

# 青藏高原土壤多元发生的微形态研究\*

曹升 贍 高以信

(中国科学院南京土壤研究所)

自上新世末以来,随着西藏高原的隆起和多次冰川作用,作为成土因素的气候、植被、地形、水文等条件发生了剧烈的演变,从而对青藏高原土壤的发生、演化产生重要的影响。土壤大形态研究表明,青藏高原土壤广泛地显示有明显的组合剖面,突出表现在这些土壤剖面中存在有黄棕或棕带红色的、与其上下土层无发生上联系的、在暖湿气候条件下形成的土层;或者在某些现代陆成土壤剖面中存在有水成土的残遗特征等,这些形态特征在很大程度上说明了青藏高原土壤多元发生的客观存在。为了进一步证实这种见解,我们选择了相当数量的组合土壤剖面中各层(特别是特征性土层)的原状土样,用不饱和聚酯树脂浸渍固化,制成土壤薄片,在偏光显微镜下研究其多元发生的微形态特征。

薄片观察结果不但有力地证实了土壤多元发生特征是青藏高原土壤普遍存在的历史自然现象,而且为研究第四纪气候变迁及高原隆起对成土环境的影响和土壤的历史发生演化提供了科学依据。

## 一、青藏高原土壤剖面中残遗古土壤特征的微形态证据

土壤形成物(Pedological features)是土壤物质内可识别的单位,易与其周围的物质相区别,反映特定的土壤形成过程的结果(Brewer, 1964)<sup>[3]</sup>。其中继承性土壤形成物,即“前身”土壤中的土壤形成物或称土壤残遗体是土壤剖面中残遗古土壤特征的重要微形态证据和记录,有助于我们研究和推断青藏高原土壤多元发生的过程和规律。现分别阐述如下。

### (一) 氧化铁浸染基质(铁染基质)

铁染基质是湿润温带、亚热带、热带气候条件下发育的土壤和某些水成土所特有的。基质为铁的氧化物或氢氧化物所浸染,在透射光下呈棕、红棕或棕红色,在斜反射光下颜色发红。由表1可见,青藏高原某些组合土壤剖面中特定土层(古土壤层)的基质颜色除36号薄片属青藏高原边缘的古红色风化壳,颜色较红(无论是在透射光下还是在斜反射光下),具有红壤的特征,以及46、61、62号薄片属水化氧化铁浸染基质外,所列土层不仅在大形态上均显示较为“鲜艳”的带棕色,而且其薄片在透射光下均呈黄棕—棕色,色调(hue)多落在7.5YR—10YR的范围,彩度(chroma)一般可达6,亮度(value)中等,多在5左右;在斜反射光下基质呈橙—淡红棕色,色调为5YR—2.5YR(即偏红)。因此,从这些基质的

\* 部分土壤薄片由费振文同志制备,土壤粘粒部分的化学性质和矿物组成由本所物化研究室和电镜实验室有关同志协助分析,特此致谢。

颜色特征可知其属于氧化铁浸染基质，而且近似于现代棕壤的特征。结合对这些土层的粘粒性质的研究(表 2)，可以认为它们可能相当于古黄棕壤—棕壤类型的土壤。

## (二) 水化氧化铁浸染基质

在微形态上，水化氧化铁浸染基质是黄壤的一个重要特征。但令人注意的是在西藏高原的一些组合土壤剖面中可见某些土层的土壤基质在透射光下带黄色，色调为 3.75Y—2.5Y，亮度可达 6，彩度为 4—6；在斜反射光下颜色更黄，色调为 2.5Y，亮度可达 7—8，彩度变异于 4—8 (见表 1 中 46、61、62 号薄片的颜色特征)。显然与现代黄壤相似。由此可以判断这些土层相当于古黄壤类型的土壤。以往关于西藏高原古地理、古土壤的研究资料，只涉及到在中更新世大间冰期的最温暖湿润气候时期曾发育有红壤型土壤<sup>[4]</sup>。我们的研究资料可能补充了这方面的不足。推测这种黄壤型土壤可能是该时期分布于高处的一种土壤。

## (三) 铁质化矿物颗粒碎屑

在温和或温暖湿润气候条件下，含铁矿物的早期风化阶段常伴随有游离氧化铁的生成和析出。在西藏高原的许多土壤剖面中均可见到黑云母、角闪石以及长石等矿物颗粒有不同程度的铁质化。完全铁质化的矿物颗粒，特别是进一步崩解成粉砂大小的稜角形碎屑(图版 I 照片 1)，已不能在镜下鉴定其原来的矿物种类；但从其外形以及在透射光下呈棕—黑棕色，在斜反射光下呈红棕色等特征可以确认是一些铁质化矿物颗粒碎屑。它们常见于现代红、黄壤、棕壤等温暖、温和和湿润类型土壤的剖面各层薄片。因此对于西藏高原土壤来说，这也是一种可用来判断古土壤成土条件和成土特点的残遗土壤形成物。残遗于高原现代土壤表层的铁质化矿物颗粒碎屑，可因冻融交替作用而聚集成环状体(图版 I 照片 2)。

## (四) 铁质凝团和凝粒

我们在微形态分析中把 0.05—1 毫米的浑圆形铁质浓聚物称为铁质凝团，0.02—0.05 毫米者为铁质凝粒。它们在透射光下呈暗棕色，在正交偏光镜下全黑，在斜反射光下呈棕红或红棕色，结构致密，常包裹有矿物颗粒。铁质凝团和凝粒是在湿润条件下铁质活动性增强，然后就地沉淀浓聚的产物，因此也可视为西藏高原土壤剖面中的一种残遗土壤形成物。有时，在一定土层(一般是土壤剖面上部)中可见有受搬运影响而残缺的铁质凝团(图版 I 照片 3)。

## (五) 根际铁质环状物

在西藏高原的有些土壤剖面中有时可见有一些残留根孔，根孔周围有水成土所特有的根际铁质环状物(图版 I 照片 4)或同心圆环状物。有的根际铁质环状物由于后来成土作用的影响而老化——碎裂、移位(图版 II 照片 5)。这些均有助于判断土壤自第四纪以来水文条件的变化。例如位于吉隆大曲河下游右岸二级湖成阶地，现高出河床 15 米的巴嘎土(海拔 4680 米)，其 300 厘米以下的土层，呈致密微结构，颗粒大小及其排列具有静水沉

