

土壤学中的矿物学研究

Е. И. 帕尔费诺娃

Е. А. 亚里洛娃

科学出版社

土壤学中的矿物学研究

Е. И. 帕尔费诺娃 Е. А. 亚里洛娃 著

方 明 熊德祥 译

黄瑞采 潘中力 校

科 学 出 版 社

1 9 6 6

Е. И. ПАРФЕНОВА и Е. А. ЯРИЛОВА
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ПОЧВОВЕДЕНИИ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва 1962

内 容 简 介

本书内容可概括地分为三部分：第一部分论述不同岩石母质上土壤矿物的组成成分、形成过程及各种成土因素对土壤矿物形成的影响，并论述了不同矿物在风化过程中元素的释放对于土壤肥力及植物营养的关系。第二部分介绍偏光显微镜的操作技术和土壤微形态的研究；后者包括土壤薄片的制作方法，土壤微形态的类型和鉴定特征。第三部分介绍应用偏光显微镜鉴定土壤矿物组成成分的方法，包括土壤样品的处理以及按不同粒级鉴定土壤矿物的组成成分。最后列举了主要土壤矿物的鉴定特征。

本书可供土壤工作者和高等院校土壤专业的师生参考。

土壤学中的矿物学研究

[苏] Е. И. 帕尔费诺娃 Е. А. 亚里洛娃 著

方明 熊德祥 译
黄瑞采 潘中力 校

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1966 年 5 月第一版 开本：850×1168 1/32

1966 年 5 月第一次印刷 印张：6 3/4

印数：0001—2,300 字数：174,000

统一书号：13031·2266

本社书号：3434·13—12

定价：[科七] 1.20 元

序 言

矿物学的研究对于研究土壤的发生及土壤的实际利用具有非常重要的意义。矿物是组成土壤物质的基本部分,因此,为了了解土壤的各种性质和在不同自然地带内土壤形成的特性,必须全面地研究矿物的组成成分及其变化。

近年来矿物学的研究越来越多地深入到土壤学中,然而由于缺乏专门的指导书,使得这项工作难以进行。使用地质学和矿物学的参考书不可能完全满足土壤学家的需要,因为土壤是一种特殊的自然体,而对于可以确定土壤特点的种种形成物,在这些参考书中并未得到充分的阐明。重要的是,不仅仅是确定土壤矿物的组成成分,而且首先是确定这些土壤矿物在土壤形成因素的影响下所受到的变化,以及当时形成的各种新产物(矿物质的和有机-矿物质的产物)。因此,把地质学家所用的方法加以某些改变和补充,便可以用于土壤学中(例如油浸法,薄片的制作和研究等等)。

必须极其重视这些方法的更进一步的研究,而且首先是重视对土壤学家具有很大的意义的微形态学的研究。本书只提出微形态学一般的概念。最近的任务应该是积累有关不同土壤类型的微形态学的报导,以及这方面的专题著作中的总结。这种方法应该大力发展,并且应该广泛的运用到土壤研究的实践中去。

本书主要是根据种种文献资料编成,其中也应用了我们自己在土壤矿物方面的研究成果。我们从文献资料中引用的,主要是涉及到土壤矿物研究的资料。因为土壤学中矿物学的研究在国外已非常普遍,我们尽量的把它反映到本著作中去。本书几乎没有提到有关风化问题方面的地质学和物理-化学的资料。遗憾的是,有关铝硅酸盐类风化过程动力学方面的重要工作未能编入,这些

工作有一小部分曾由 И. И. 金兹布尔格 (Гинзбург) 向粘土研究委员会作过报告, 但尚未发表。书中援引的资料主要是属于用偏光显微镜所作的种种研究。研究细分散粒级时所采用的方法, 我们不拟作详细研究。

目 录

序言	iii
第一章 土壤矿物组成成分的形成	1
土壤矿物学的特点	1
坚硬岩石上土壤形成的初期阶段	4
微生物对岩石的作用	5
地衣对岩石的作用	7
岩崖上的苔藓草泥	15
岩崖上的禾本科杂草草泥	16
坚硬岩石上的土壤	19
沉积岩上的土壤	25
大陆冲积层上的土壤	27
第二章 风化和粘土形成	34
硅酸盐构造的一般概念	34
孤立四面体硅酸盐	36
连续链状四面体硅酸盐	36
连续层状四面体硅酸盐	37
SiO_4 四面体和 $(\text{SiAl})\text{O}_4$ 四面体所组成的连续三向架状 硅酸盐	43
矿物抵抗风化的稳定性	44
矿物稳定性的次序	44
矿物的稳定性与晶体结构的关系	47
矿物的稳定性与矿物其他性质的关系	49
矿物的稳定性与自然环境的关系	50
风化和粘土形成的机制	51
长石和云母改造为粘土矿物	51

