结构构造等;其中最主要的是化学元素种类、含量及其所构成的结晶类型,反映这个最主要内因的是矿物晶格能。

矿物晶格能,既衡量矿物生成时放出能量的大小;同时也是矿物抵抗风化的能力的量度。所以,矿物的晶格能越大,在地表风化条件下越稳定;反之,就越不稳定。这一点同岩浆岩的晶格能大小与其稳定程度的关系一样^[2]。基于这种能量观点,作者计算了主要硅酸盐钾矿物的晶格能,如表 1。

表 1 硅酸盐钾矿物风化的地球化学比较表

矿物名称		晶 格 能		风化指数 (f)	稳定程度	
		Q (大卡/克分子)	误差范围 (±%)			
可应用于农业上的硅酸盐钾矿物	黑 云 母	平 均 值	2442	3.15	78.77	最 容 易 风 化 的
		变质岩中 4 个平均值	2378	3.11	76.78	
		碱性岩中 30 个平均值	2386	3.07	77.04	
		酸性岩中 66 个平均值	2440	0.50	78.78	
		基性岩中 23 个平均值	2562	5.88	82.73	
	白 榴 石	2727	0.68	87.97	容 易 风 化 的	
	霞 石	2741	0.82	88.42		
	海 绿 石	2747	1.10	88.61		
	钾 长 石	平 均 值	2828	0.43	91.23	可 以 风 化 的
		酸性岩中 261 个平均值	2816	0.50	90.93	
基性岩中 2 个平均值		2823	0.40	91.18		
碱性岩中 66 个平均值		2844	0.38	91.83		
伊 利 石		2802	0.58	90.39		
作 为 比 较 用 的 矿 物	蒙 脱 石	2817	0.68	90.96	很 难 风 化 的	
	高 岭 石	2962	1.96	95.55		
	白 云 母	3018	0.50	97.35		
	石 英	3097	—	100		

注: 1. 表中所示矿物晶格能计算, 化学成分取自参考文献[13, 14, 15, 16], 依着参考文献[2]公式 1 计算的。

$$2. \text{风化指数 } f = \frac{\text{任一矿物晶格能}}{\text{石英晶格能}} \times 100\%.$$

根据计算, 黑云母、白榴石、霞石、海绿石等的晶格能相对地较钾长石、白云母等为小。因此钾长石的风化, 就较前几种矿物困难。白云母在硅酸盐钾矿物中具有最大的晶格能, 因此, 它是很难风化的。事实上也确是地表最稳定的矿物^[12]。

由于石英晶格能最大, 因此, 石英在任何条件下都极难风化。所以, 我们把石英晶格能作为 100, 将所有硅酸盐钾矿物的晶格能与石英相比, 所得的相对稳定性就是作者建议的风化指数 f (见表 1)。硅酸盐钾矿物的风化指数 f 越小, 越容易风化; f 越大, 越不容易风化。

根据风化指数 f , 可将硅酸盐钾矿物的风化, 划分如下几种类型:

最容易风化的 $f < 80\%$

容易风化的 $f = 80-90\%$

可以风化的 $f = 90-95\%$

很难风化的 $f > 95\%$

黑云母、白榴石、霞石、海绿石属于最容易风

化和容易风化的类型, 因此, 它们既能在风化作用强烈的地区, 如我国风化; 又可在风化作用不太强烈的地区, 如苏联、挪威等国风化; 它们风化的范围很宽, 速度也很快。而比较难风化的钾长石, 则需要在化学和生物化学风化作用比较强烈的地区才易风化。这就是钾长石在挪威不能直接应用于农业的地球化学能量解释。

(三) 影响硅酸盐钾矿物风化难易及其快慢程度的外在条件很多, 首先是区域性的大地构造位置。不同的大地构造单元, 各地区不同的升降运动, 在很大程度上决定着风化作用的类型, 在年青的褶皱带地区、新构造运动剧烈地区、中高山地区, 主要是物理的风化作用; 在地台区、稳定的地块地区、低山丘陵和平原地区, 主要的是化学和生物化学风化作用。