表 1 古土壤层基质颜色特征\*

Table 1 Coloration of soil matrix of some paleosol layers

土壤薄片号 Thin section No	土壤 Soil	深度 (cm) Depth	在透射光下的颜色 Color under transmit- tent light	在斜反射光下的颜色 Color under reflected light	基质类型 Matrix type
0036	残余硅铁质红黄壤(T <sub>1</sub> -041, 黎阴县宗古村西南, 洪积台地后缘, 海拔 1710 m) Relict Si-ferric red yellow earth	15—47	亮棕—红棕 (5YR 4.5/8) Bright reddish brown to reddish brown	红橙 (10R 6/8) Reddish orange	氧化铁浸染基质 Ferric oxide and/or hydroxide impregnation matrix
0040	棕褐土 (T <sub>1</sub> -091, 八宿县麻萨乡东南, 冰碛砾, 海拔 3870 m) Brown cinnamon soil	25—35	棕 (7.5YR 4/4, 4/6) Brown	亮红棕 (2.5YR 5/6) Bright reddish brown	同上
0041	同上	35—50	棕 (10YR 4/6) Brown	亮红棕 (2.5YR 5/8) Bright reddish brown	同上
0045	阿嘎土 (山地灌丛草原土) (T <sub>1</sub> -002, 泽当城边山前丘陵近顶, 海拔 3750 m) Mountain shrubby steppe soil	77—92	亮黄棕 (2.5Y 6/6) Bright yellowish brown	淡红橙—橙 (2.5YR 7/5) Pale reddish orange to orange	同上
0060	巴嘎土 (亚高山草原土) X 壤 (T <sub>1</sub> -006, 措美县卡里拉山部, 海拔 4610 m) Subalpine steppe soil	0—5 (在古土壤物质上发育的现代土壤表层)	黄棕 (10YR 5/6) Yellowish brown	橙 (5YR 6/6) Orange	同上
0054	原始草毡土 (原始高山草甸土) (T <sub>1</sub> -006, 措美县卡里拉山口, 分水岭中部, 海拔 5050 m) Proto alpine meadow soil	27—56	油棕—亮棕 (7.5YR 5/5.5) Dull brown to bright brown	橙 (7.5YR 7/6) Orange	同上

0425	灰冷漠土 (草原化亚高山荒漠漠土) (T <sub>A<sub>6</sub></sub> -045, 噶尔县城北, 噶尔河岸阿依拉山麓冰碛丘陵上, 海拔 4420 m) Subalpine steppe desert soil	45—65	亮黄棕 (10YR 6/6) Bright yellowish brown	油橙—橙 (5YR 7/5) Dull orange to orange	同上
0467	灰冷漠土 (T <sub>A<sub>6</sub></sub> -043, 同上地点, 冰碛顶部, 海拔 4720 m) Subalpine steppe desert soil	13—26	黄棕 (10YR 5/6) Yellowish brown	油橙—橙 (5YR 7/5) Dull orange to orange	同上
0301	巴嘎土 (T <sub>1</sub> -056, 吉隆县宗嘎区, 三级阶地中部, 海拔 4800 m) Subalpine steppe soil	80—90	棕 (10YR 4/4) Brown	橙 (2.5YR 6/8) Orange	同上
0403	碳酸盐褐土 (T <sub>C<sub>6</sub></sub> -82, 江达县冈嘎区北侧支沟口高阶地, 海拔 3060 m) Carbonated cinnamon soil	33—80	灰黄棕 (10YR 5/2) Grayish yellow brown	油橙—橙 (5YR 7/5) Dull orange to orange	同上
0477	同上	112—140	棕 (7.5YR 4.5/6) Brown	橙 (2.5YR 7/6) Orange	同上
0476	阿嘎土 (T <sub>1</sub> -001, 江牧, 山麓洪积物, 海拔 4100 m) Mountain shrubby steppe soil	590—670	橙—亮棕 (7.5YR 5.5/6) Orange to bright brown	橙 (5YR 6/8) Orange	同上
0046	阿嘎土 (T <sub>1</sub> -002) Mountain shrubby steppe soil	below 105	油黄 (2.5Y 6/4) Dull yellow	油黄 (2.5Y 7/4) Light yellow	水化氧化铁浸染基质 Hydrous ferric oxide and/or hydroxide impregnation matrix
0061	巴嘎土 (T <sub>1</sub> -023) Subalpine steppe soil	5—16 (在古土壤物质上发育的现代土壤表层)	亮黄棕 (2.5Y 6/6) Bright yellowish brown	黄 (2.5Y 8/8) Yellow	同上
0062	同上	16—27	油黄 (3.75Y 6.5/4) Dull yellow	黄 (2.5Y 8/6) Yellow	同上

\* 用日本《新版标准土色帖》进行比色。

表 2 一些古土壤层的粘粒性质

Table 2 Properties of clays of some paleosol layers

古土壤层的 相应薄片号 Thin section No.	深度 (cm) Depth	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	粘粒矿物* Clay minerals
0040	25—35	2.32	3.03	水云母为主, 伴有绿泥石、少量蛭石 和结晶较差的高岭 Dominant: hydrous mica Accompanying: chlorite, vermicu- lite (few), and kaolin (less crys- tallized)
0041	35—50	2.22	2.95	水云母为主, 伴有绿泥石、蒙脱和少 量结晶较差的高岭 Dominant: hydrous mica Accompanying: chlorite, montmori- llonite and kaolin (few and less crystallized)
0045	77—92	2.47	2.94	
0425	45—65	2.44	3.00	水云母为主, 伴有结晶差的绿泥石 和少量高岭 Dominant: hydrous mica Accompanying: chlorite (less crys- tallized) and kaolin (few)
0467	13—26	2.50	3.21	结晶差的水云母和夹层水云母为主, 伴有结晶稍差的绿泥石和少量高岭 Dominant: hydrous mica (less crys- tallized) and intercalated hydrous mica Accompanying: (less crystallized) chlorite and kaolin (few)
0403	33—80	2.44	3.19	水云母为主, 伴有一定量的绿泥石 和少量高岭 Dominant: hydrous mica Accompanying: chlorite and kaolin (few)
0477	112—140	2.44	3.19	同上 id.