	粘土矿物合成的实验室试验	58
	粘土矿物的形成与成土因素的关系	61
	气候的影响	62
	母岩的影响	62
	地形的影响	63
	植被的影响	64
	时间的影响	65
	作为植物营养物质泉源的原生矿物	67
第三章	偏光显微镜的操作	71
	偏光显微镜	71
	研究矿物的基本方法	72
	在沒有分析镜的透射光下的研究	73
	在正交偏光镜的透射光下的研究	76
	在聚敛偏光下的研究	79
	在反射光下的研究	83
第四章	土壤微形态学的研究	84
	库比埃纳的方法	84
	土壤微垒结的类型	85
	腐殖质的微形态	91
	用薄片鉴定的苏联某些土壤的特征	95
	机械组成分	97
	团聚性和孔隙度	99
	有机残余物和腐殖质	102
	土壤中的盐类矿物	104
	铁质新生体	108
	粘土物质的析出与定向	110
	土壤微形态学的描述	114
	描述纲要	114
	土壤的微形态学的描述举例	115
	土壤薄片的制作方法	124
第五章	用偏光显微镜鉴定土壤的矿物组成分	131
	矿物学研究的样品制备	131

各种粒级的矿物的研究·····	133
>0.25 毫米粒级的矿物的鉴定·····	133
用油浸法鉴定 0.25—0.001 毫米粒级的矿物·····	134
<0.001 毫米粒级的矿物的鉴定·····	142
第六章 植物与土壤中的生物岩·····	152
第七章 最主要的土壤矿物·····	165
矿物一览表·····	165
比重为 >3.00 的矿物·····	165
比重为 3.00—2.75 的矿物·····	181
比重为 2.75—2.63 的矿物·····	185
比重为 2.63—2.58 的矿物·····	188
比重为 2.58—2.20 的矿物·····	190
比重为 <2.20 的矿物·····	194
参考文献·····	197

第一章 土壤矿物組成分的形成

土壤矿物学的特点

土壤矿物的研究是矿物学的独立分支，因为组成土壤组成成分中的原生矿物的改造过程和新次生矿物的创造，都是在地壳表面的特殊条件下进行的。这些条件就是：正常的温度和压力，有机体的强烈的生命活动，天然溶液和气体的影响，氧化还原状态的更替等等。

苏联的第一个土壤矿物研究实验室是在 1940 年由波雷诺夫 (Б. Б. Полюнов) 建立的，他认为土壤学中矿物学的研究具有很大的意义。在他未发表过的材料中(1945 年)，有关这方面的若干见解直到现在还没有失去意义，我们认为应当把它作某些删节，介绍给读者。

“因为土壤形成可能遍及任何的母岩，任何的冲积物和任何的矿物体，所以在土壤组成成分中显然可能含有我们已知的任何一种矿物……。

必须注意：(1)在土壤中所形成的一切矿物，由于新物质的搬运或埋藏的结果，可能转为冲积物的组成成分，然后，便转为沉积岩的组成成分；(2)极大多数的表生矿物 (вадозный минерал) 都是起源于土壤形成过程；(3)在土壤中进行和在风化壳较深处进行的矿物形成过程之间的区别，远非总是明显而无疑的……。

同时必须考虑到，风化壳具有许多特有的矿物形成物(主要是生物岩的形成物)，这些形成物矿物学家通常是不加研究的……；然而在土壤学中，这些形成物有时具有特别重大的意义。

在土壤中所遇到的所有矿物和矿物形成物，我们首先可以把它分为两个基本的类型：(1)残积原生的 (остаточно-первичные)