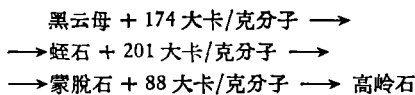
其次, 地理位置的不同, 气候带的特点不同, 风化壳的介质性质不同, 生物繁盛情况的不同, 都影响到风化作用类型及其速度。譬如, 白俄罗斯

广泛分布的黄土,在风化过程中,“只有 CaCO_3 从上部层位被带走,而 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 实际上是不活动的”^[11]。即是说,这些元素所组成的矿物在白俄罗斯的风化条件下,是稳定的。但是,广泛分布在我国西北、华北的黄土,在当地的风化条件下,除 CaO 有 23.5% 被带出外,被带出的组分尚有: SiO_2 0.7%、 MgO 0.8%、 Na_2O 3.8%、 K_2O 12.6% (表 4)。

(四) 太阳的辐射能是外动力地质作用的能量来源,是物理风化作用和化学、生物化学风化作用的基础。所以,从其本质讲,物理风化作用和化学、生物化学风化作用,都不过是破坏矿物,转递太阳辐射能的方式。

太阳辐射能,通过物理的、或化学的、或生物化学的、或几种联合风化作用的形式,给予被风化矿物的能量不是瞬时或一次交给的,而是在相当长的时间内一次又一次地供给的。当矿物接受了这种能量后,及时地就有适应于所供给能量大小的变化^[2]。

譬如,黑云母风化或高岭石,需要接受的能量及途径如下:



由此不难看出,黑云母风化或高岭石必需要有能量的供给,而这种能量供给又是分期分批的。

三、我国钾长石的风化及其农业应用

(一) 根据 V. M. 戈尔德施密特及其它学者,在挪威气候条件下进行的大量农业实验结果表明:“即使从粉碎的钾长石中,钾也是绝对不为植物所吸收,而在黑云母中的钾却易于被利用”^[1]。在对挪威土壤的细致研究工作中又得出:“在北方气候条件下,由晶质岩石或由冰碛岩屑所形成的土壤,其绝大部分可被利用的钾是来自这些岩石中的黑云母,而钾长石实际上是不溶解的。白榴石中的钾被认为比钾长石更易为植物所利用”^[1]。

在苏联,利用霞石、海绿石于农业,也取得了成功的经验。

总之,从地球化学观点看,国外在利用硅酸盐钾矿物方面,主要是利用一些最容易风化和容易风化的矿物类型。由于这些利用国家均位于北纬 45° 以北地区,其风化作用强度远没有北纬 45° 以

南地区强烈。因此,晶格能大、抵抗风化作用较强的钾长石,在这些地区极难风化;也就不能应用于农业,这是可以理解的。黑云母、白榴石、霞石、海绿石可以风化,钾长石不容易风化有力的说明了位于北纬 45° 以北的挪威、苏联等国的风化条件,能使 $f < 90\%$ 的矿物发生风化,而 $f > 90\%$ 的矿物则不容易风化。

我国虽然幅员广大,然而绝大部分疆土位于北纬 40° 以南的温带和亚热带。因之,我国的风化条件和强度一定强于苏联和挪威。但由于我国辽阔广大,因之各地区的风化条件也是不相同的。

如以秦岭、长江划分的我国东部三个气候区(见表 2),由于各区具有不同的气候条件和特点,因此,各地风化作用的强弱程度是不一样的。在华南区,气候温暖,多雨而潮湿,植物繁盛,四季常青,土壤的 pH 一般 < 5.5 ; 这一区域是我国化学及生物化学风化作用最强烈的地区。而华北区的气候比较寒冷,少雨而干旱,植物不繁盛且具有季节性,土壤的 pH 一般 > 6.5 , 因而这一地区是我国化学及生物化学风化作用不很强烈的地区。

表 2 根据气候特点对我国风化作用强度区的分类

气候特点		地 区		
		北京以南— 秦岭以北 寒温带	秦岭以南— 长江以北 暖温带	长江以南 亚热带
气 候 特 点	平均温度(C)	10.77	17.70	18.62
	平均降水量 (毫米)	440.33	1173.40	1462.07
	平均湿度(毫米)	6.51	11.88	13.85
	土壤中的 pH	> 6.5	5.5~6.5	< 5.5
	植物生长情况	季节性生长	繁盛常青	繁盛四季常青
风化作用强度		不很强的 碳酸钙带	很强的 杂粘土带	强烈的高岭 土带与 铝矾土带