\* 根据 X-射线分析和电镜观察。

积物的特征;有根际铁质环状物和根际同心圆锈斑以及较多锈点。而在 63—80 厘米的土层中不但可见有残遗的根际铁质环状物, 而且还较集中地分布着一些根际铁质环状物的碎段。

(六) 粘粒淀积胶膜

薄片中心一定面积百分率粘粒淀积胶膜的存在是土壤剖面中发生粘粒移动淀积的微形态标志。而在西藏高原的某些组合土壤剖面中,不但可见有粘粒淀积胶膜,而且还可观察到伴随有胶膜的老化现象。费奥法罗娃(Феофарова, 1960)报道过粘粒胶膜可发生向失水变暗、碎裂,最后与基质相混合等老化阶段<sup>[6]</sup>。弗莱契(Flach, 1960)也报道过光性定向粘粒胶膜会随土壤发育年龄的增长而老化,即由完整→裂开→碎裂→碎屑<sup>[1][4]</sup>。而西藏高原某些组合土壤剖面的古土壤层中粘粒淀积胶膜的老化现象则更为复杂,除了可见有上述的几种老化阶段外,还有由于进一步受到后来的成土作用的影响,在原来的粘粒淀积胶膜表面淀积覆盖了一层碳酸盐膜(方解石膜或针状碳酸盐晶霜),而形成碳酸盐-粘粒复合胶膜(图版 II 照片 6);有的粘粒胶膜因与邻近基质中的碳酸盐成份长期接触而发生粘粒的部分置换,形成了碳酸盐-粘粒混合胶膜,表面较糙,颜色发暗,呈橙至棕色(7.5YR 5.5/6)(图版 II 照片 7)。甚至还有更为复杂的胶膜,即在这种碳酸盐-粘粒混合胶膜之上沉积了

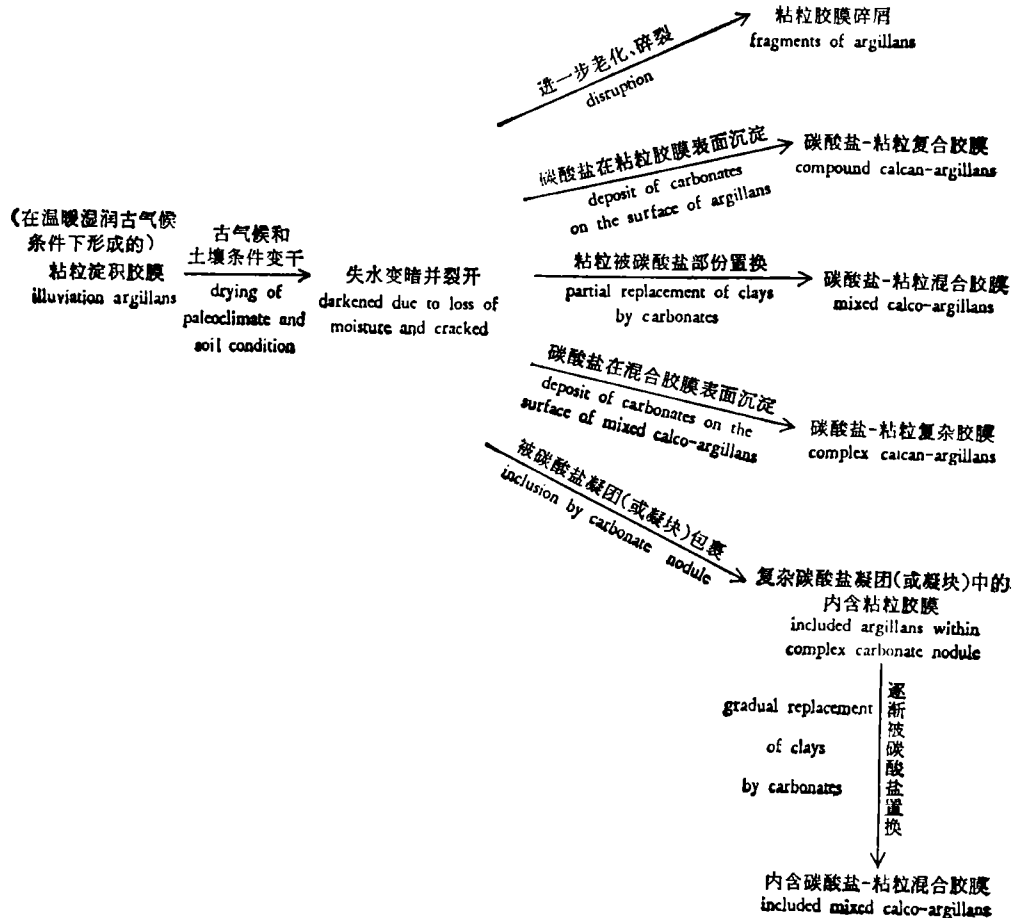


图 1 西藏高原古土壤层中粘粒淀积胶膜的老化阶段

Scheme 1 Ageing stages of illuviation argillans in the paleosol layers within soil profiles on Xizang Plateau

一层针状碳酸盐膜(图版 II 照片 8)。另一种情况是,由于后来的土壤碳酸盐化作用所形成的碳酸盐凝团(或凝块)把粘粒胶膜包裹在内,形成了“新中有老”的复杂土壤形成物;作为“内含土壤形成物”的粘粒胶膜与“主体土壤形成物”的碳酸盐物质的接触面逐渐被碳酸盐置换,故粘粒胶膜的边界常模糊不明显(图版 III 照片 9)。综上所述,青藏高原某些组合土壤剖面古土壤层中残遗的粘粒淀积胶膜的老化阶段可以上页图表示(图 1):

### (七) 碳酸盐浓聚物(碳酸盐基质、碳酸盐膜、碳酸盐凝团等)

这些碳酸盐浓聚物一般在干旱区土壤中均可见到。但是在青藏高原一些土壤中大量存在的事实,从现今成土条件特点来看显然不可能有如此强烈的碳酸盐化作用。根据这些土壤的分布情况来看,有可能在第四纪的某一干旱间冰期,由于含有大量重碳酸盐的地下水进入河流中下游地区的土壤剖面中,并在这些非碳酸盐母质的土壤中淀积出大量碳酸盐,从而形成碳酸盐基质(图版 III 照片 10,左、上、下)、灰泥(隐晶质碳酸盐)膜(图版 III 照片 10,右),方解石膜(图版 III 照片 11),灰泥质凝团(或凝块)(图版 III 照片 10,中)等各种形态的碳酸盐浓聚物。因此我们认为在青藏高原某些土壤剖面中存在的这种碳酸盐浓聚物,主要是属于残遗土壤形成物。当然并不排斥其中有一部分可能是现代成土作用的结果,特别是针状碳酸盐晶霜的存在(图版 II 照片 8,图版 III 照片 12),可以认为是现代成土作用的产物。

## 二、青藏高原土壤多元发生的微形态特征

在对青藏高原土壤剖面中各种残遗土壤形成物研究的基础上,我们认为有可能选择两个代表性组合土壤剖面(一系同源母质,一系异源母质)进行微形态分析来说明青藏高原土壤的多元发生过程,从而为推断、复原这些土壤的历史发生、演化阶段提供依据。