和(2)表生的(вадозные)。所谓残积原生矿物在该种情况下所指的是岩浆岩和结晶片岩的矿物。这样我们就可看出,我们的残积原生矿物的概念较之矿物学中的原生矿物的概念更广泛些,因为我们所说的残积原生矿物里的某些矿物在矿物学中是归入次生矿物的。众所周知,这是因为矿物学不仅把风化作用列为次生过程,而且把不同形式的变质作用和火山后期的过程也列为次生过程(热液的和气体的成矿过程)。我们在划分残积原生矿物的类型时,力图将不可能是由于风化作用(其中包括土壤形成)的结果的一切矿物都归入这一类。然而应该预先说明的是,这时常常遇到一些意见不一致的、远还没有精确查明的矿物起源条件的困难情况。一些学者把全部矿物都归属于风化作用的结果,另外一些学者则归属于不同种类的变质和火山后期过程的结果……。

研究土壤和风化壳的残积原生矿物可以:(1)查明土壤或所有风化壳与岩浆岩及变质岩之间在发生学上的联系;(2)在某种程度上查明一般风化过程的和包括土壤形成过程在内的特征、强度和延续期限。为了估价第一类结论中残积原生矿物的可能作用,必须注意到,在很多情况下,垫在土壤下面的岩石并不是成土母质。在山地的条件中,土壤通常是在薄层的坡积覆盖层上形成,此覆盖层是由处于斜坡表面、且具有与垫在土壤下面的岩石完全另一种特性和组成成分的岩石所构成。例如,在高加索西部高山区可以看到这样一些情况:土壤形成几乎遍及整个石灰岩上的岩浆岩的深厚坡积层。有时土壤形成不仅有赖于下垫的岩石,而且也依靠上面的岩石……。

在含有残积原生矿物的冲积层上形成土壤的情况更为普遍。这些矿物便可说明冲积层的来源,而它们的形状和状态(磨光程度、分散性等)则可说明它们迁移搬运的性质和长期性。至于第二类结论,在正规的正残积土壤(ортоэлювиальная почва)剖面上,亦即在岩浆岩和结晶片岩上所形成的土壤的剖面上,最容易获得这类结论。在这里只要简单地把岩石的矿物组成成分和土壤剖面的不同层次的残积原生矿物组成成分及状态比较一下,就可以查明风

化的性质和强度(或长期性)。在刚才阐述过的转移剖面(смещенный профиль)的情况下,这一任务有些复杂,但还是可以完成的。在不同气候及植物环境中,把发育在各种岩浆岩及变质岩上的正残积土壤的残积原生矿物进行广泛的比较研究,无疑可以大大加强我们对矿物抵抗风化的相对稳定性的理解。

在土壤中所遇到的表生矿物和矿物形成物,按其形成过程可划分为两个基本类型:(1)生物岩(биогенные)类型;(2)由分子溶液和胶体溶液中沉淀出来的类型。生物岩类也可分为:(a)生物生活时在生物体中形成的生物岩和生物死亡后残留在土壤中的生物岩;(б)在有机残体成矿作用过程中所形成的生物岩……。两组生物成因的矿物和矿物形成物过去研究得很少,因此其对它们的形状已了解的为数较少……。

从任何矿物的和有机体的土壤形成物中,都可以获得在风化壳和土壤中循环的各种天然溶液。从这些溶液里沉淀出来的化合物,就其化学性质而言,或多或少是属于易溶性盐的类型。如所周知,这种沉淀物在很多土壤的剖面中都可看到。这些盐类在土壤剖面中的分布和移动可以反映出现在的和部分地反映以前的土壤盐分和水分的状况,换一句话说,它可反映出土壤形成和发育的气候和水文地质情况。直到现在,这些状况几乎只用化学方法进行研究。这些盐类的矿物学性质通常是不加研究的。

然而对盐类矿物学进行研究的初步尝试,不但已经发现了其中某些盐分的起源,并且也发现了对土壤盐分活动的条件有可能作更深透的阐明。

从呈胶体(溶胶或凝胶)状的溶液里沉淀出来的矿物化合物,早就成为探索矿物胶体研究方法的矿物学特殊部门的研究对象。这种方法带有物理化学的性质,它的基本特点是借用胶体化学的。但是除了物理化学方法以外,也研究矿物胶体的矿物学研究的方法。这种研究实际上很早以前就有了,但是在最近才得到了比较广泛的推广。正如我们所了解的,进行这种研究遇到过很大的困难,但是结果,竟可以说明风化壳和土壤形成过程的许多问题,仅