此表根据陈世训、马溶之、宋达泉、李庆远、于天仁等有关数据整理制作的。

(二) 在我国丘陵和高原、低山地区发育的残积风化壳,大大多于平原和河流的三角洲地区所发育的堆积风化壳。假如各地的风化作用强度相同,那么在堆积风化壳里不容易风化的稳定矿物数量,应该大大高于残积风化壳里的同种矿物数量。反之,在残积风化壳里容易风化的不稳定矿物数量,应该大大高于堆积风化壳里的同种矿物的数量。但是由于我国各地的风化作用强度不同,所以情况相反。

表3 我国土壤中 <5微米 粒級的几种礦物含量变化表*

土 层	地 区	长石(鉀长石+鈉长石)		伊 利 石		高 岭 石	
		含量(%)	各区变化(%)	含量(%)	各区变化(%)	含量(%)	各区变化(%)
A	寒温带 6 个平均值	16.73	39.03	33.02	46.69	9.03	123.7
	暖温带 2 个平均值	10.20		17.60		20.20	
BC 层 平均值	暖温带 4 个平均值	9.34	78.27	25.80	66.74	10.66	202.1
	亚热带 4 个平均值	2.03		8.58		32.20	
B	暖温带 1 个值	7.50	42.00	15.10	46.03	12.00	114.2
	亚热带 2 个平均值	3.15		8.15		25.70	
C	暖温带 3 个平均值	11.18	91.95	34.78	74.12	9.32	315.2
	亚热带 2 个平均值	0.90		9.00		38.70	

* 根据参考文献[4]数据改作。

根据熊毅和杰克逊^[4]在秦岭以北寒温带地区堆积风化壳上所采集的A层土壤,其长石含量为16.7% (见表3)。此值略高于沉积岩中的平均长石含量15.6%^[12,13]。这就是说秦岭以北广大地区的风化程度限制在长石与沉积岩保持着相对平衡的状态。这种情况表明,西北和华北广大地区所分布的黄土,继续着沉积岩的矿物学特点。因此,我们就以长石含量的16.7%为基数,比较其它地区与此区的相对风化程度。

从表3可见,秦岭以南—长江以北的暖温带地区,发育在玄武岩和頁岩风化的残积型母质上的A层土壤里,长石含量为10.2%。不仅没比堆积型的风化壳含量高,而且还降低了39%。同时与长石晶格能相差不大而抵抗风化程度差不多的伊利石,在此区域也下降了46%。这些矿物的减少使其风化产物——高岭石增加了123%。这就是说,长石在此地区要比秦岭以北地区容易风化。从其量说,此区域的长石可风化性要比秦岭以北高39%。

表3还说明我国长江以北—秦岭以南的暖温带,与长江以南的亚热带的同一层位(都为残积型风化壳)相比B层和C层土壤中长石和伊利石均有规律地下降,而高岭石则有条件、有规律地增加,因而我们同样能得出:长江以南亚热带地区的长石,要比长江以北—秦岭以南暖温带地区的长石容易风化。从其量说:亚热带地区长石的可风化性要比暖温带地区高40%以上。换句话说,长江以南地区要比秦岭以北地区,长石的可风化

性增加80%以上。这就是长石的相对风化性在我国地理上的分布规律。

在这里也必须说明一下,虽然所引证的长石是鉀长石与鈉长石,但由于这两种矿物具有相同的抵抗风化能力和一致的风化情况^[12,13],所以,得出的结论是适合于鉀长石的。限于篇幅,在此不加详述。

(三) 元素组成了矿物,矿物又组成了岩石。因此,不管是矿物的变化或者岩石的变化,都必然反应在组成它们的化学元素含量的变化上。

在硅酸盐的矿物岩石成分中,铝在地表风化条件下其含量基本是不发生变化的^[12]。因此,衡量矿物岩石风化程度的,主要是组成络阴离子的硅和主要阳离子钙、镁、鈉、鉀。如果这些元素的带出量多,就说明风化作用强烈;反之,则不强烈。基于此点,作者计算了在铝不变的情况下岩石风化带出的元素,见表4。