### (一) 同源母质土壤的多元发生过程片断

土壤剖面(T<sub>4</sub>-002)位于泽当城边山前丘陵近顶,海拔 3750 米,母质为中基性火成岩坡积-残积物,矿物种类主要是角闪石和长石,植被以狼牙刺、三刺草为主。土壤为阿嘎土(山地灌丛草原土)。在镜下可见土壤剖面中碳酸盐富集作用极为发育。如果以具有 K-微结构的土层作为碳酸盐聚集层——K 层的标志<sup>[5]</sup>,则由薄片观察可将该剖面的“K 层”细分为“K1、K2 和 K3 层”。作为最大碳酸盐聚集层的“K2 层”出现在 41—51 厘米(K21 层)和 51—66 厘米(K22 层)。“K21 层”的基质成份几乎全为灰泥(隐晶质碳酸盐颗粒)。基质中还有较多微晶质方解石凝团和灰泥质凝团(图版 III 照片 10、中)。在有些游离骨骼颗粒表面还淀积有碳酸盐膜。个别孔隙壁有微晶质方解石膜。另外,大部分孔隙中还聚集有可能是现代成土作用形成的针状碳酸盐类矿物。在“K22 层”中,基质成份也主要为灰泥,在裂隙、孔隙壁明显淀积有微晶质方解石膜(图版 III 照片 11)(颗粒粒径一般为 0.01—0.03 毫米,少数为 0.04—0.05 毫米),膜的厚度不一,为 0.01—0.05 毫米。有的孔隙则全为或基本上为方解石晶体所填集,形成所谓“晶页”(crystal sheets)和“晶囊”(crystal chambers)。如前所述,这些均可视作为第四纪某一干旱气候间冰期的成土作用产物,其相

应的古土壤类型为古阿嘎土(或称古碳酸盐化干旱土)。

尽管如此,在“K2层”中仍可见到更早时期的古土壤残遗特征——铁质化矿物颗粒碎屑,甚至在目前的表层中也可见有碳酸盐凝团包裹着铁质化矿物颗粒(图版 IV 照片 13)。这种“新<sup>1)</sup>中有老”或“新”老共存”的微形态特征,在 77—92 厘米的“K3 层”中表现尤为突出,其基质颜色比上面各层“鲜艳”,带淡黄棕(2.5Y 6/6),在斜反射光下有铁染基质的特征,呈淡红橙—橙(2.5YR 7/5),铁质化矿物颗粒碎屑更多。纵观该剖面自表层至 92 厘米各层均存在有铁质化角闪石和铁质化矿物颗粒碎屑,可以推想这些土层可能曾经是相当于黄棕壤—棕壤类型的古土壤。后来由于受到碳酸盐化作用的影响,77—92 厘米的土层发育为古阿嘎土的“K3 层”,但其碳酸盐聚集程度不如“K2 层”,表现在基质中含碳酸盐成份极不均一,有的微地域中只有少量甚至没有(图版 IV 照片 14),有的微地域中却占优势(图版 III 照片 10);但也有较多碳酸盐凝团,在有的裂隙、孔隙壁有碳酸盐膜,不少较大孔隙内并聚集有微晶质方解石。

令人注意的是在 105 厘米以下的土层中,土壤基质颜色就整体来看呈浊黄色(2.5Y 6/4),但仔细观察则可区分出系由黄灰色(2.5Y 6/1)和亮黄棕(2.5Y 7/6)两种土壤物质不均匀地混合而成。前者在正交偏光镜下可辨认出是隐晶质碳酸盐,而后者在斜反射光下呈淡黄色(2.5Y 7/4),与黄壤的水氧化铁浸染基质相似,故可推测此层曾是相当于黄壤类型的古土壤层。特别是在该层中一些角闪石质或长石质岩屑的裂隙中可见有明显的粘粒淀积胶膜;胶膜的颜色也偏黄,为黄橙色(10YR 7/8),在斜反射光下为亮黄棕色(2.5Y 6/6),显然是黄壤类型古土壤的成土过程产物。后来由于气候和土壤条件变干,有的粘粒胶膜发生干裂,甚至变成粘粒胶膜碎屑进入基质;有的粘粒胶膜则由于碳酸盐的沉积覆盖而形成碳酸盐—粘粒复合胶膜(图版 II 照片 6)。土壤基质也因含碳酸盐溶液的渗入而含有多量灰泥质晶霜。

由上可见,该组合剖面的微形态特征深刻地揭示了由于第四纪气候摆动和高原隆升而造成的土壤多元发生过程。

## (二) 异源母质土壤的多元发生过程片断

现以聂拉木县古错山地顶部,海拔 4610 米的发育于异源母质的巴嘎土(亚高山草原土)(聂 023 号)进一步说明青藏高原土壤错综复杂的多元发生过程。该土壤剖面 16 厘米以上的土层中,一部分骨骼颗粒呈长卵形,说明其母质来源曾受冰碛物的影响。薄片观察表明这种冰碛物质可能发生过后两次堆积。因为,在 0—5 厘米的土层中,基质呈黄棕色(10YR 5/6),在斜反射光下颜色带红,为橙色(5YR 6/6),属铁染基质。此外尚有一定数量 0.05 毫米左右的铁质化矿物颗粒碎屑和少量铁质凝团(图版 IV 照片 15)。这些都可能是黄棕壤—棕壤类型的残遗特征,换言之,此层土壤母质的物质来源中有古黄棕壤—棕壤的土壤物质。而在 5—16 厘米的土层中,基质却带黄色,呈亮黄棕色(2.5Y 6/6),在斜反射光下具有明显的黄色(2.5Y 8/8),属水氧化铁浸染基质;此外尚有少量残缺的铁质凝团(图版 I 照片 3),说明此层物质来源中有黄壤类型古土壤的土壤物质。紧接冰碛物

1) 相对的新。



(或冰缘坡积物)土层之下,即在 16—27 厘米中,骨骼颗粒呈棱角形和半棱角形,显示残积母质的特征;基质带灰黄色(3.75Y 6.5/4),在正交偏光镜下可见其成份主要为碳酸盐,但在斜反射光下则呈黄色(2.5Y 8/6),说明是一种水化氧化铁浸染但含有碳酸盐成份的基质。