仅采用物理化学的方法是不能阐明这些问题的。粘土矿物类的形成过程及在风化壳和土壤的不同形态、类型之间的相互关系，仍是这些重大的问题之一；就其本身的意义和广度而言，它达到了一个独立的问题的程度。

此外，某些学者还划分出表生的残余矿物的特殊类型。多次的观察发现，在某些情况下，原生矿物由于受到了风化作用的影响可以不破坏结晶构造而变为表生残余矿物，但是结晶格有非常重大的变化。例如钾长石可变为白云母¹⁾，而白云母又变为高岭石，并且新的矿物按原来的样子形成假晶。这一过程可以认为是氢逐渐的置换钾，其中氧化硅铝晶格骨架并没有受到破坏，而只是变形。从这一观点上看来，新的表生矿物（白云母和高岭石）可以认为是“残余的”。另一方面，因为这个过程是在一定的水分参与下进行的，并且常常是从明显的水合作用开始的，所以可以认为，在这样的情况下，我们遇到的是溶解和由溶液中沉淀的极微细的过程。在任何情况下，这些内部结晶过程的实质仍然是不清楚的。它们的分布规律了解得还少，目前它们的分布与其说是区域性风化的影响，不如说是地方性的风化的影响……。

我们曾指出土壤学中土壤矿物和矿物形成物的每一个别类型的意义。弄清楚土壤矿物个别类型之间的形成过程的关系，对于我们的作用虽说不大，但是也不小。正残积土的剖面在这一方面可以提供十分有成效的资料，因为在适当安排研究的情况下便能够查明原来母岩矿物变化的全部阶段，并且能够查明在土壤形成的不同物理化学条件下每一类表生矿物的形成……”²⁾。我们从这种正残积的形成物开始，在下一节中着手研究土壤矿物的组成成分。

坚硬岩石上土壤形成的初期阶段

开始形成土壤矿物组成成分，是从有机体栖居于岩石露头表面的时候起。从土壤形成的最早阶段起，便进行着原生矿物的破坏

1) 更准确地说，应为绢云母。

2) 从保藏在苏联科学院中央档案室的波雷诺夫院士的手稿中所取得的资料。

和变化以及次生矿物的合成。

在这一节里，我们试图从最初的栖居者——微生物对块状结晶岩的影响开始，依次研究土壤矿物组成成分的形成。

微生物对岩石的作用

格拉佐夫斯卡娅 (M. A. Глазовская 1950, 1952) 在天山中部雪原地带曾研究了土壤形成的最早阶段。她在高度 4200 米以上的冰川地区，曾发现发育在光秃的岩崖表面的黝黑薄壳中，有大量的微生物(1 克物质达一百万个)。在这些微生物积极的参与下，岩石矿物进行着化学的和机械的变化。在表 1 中所引用的是花岗岩及其风化薄壳的矿物分析资料。

表 1 花岗岩及其风化产物的矿物组成成分(百分数)

矿 物	取自 5—10 厘米深处的花岗岩	取自 3—5 厘米深处的风化的花岗岩	取自 0—1 厘米深处的风化薄壳
石英	29.5	30.1	33.0
新鲜的长石	55.0	45.0	20.0
风化的长石	11.0	16.5	20.5
白云母	0.3	0.8	1.6
黑云母	1.2	1.3	1.0
普通角闪石	0.6	0.7	0.5
磁铁矿	0.8	0.2	0.1
绿帘石	0.3	0.3	0.5
磷灰石	0.1	0.2	0.1
锆石	0.02	0.02	0.08
方解石	0.1	0.5	1.3
粘土矿物	—	3.0	8.9
棕色团聚体	—	0.2	3.0
蛋白石	—	—	1.0

从表 1 可以看出，首先是长石遭到变化。在风化的花岗岩内新鲜长石的含量显著减少，因为它们泥浊化(变成泥质)。在表面出现风化粘土产物的薄膜和片状绢云母。涂以藻红¹⁾(эритрозин)

1) 用于有机成因物质染色的试剂。

之后,就表明了在这样的泥浊化的薄膜之上,存在着大量的藻类、细菌和真菌。长石的总量在风化薄壳中急剧的降低就证明,泥浊化的颗粒更进一步的强烈破坏作用。黑云母和普通角闪石可受到某些变化:它们部分变成褐色,或者由于氧化作用,或其中所含有的