我国西北、华北广泛分布的黄土,无论是矿物成分或是化学成分都相似于粘土岩类,然而由于它们组织疏松,胶结不紧,因此,抵抗风化能力应该低于頁岩的。但事实并非如此。如四川风化作用较西北、华北强烈,因此,在四川从頁岩形成土壤的过程中所带出的SiO₂、MgO和R₂O,比西北、华北由黄土形成土壤的过程中所带出的为多(表4)。这就是说,四川頁岩在成土过程中至少风化12%的硅酸盐矿物(因为MgO + R₂O是从硅酸盐矿物破坏中被带出的,下同)。在此过程中风化出来的6.3% SiO₂呈胶体态被带走。西北、华北

表 4 我国母岩在形成土壤的过程中元素带出重量(%)*

母岩	地区	带出组分	SiO ₂	RO + R ₂ O 加权平均	RO		R ₂ O			
					加权平均	CaO	MgO	加权平均	Na ₂ O	K ₂ O
黄土 及 頁岩	西北与华北	1	0.70	10.03	12.62	23.53	0.80	7.08	3.85	12.60
	四川重庆北碚	2	6.35	12.15	—	—	8.72	13.85	1.06	24.01
花 崗 岩	山东威海市	3	8.93	38.14	12.39	+4.66	64.89	82.80	92.04	79.68
	江西南昌市	4	15.25	76.75	100	100	100	53.50	74.30	45.85
	广西南宁市	5	34.72	87.92	80.03	78.46	83.54	90.57	91.84	89.92
	广东海南島	6	48.55	81.50	83.55	100	67.09	79.44	95.93	77.47

* 表中 3,4,6 根据参考文献[5,6,7],1,2,5 根据参考文献[9]的有关数据。計算公式:

$$t = \frac{t_1 - t_2}{t_1} \times 100\%; \quad t_2 = t'_2 \times \frac{Al_2O_3_{母岩}}{Al_2O_3_{土壤}} \times 100\%.$$

其中 t : 氧化物从母岩风化过程中带出的重量%;
 t_1 : 母岩氧化物重量%;
 t_2 : 在 Al 不变情况下土壤的氧化物重量%;
 t'_2 : 土壤的氧化物重量%。

的黄土母岩,在成土过程中仅有 4.6% 的硅酸盐矿物风化,0.7% SiO₂ 被带走。由此不难看出,暖温带的四川比寒温带的西北、华北其硅酸盐可风化性增高了 38%。这和前节所讨论长石的可风化性增高 39% 几乎相等。

因为燕山期生成的花岗岩在暴露地面后,由于各地的风化强度不同,因此,它们在形成土壤的过程中带出各种元素的量也不相同。从表 4 不难看出,从北至南花岗岩在我国不同气候区的风化,是 SiO₂、RO + R₂O 的愈加剧烈带出。在两广地区的风化条件下,花岗岩组成中的硅酸盐矿物(石英除外),至少有 84% 被风化(这和 D. Collier 研究“热带国家里花岗岩可有 80% 遭受化学风化”^[10]的结论是一致的;和前节讨论的长石在华南区可风化性增高了 80% 以上的结论也是一致的)。

与威海地区相比,硅酸盐的相对可风化性增高了 45%。大家知道,在花岗岩中硅酸盐的风化,主要是钾长石和黑云母,从数量说,主要的还是钾长石。因此花岗岩的硅酸盐可风化性两广地区较山东威海地区增加 45%,实际上也就是钾长石的相对可风化性增加了 45%。

(四) 总结上述,我国不同气候带的风化强度,从北至南依次增强。与此相应的,无论是长石含量的有规律变化,或者是元素的带出量,都说明钾长石在我国是可以风化的。其风化数量,在亚热带地区为 80% 以上;暖温带地区 50—60%;寒