由微形态观察可以推测,该组合剖面由于在高原隆升过程中曾多次受到侵蚀和堆积,目前所保存的仅是一个断缺的组合土壤剖面,可以设想,在相当于古黄壤类型土层的上面原来并非像现今所见那种由后来堆积的冰碛物或冰缘坡积物所发育的土层,而可能在冰碛物质覆盖之前曾被剥蚀掉具有一定厚度的土层。首先,在该古黄壤类型的土层中见有较多老化的粘粒淀积胶膜,表明该土层原系古黄壤的粘粒淀积层,其上部应存在有一定厚度的古黄壤剖面的上层土壤,其次,根据前述同源母质土壤多元发生过程推断,在黄壤型土壤之后应发育有相当于古黄棕壤—棕壤和古阿嘎土的土层。再由薄片观察发现在古黄壤土层内个别根孔中植物残根的表皮组织下聚集有一些藻类(图版 IV 照片 16),可知该古黄壤类型土层在其上伏土层被剥蚀后和冰期冰碛物覆盖之前曾有一个阶段出露地表成为表土层。

如果说该剖面中古黄棕壤—棕壤阶段的发育仅仅是一种猜测,则古阿嘎土的复原是有一定的土壤微形态证据的。因为正如上述,在 16—27 厘米的古黄壤类型土层中,除基质成份主要是碳酸盐外,还有较多隐晶质碳酸盐凝团和微晶质方解石凝团,以及一些孔隙壁碳酸盐膜,如果没有后来的很干旱的气候条件,就不可能发生如此强烈的碳酸盐化作用,以致能一直影响到古黄壤的粘粒淀积层,并使该层原来的粘粒淀积胶膜发生了复杂的变化:或为碳酸盐所部分置换,形成碳酸盐-粘粒混合胶膜(图版 II 照片 7);或为碳酸盐凝团(或凝块)所包裹,成为复杂碳酸盐凝团(或凝块)中的内含粘粒胶膜,并进一步老化成为内含碳酸盐-粘粒混合胶膜(图版 III 照片 9);也有一部分碳酸盐-粘粒混合胶膜受现代成土作用的影响,有针状碳酸盐晶霜淀积于表面,形成了碳酸盐-粘粒复杂胶膜(图版 II 照片 8)。

### 三、结 语

综上所述,可见 T<sub>4</sub>-002 号剖面的 105 厘米以下土层和聂 023 号剖面的 16—27 厘米土层的残遗微形态特征反映了在温暖湿润气候条件下形成的黄壤类型的古土壤,对照有关研究资料<sup>[2]</sup>,这种古土壤可能是在中更新世(Q<sub>2</sub>)大间冰期中最温暖湿润时期的古亚热带常绿阔叶林下发育的,与古红壤成垂直分布的土壤。随着高原的继续隆起和气候变为温和湿润,开始向针阔叶混交林下黄棕壤—棕壤类型的古土壤发育演化,这反映在 T<sub>4</sub>-002 号剖面 90 厘米以上土层中保留有带红色的铁染基质、铁质化矿物颗粒碎屑和铁质凝团等温和湿润气候条件下形成的土壤形成物。接着,进入中更新世末期(或晚更新世初期),气候变干旱,土壤受富含重碳酸盐地下水渗入的影响,发生了强烈的碳酸盐化作用;此二剖面中的各种碳酸盐浓聚物的存在就是最好的证据。进入晚更新世后,青藏高原强烈隆起,河流下切,土壤遂脱离了强烈的碳酸盐化过程。至于晚更新世(Q<sub>3</sub>)珠穆朗玛冰期寒冷湿润气候时期对成土作用的影响,除了上述的“岩石残遗体”——聂 023 号剖面上

表 3 西藏高原土壤的历史发生演化阶段

Table 3 Historical stages of genetic evolution of soils on Xizang Plateau

阶段 Stage	古土壤类型 Paleosol type	时代 Period	古气候 Paleoclimate	古植被 Paleovegetation	组合土壤剖面中 的代表性土层
I	黄壤(高处) Yellow earths (higher position) 红壤(低处) Red earths (lower position)	中更新世 (Q <sub>2</sub> ) 大间冰期 Middle Pleistocene (Q <sub>2</sub> ), Big interglacial	温暖湿润气候 Warm and humid	亚热带常绿阔叶林 Subtropical broadleaved evergreen forest	T <sub>1</sub> -002号, 92厘米以下 景 023号, 16—27厘米
II	黄棕壤—棕壤 Yellow brown earths and Brown earths	中更新世 (Q <sub>2</sub> ) 大间冰间(?) Middle Pleistocene (Q <sub>2</sub> ), Big interglacial(?)	温和湿润气候 Mild and humid	针阔叶混交林 Coniferous-broadleaved mixed forest	T <sub>1</sub> -002号, 92厘米以上 景 023号, 断缺
III	阿嘎土(碳酸盐化干 旱土) Arga soils (Carbo- nized arid soils)	中更新世(Q <sub>2</sub> )末期或 晚更新世(Q <sub>3</sub> )初期(?) End of middle Ple- istocene (Q <sub>2</sub> ) or beginning of late Pleistocene(Q <sub>3</sub> )(?)	凉而干旱气候 Cool and arid	草原 Steppe	T <sub>1</sub> -002号, 41—66厘米 景 023号, 断缺
IV	(可能是一种寒冷湿 润型土壤) (may be a type of soils under cold and humid climatic condition)	晚更新世 (Q <sub>3</sub> ) 珠穆朗玛冰期 Late Pleistocene (Q <sub>3</sub> ), Qomolangma	寒冷湿润气候 Cold and humid	针叶林, 高山草甸 Coniferous forest, alpine meadow	T <sub>1</sub> -002号, 不明显 景 023号, 0—16厘米
V	棕毡型土 Brown felt-like soils	全新世 (Q <sub>4</sub> ) Holocene (Q <sub>4</sub> )	凉而干燥气候 Cool and dry	高山灌丛草甸 Alpine shrubby meadow	土壤剖面上部

层中存在的一部分磨圆形骨骼颗粒外,鉴于土壤微形态研究手段的限制,暂时未能从薄片  
中予以识别。进入全新世(Q<sub>1</sub>)后,现代凉而干燥气候对土壤形成作用的影响,表现在冻融  
交替作用引起土壤微形态特征的一些变化<sup>[2]</sup>,以及剖面中针状碳酸盐的聚集等。

这样,根据上述二个代表性组合土壤剖面的多元发生特征可以把青藏高原土壤不同  
历史发生演化阶段的古土壤类型和相应的古气候条件复原如表 3:

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 李吉均等, 1979: 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨。中国科学, 第 6 期, 608—616 页。
- [ 2 ] 张荣祖, 1975: 珠穆朗玛峰地区土壤微形态与自然地理条件。珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968), 自然地理, 科学出版社, 83—101 页。
- [ 3 ] Brewer, R., 1964: *Fabric and Mineral Analysis of Soils*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [ 4 ] Brewer, R., 1972: *The basis of interpretation of soil micromorphological data*, *Geoderma*, vol. 8, 81—94.
- [ 5 ] Gile, L. H. et al., 1965: *The K horizon: A master soil horizon of carbonate accumulation*. *Soil Sci.*, vol. 99, 74—82.
- [ 6 ] Феофарова, И. И., 1960: *Оптически ориентированные глины в почвах*, Докл. сов. почвоведов к VII междунар. конгр. почвоведов, М., Изд-во АН СССР, 461—464.