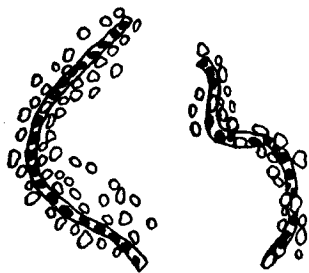


图1 带有方解石甲壳的线状蓝藻

铁被排除出去,而变得明亮起来。岩石表层石英数量的增加是相对的,并且与其他矿物的破坏有关,因此表1所列的数字对比不断变化。在风化过程中可产生新的矿物:蒙脱石族¹⁾的粘土矿物和方解石;方解石的细小晶体好象甲壳一样蒙在线状蓝藻之外(图1)。

格拉佐夫斯卡娅所进行的试验就可以说明微生物对花岗岩中矿物的影响(表2)。

表2 花岗岩风化薄壳中矿物上的微生物在接种于琼脂液情况下的增长

矿物	试验1	试验2	微生物的描述
	带有微生物的颗粒 (%)		
石英	4	1	仅有一点点明显的带有球形细菌的细菌粘液。很多带白色絮状细菌粘液;放射状的球形细菌菌落。很多大型的球形细菌菌落。
长石	31	76	
黑云母	60	85	

她从风化的花岗岩中选取了一百颗石英、长石和黑云母,然后把它们分别放在带有琼脂液的培养皿中。处在这些颗粒表面的微生物只能依靠矿物本身来取得矿物质营养,从营养基里它们只能取得有机物质和水分。经过10天以后,将发育了微生物的矿物颗粒,用显微镜作了统计。发现几乎所有的石英颗粒依然是无菌的,可是大约在80%的长石和黑云母颗粒上,却开始生长了细小

1) 这是根据折射率和有机性染料来鉴定的。

球形细菌的带白色的菌落。这种试验作某些其它的处理，则发现在风化的长石和黑云母颗粒上有真菌微生物区系的发育[青霉、交链孢霉、头孢霉(*Penicillium*, *Alternaria*, *Cephalosporium*)]。在进行试验的期间内，石英、绿帘石、锆石、磁铁矿以及新鲜的长石和新鲜的黑云母仍处于无菌的状态。这样便查明了，在风化薄壳上具有各种各样的微生物，长石和黑云母最易遭受破坏。

因受微生物作用而变疏松的风化薄壳在寒冷的气候条件的影响下，逐渐出现许多裂纹，并且与岩石表面脱离开来；它们在崖麓聚积成为坡积覆盖层。留下来的新鲜的表面又受到微生物的影响，这样一来，土壤形成过程的开始阶段便拖延到很长的时期。这一阶段是极地和高山地区的雪原地带所特有的。

罗伊津(М. Б. Ройзин, 1960)曾经指出，处在北极地带荒漠地区的希宾山(海拔1000米)顶峰的一些岩崖上，具有各种各样的微生物(主要是无芽胞细菌、绿藻纲，真菌和放线菌极少)。平均起来，它们的数量是：在每一克无植物覆盖的表面的干物质上为一万个，而在原始土壤和植物根际中竟增长到十万个之多。细土内真菌的数目更多。和天山雪原地带比较起来，可以看出，微生物的总量要低得多，但是罗伊津指出，它们有活跃的酸化作用，并且强烈地破坏着钠闪异性正长岩(хибинит)的矿物。

地衣对岩石的作用

当块状结晶岩上栖生着积垢状的、然后为片状的和丛生状的岩生地衣的时候，这种岩石就会受到较大的破坏[波雷诺夫，1956；亚里洛娃，1947；阿斯辛格(Ассинг)，1949；帕尔费诺娃(Е. И. Парфенова)，1950；鲍勃里茨卡娅(Бобрицкая)，1950；列文(Ф. И. Левин)，1949等等]。地衣在生命活动过程中与微生物一样继续对矿物进行机械的和化学的改造。费赖(Fry, 1924)根据机械风化研究的试验曾指出：地衣在湿润的状态下膨胀，在干燥的情况下能够蹇缩，并能从岩石上掘起细小的岩块，卷入自己的躯体内。在长有地衣的岩石薄片内可以清楚的观察到这样的被缠