温带地区 30% 左右。

上述讨论虽然是建立在自然进行的风化作用的基础上。但是,也正因为这样,才使我们获得了既是地质学上的又是土壤学上的可靠结论。由于钾长石可以风化,特别在我国华南地区可以大量的风化,因之,可将经过选择并粉碎到一定细度的钾长石作为钾肥,这一点也为自然事实所证实,正如土壤学家李庆远等^[8]所发现的,我国华中、华南发育于花岗岩、红砂岩、頁岩等的红壤,由于母岩中含钾矿物丰富(以钾长石为最多——本文作者注),因之这类土壤是不缺少钾肥的。

当然,与我国同纬度的其它温带、亚热带和热带地区,即赤道两侧的 40° 以内地区,钾长石同样是可以风化的;并越接近赤道,这种风化作用越强烈。这样一来,占地壳总重量 20% 以上、占花岗岩 40% 的钾长石,在赤道两侧的 40° 范围内的广大地区中,可以不需提炼加工而直接作为钾肥。

这种钾肥原料,不仅储量,而且到处可有,其工业处理(开发、粉碎、选矿)比较简单,对农业有害的杂质如 SO₄²⁻、Cl⁻ 等在数量上也很少。所以,在这些地区利用钾长石为农业化肥原料,是具有一定的远景的。

最后,限于作者工作性质和知识水平,所以,只能提供硅酸盐钾矿物应用于农业的可能性和理论根据。至于硅酸盐钾矿物应用于农业的更多工作,还有待有关部门加速研究,多做一些工艺和农

业試驗才能肯定。

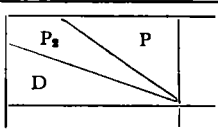
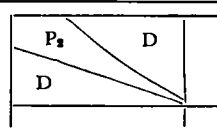
参 考 文 献

[1] V. M. 戈尔德施密特(沈永直,郑康乐译): 地球化学。120—130 頁,科学出版社,1959。
 [2] 洪庆玉: 論岩漿岩风化期长短的地球化学。地质論評, 18 卷, 5 期, 365—367 頁,1958。
 [3] 洪庆玉: 內生含鉀矿物风化的地球化学和在农业上的应用。四川省地质学会第三届学术年會論文摘要汇编, 68—70。
 [4] Hseung, Y. and Jackson, M. L.: Mineral composition of the clay fraction (III) of some main soil groups of China. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 16: 294—297, 1952。
 [5] Thorp, J.: Geography of the Soils of China. Geol. Surv. of China, pp. 231—274, 1939。
 [6] 李庆遠: 华南紅壤的化学性質。未刊稿, 1955 年。
 [7] 李庆遠等: 中国紅壤的化学性質。土壤学报, 5 卷, 1 期, 78—96 頁, 1957。
 [8] 李庆遠等: 我国紅壤区某些主要土类鉀的含量、状态及含鉀矿物的轉化規律。土壤学报, 9 卷, 1—

2 期, 22—35 頁, 1961。
 [9] B. A. 柯夫达(陈恩健等译): 中国之土壤与自然条件概論。科学出版社, 1960。
 [10] Collier, D.: 溫暖气候国家內花崗岩的风化作用。地质文摘, 第 3 期, 第一分册; 1963。
 [11] Лукашев, К. И.: 白俄罗斯黄土岩中碱金属的地球化学特征。地质文摘, 第 10 期, 第一分册, 第 13 頁 2 B 13 条, 1962。
 [12] 南京大学岩石矿物教研組: 沉积岩石学。南京大学地质系出版, 1961。
 [13] 許冀泉: 粘土矿物与土壤。地质出版社, 1956。
 [14] R. E. 格里姆(許冀泉译): 粘土矿物学, 地质出版社, 1960。
 [15] 須藤俊男(李夷译): 粘土矿物。科学出版社, 1959 版。
 [16] П. Н. 齐尔文斯基(赵福宁译): 火成岩、变質岩和沉积岩的主要矿物的平均化学成分。地质出版社, 1957。
 [17] 侯德封: 化学地理和化学地史。地质科学, 10 期, 290—293 頁, 1959。
 [18] 陈世訓: 中国的气候。商务印书館, 1959。

更 正

(12 卷 2 期)

頁	行	誤	正
198	倒 7	及	反
230	10	……物理資料中 ^[5] 发现	物理資料中发现
233	表 3		
233	末行	……第一橫行(P 值)为……	……第一橫行(D 值)为……

編委会启