## MICROMORPHOLOGICAL STUDY WITH SPECIAL REFERENCE TO SOIL POLYGENESIS OF XIZANG (TIBET) PLATEAU

Cao Sheng-geng and Gao Yi-xin

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

The soil-forming factors on Xizang Plateau, such as climate, vegetation, topography and hydrographical conditions have changed greatly since the end of Pliocene as the result of uplifting of the Plateau. It exerted deep influence on soil genesis and evolution in this region. The field investigation showed that soils bearing composite profile with paleosol layer are widely spreaded. The morphological characteristics of these composite soil profiles may indicate, to a great extent, the polygenetic processes of soils on the Plateau.

To give evidence, micromorphological study of soils bearing paleosol layers has been carried out. Thin section observation indicates that the polygenetic characteristics of soils are closely related to the historical natural evolution of Xizang Plateau.

Seven inherited pedological features such as ferric oxide and/or hydroxide impregnation matrix, hydrous ferric oxide and/or hydroxide impregnation matrix, fragments of ferruginated mineral grains, ferric nodules and nodules, ferric rings around plant roots, illuviation argillans and most of the carbonate concentrations are considered as the micromorphological evidences of pedorelicts reflecting the specific paleoclimatic and paleogeographic conditions of Xizang Plateau.

Ferric oxide and/or hydroxide impregnation matrix is the characteristic micromorphological feature of soils developed under humid temperate, subtropical and tropical

climatic conditions or of some hydromorphic soils. As shown in table 1, it has been identified in certain paleosol layers. Being further compared with the chemical and mineral properties of clays (table 2), these paleosols may be considered as corresponding to the type of yellow brown and/or brown earths.

Micromorphologically, the hydrous ferric oxide and/or hydroxide impregnation matrix is one of the important features of yellow earths. It is interesting that the coloration of soil matrix of some paleosol layers is as yellow as recent yellow earths. As mentioned above, the paleosols belong to the type of yellow earths.

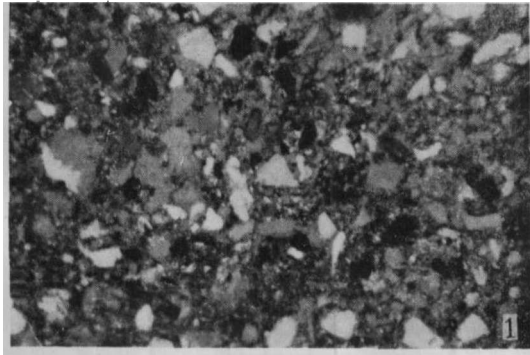
Fragments of ferruginated mineral grains are usually found in the thin sections of red earths, yellow earths, and brown earths; thus their presence in soils of Xizang Plateau may be regarded as a kind of pedorelicts.

Not only the illuviation argillans were occurred under the warm and humid paleoclimatic conditions, but also their ageing of various stages can be recognized in some composite soil profiles (scheme 1).

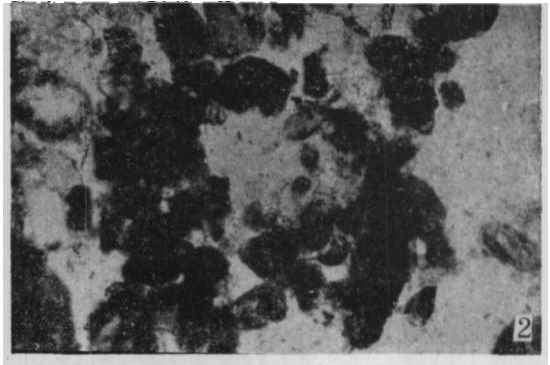
The presence of large amount of carbonate concentrations in the soils of Xizang might not be the result of recent soil-forming processes, and may be regarded as pedorelicts formed under comparatively arid interglacial period in Quaternary.

Then, two composite soil profiles (one derived from homogeneous parent material and another derived from heterogeneous parent material) have been analysed to trace the soil polygenetic processes.

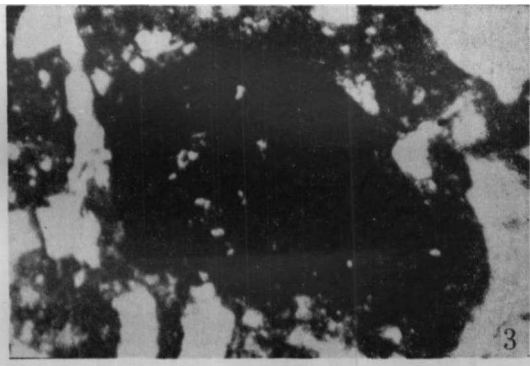
Finally, an attempt is made to reconstruct the stages of soil genetic evolution historically. Five stages have been inferred, they are red and yellow earths, yellow brown earths and brown earths, Arga soils, cold-humid type of soils and brown felt-like soils (table 3).



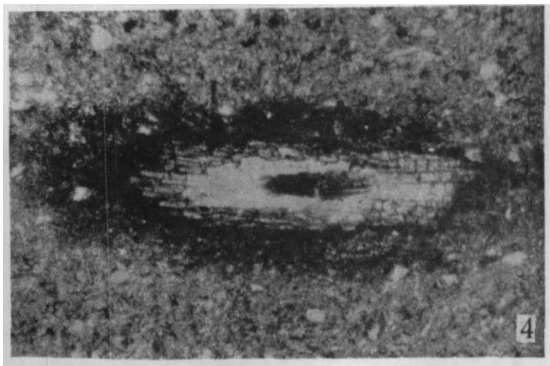
照片 1 铁质化矿物颗粒碎屑(照片中黑色颗粒) (T<sub>4</sub>-002, 山地灌丛草原土, 77—92 厘米)。部分正交偏光, ×64。  
Fig. 1 Thin section of mountain shrubby steppe soil in depth of 77—92 cm (profile No. T<sub>4</sub>-002) showing the fragments of ferruginated mineral grains (black grains). Partially crossed nicols, ×64.