上许多菌丝的岩石碎屑。

有些特殊的地衣酸——多羟基-多羧基酸 (полигидрокси-поликарбоновые кислоты) 对岩石的矿物起着化学作用。它们与矿物中的金属元素有极其活跃的反应, 结果形成水溶性的综合体——螯形化合物 (хелат), 因而破坏着矿物 [斯哈特兹 (Schatz), 1955]。同时已经被卷入到地衣体内的岩石碎屑 (可根据变成褐色的磁铁矿、普通角闪石、变模糊的白云母来判断), 以及与地衣菌丝接触处的岩石表面的矿物也在起变化 (图 2)。新鲜的矿物在这一阶段受到不同强度的破坏。

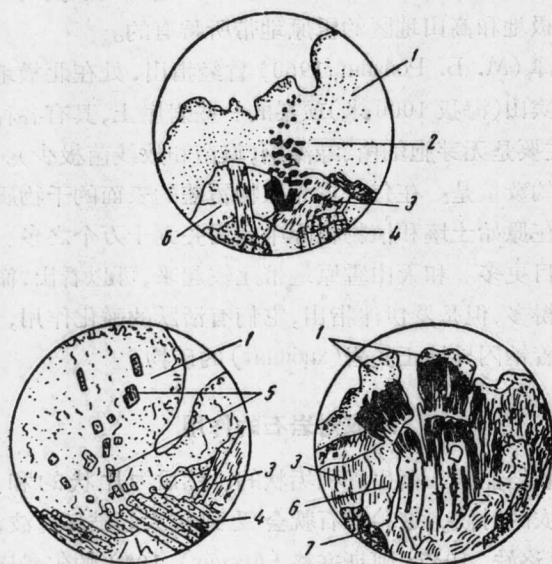


图 2 地衣破坏岩石矿物

- 1——地衣体, 2——磁铁矿, 3——绢云母化的斜长石,
4——普通角闪石, 5——普通角闪石(碎屑), 6——石英,
7——绿泥石。

橄榄石被列为很不稳定的矿物, 因为它的颗粒强烈地、有时几乎整个地被溶蚀掉。除了受到机械的破坏和彻底的化学破坏以

外,直到形成氢氧化铁和磁铁矿,它们不断地改变为绿泥石(叶绿泥石)或伊丁石(иддингсит)。

云母受到地衣很强烈的影响,因为它是钾素营养的主要来源:云母被菌丝沿着解理面分裂,后来变成粉碎,并且失去自己的透明度。黑云母局部或全部褪色,这与它首先失去铁,然后失去其他的元素有关。

最终残留下的是 $N = 1.458$ 的蛋白石薄片,其中保存着网金红石的格网(сагенитовая сетка)(多针形金红石的包裹体,图3)。

绿泥石的变化可以从图2上明显的看出。在地衣与绿泥石毗连的地方,后者逐渐变松散并变成褐色,因为铁的一氧化物形式变成了氧化物的形式。绿泥石在受到破坏时铁可以从其中脱离出来,在某些情况下甚至可以全部脱离出来。绿泥石几乎完全褪色;它的比重和折射率都降低,在个别小块颗粒内有蛋白石所特有的数值(N 达 1.460)。

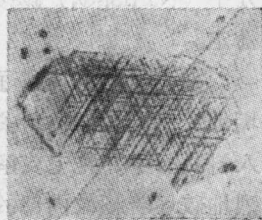


图3 变为蛋白石的黑云母。
 $\times 100$

沿着闪石的解理裂缝往里渗入菌丝,最容易使闪石碎裂,细小的碎屑因而落入地衣体内。在地衣的影响下,也可使闪石产生种种化学变化,这些变化首先是与铁的丧失或铁的氧化有关系。在铁和其它元素失去的情况下,闪石也几乎可以达到 $N = 1.470 - 1.460$ 的纯蛋白石的阶段(图4)。



图4 普通角闪石变为蛋白石。
 $\times 360$

在铁没有带出的情况下,闪石转变为近似于绿高岭石的粘土矿物。常常可以观察到普通角闪石转变为绿泥石;这是与风化作用有关,还是由于变质作用的结果,确实的情况还没有弄清楚,只