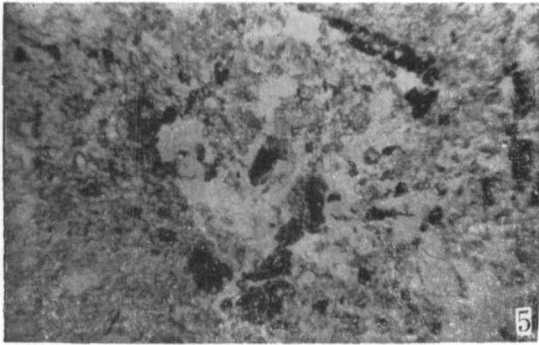
照片 2 铁质化矿物颗粒碎屑聚集成环状体 (T<sub>3</sub>-091, 棕褐土, 0—5 厘米)。单偏光, ×126。  
Fig. 2 Thin section of brown cinnamon soil in depth of 0—5 cm (profile No. T<sub>3</sub>-091) showing accumulation of the fragments of ferruginated mineral grains to a ring. Plain light, ×126.



照片 3 残缺的铁质凝团(聂 023, 亚高山草原土, 5—16 厘米)。单偏光, ×100。  
Fig. 3 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 5—16 cm (profile No. N-023) showing the abraded ferric nodule. Plain light, ×100.

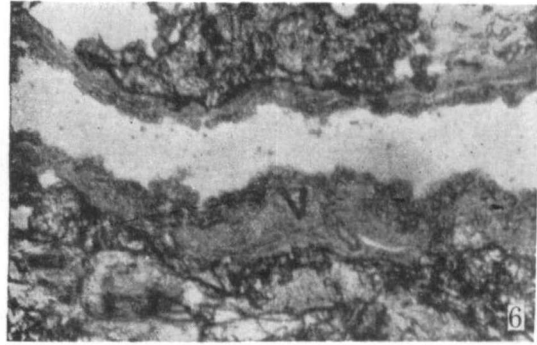


照片 4 根际铁质环状物(T<sub>2</sub>-050, 亚高山草原土, 300 厘米以下)。单偏光, ×80。  
Fig. 4 Thin section of subalpine steppe soil in depth below 300cm (profile No. T<sub>2</sub>-050) showing ferric ring around plant root. Plain light, ×80.



照片 5 根际铁质环状物的挠动, 碎裂状况 (T<sub>1</sub>-050, 亚高山草原土, 63—80 厘米)。单偏光, ×32。

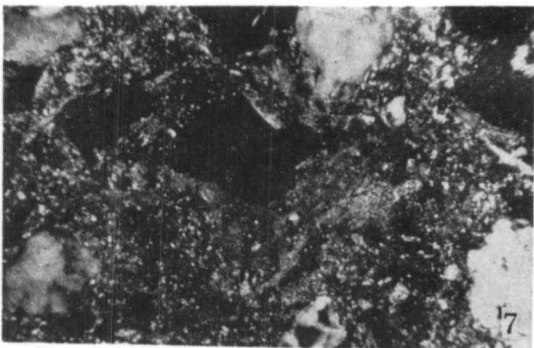
Fig. 5 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 63—80 cm (profile No. T<sub>1</sub>-050) showing the disrupted ferric ring. Plain light, ×32



照片 6 方解石-粘粒复合胶膜 (中间白色部分为裂隙, 紧挨裂隙壁的灰色部分为粘粒淀积胶膜, 粘粒胶膜表面的细小颗粒为微晶质方解石胶膜), (T<sub>4</sub>-002, 山地灌丛草原土, 105 厘米以下)。

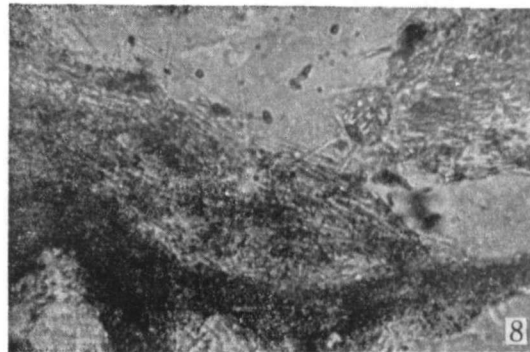
单偏光, ×320

Fig. 6 Thin section of mountain shrubby steppe soil in depth below 105 cm (profile No. T<sub>4</sub>-002) showing the compound calcitan-argillan. Plain light, ×320.



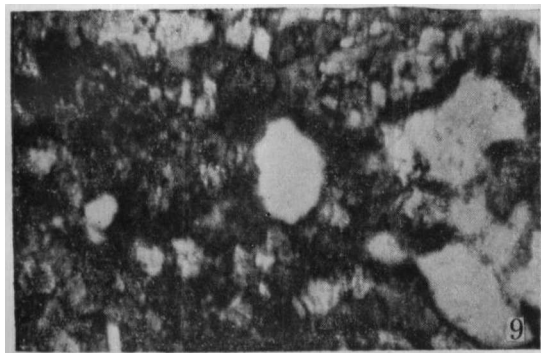
照片 7 碳酸盐-粘粒混合胶膜 (黑色部分为孔隙, 孔隙周围为碳酸盐-粘粒混合胶膜, 白色骨骼颗粒为石英), (聂 023, 亚高山草原土, 16—27 厘米)。正交偏光, ×100。

Fig. 7 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 16—27cm (profile No. N-023) showing the mixed calco-argillans. Crossed nicols, ×100.



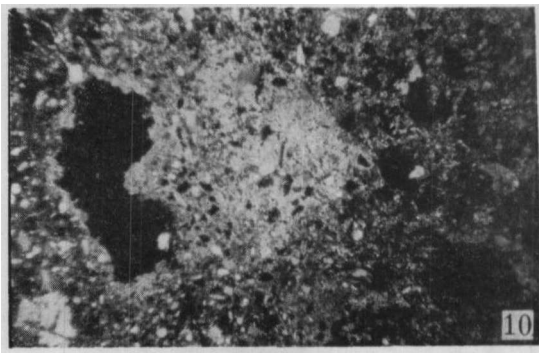
照片 8 碳酸盐-粘粒复杂胶膜, 注意针状碳酸盐晶霜沉淀于碳酸盐-粘粒混合胶膜 (照片下方暗色部分) 的表面 (聂 023, 亚高山草原土, 16—27 厘米)。单偏光, ×400。

Fig. 8 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 16—27cm showing the complex calcan-argillans. Note the deposit of needle shape carbonates on the surface of mixed calco-argillans. Plain light, ×400.



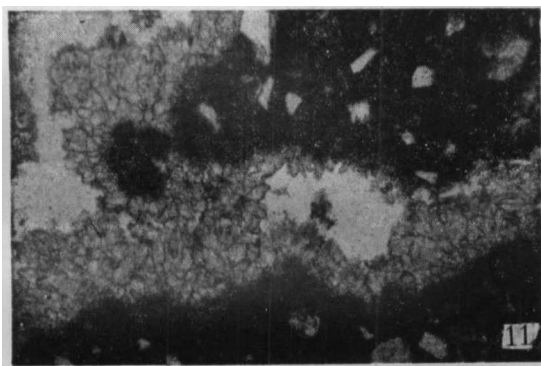
照片9 方解石凝块中包裹的内含碳酸盐-粘粒混合胶膜(聂023,亚高山草原土,16—27厘米)。  
单偏光,×160。

Fig. 9 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 16—27cm showing the included mixed calco argillans in a calcite nodule.  
Plain light, ×160.



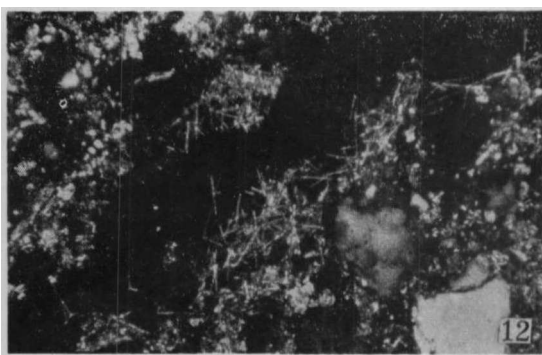
照片10 灰泥(隐晶质碳酸盐)凝团(照片中部)和孔隙壁灰泥胶膜(照片左方),(T<sub>4</sub>-002, 77—92厘米)。  
正交偏光,×20。

Fig.10 Thin section of mountain shrubby steppe soil in depth of 77—92 cm (profile No. T<sub>4</sub>-002) showing cryptocrystalline carbonate nodule (centre) and void cryptocrystalline calcans (left).  
Crossed nicols, ×20.



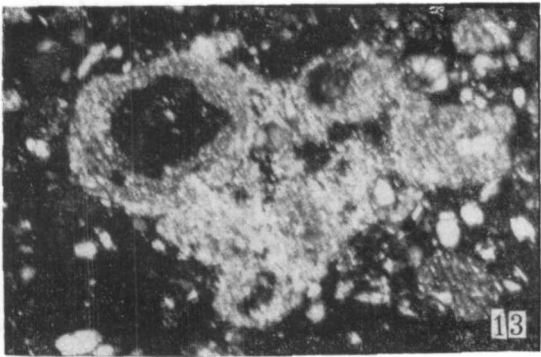
照片11 孔隙壁方解石膜(T<sub>4</sub>-002,山地灌丛草原土,51—66厘米)。  
单偏光,×64。

Fig.11 Thin section of mountain shrubby steppe soil in depth of 51—66 cm showing void calcitans.  
Plain light, ×64.



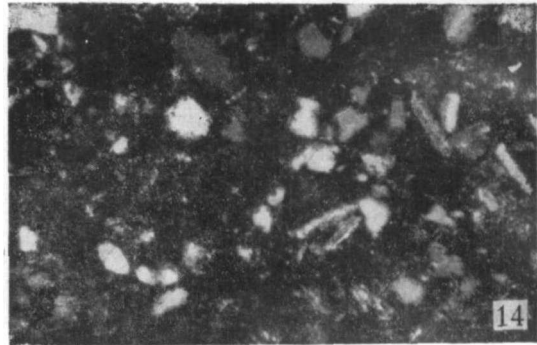
照片12 孔隙壁针状碳酸盐晶霜(聂023,亚高山草原土,16—27厘米)。  
正交偏光,×160。

Fig.12 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 16—27cm (profile No. N-023) showing void needle shape carbonate efflorescences.  
Crossed nicols, ×160.



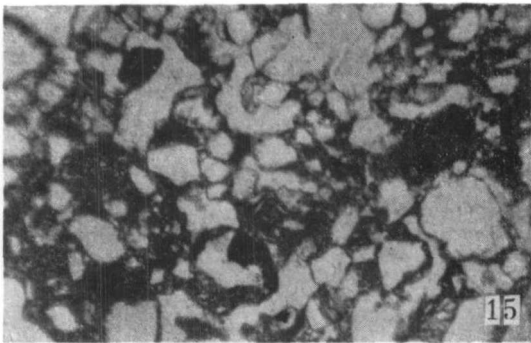
照片13 包裹有铁质化矿物颗粒（左上）的碳酸盐凝团(T<sub>4</sub>-002,山地灌丛草原土,0—20厘米)。正交偏光,×80。

Fig.13 Thin section of mountain shrubby steppe soil in depth of 0—20cm (profile No.T<sub>4</sub>-002)showing carbonate nodule including ferruginated mineral grain. Crossed nicols,×80.



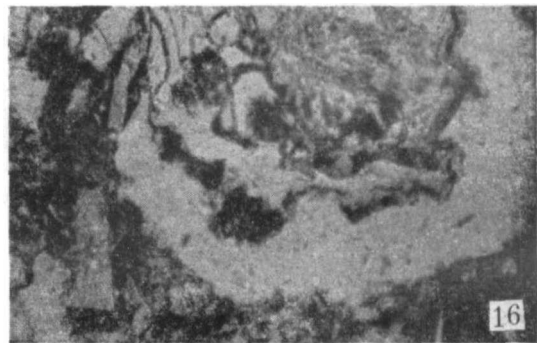
照片14 含有少量碳酸盐基质的微地域（左上黑色圆形部分为孔隙,周围白色镶边是碳酸盐薄膜,土体中白色微粒是隐晶质碳酸盐晶屑）,(T<sub>4</sub>-002,山地灌丛草原土,77—92厘米)。正交偏光,×70。

Fig.14 Thin section of mountain shrubby soil in depth of 77—92 cm showing the microarea which contains a few of carbonate matrix. Crossed nicols,×70.



照片15 铁质化矿物颗粒碎屑（左方三个黑色颗粒）和铁质凝团（右）,(聂 023,亚高山草原土,5—16厘米)。单偏光,×64。

Fig.15 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 5—16 cm (profile No.N-023) showing fragments of ferruginated mineral grains (left) and ferric nodule (right). Plain light,×64.



照片16 残根中的藻类（左中和左中偏下,中部白色部分为根孔,中上为残根）,(聂 023,亚高山草原土,16—27厘米)。单偏光,×160。

Fig.16 Thin section of subalpine steppe soil in depth of 16—27 cm showing the algae in plant root. Plain light,×160.