

# 青藏高原的隆起对高山土壤形成的影响\*

陈鸿昭 高以信 吴志东

(中国科学院南京土壤研究所)

素有“世界屋脊”之称的青藏高原是地球上最年青的大高原，也是一个独特的土壤区域。本文主要论述青藏高原的隆起对高山土壤形成的影响，对本区主要土壤类型和区域特征也有所讨论，意欲对高山土壤的发生、分类和土壤区划提供一些资料。

## 一、青藏高原自第三纪末期以来成土环境演变的概况

青藏高原是上新世末，特别是第四纪以来地壳强烈隆起的产物。第四纪期间，青藏高原的隆起有三个显著的阶段，其中以中更新世大间冰期后发生的抬升最为强烈，决定性地改变青藏高原的自然环境<sup>[1]</sup>。但是从对高山土壤形成、发育的影响来看，具有特殊意义的是地形、气候、植被和成土风化壳的变化。本区自第三纪末期迄今主要成土条件的演变，综合有关资料<sup>[2]</sup>大致如下(表1)。

就地形讲，青藏地区在白垩纪(北部)—三迭纪末(南部)结束海浸成陆以后，经过长时间的夷平和剥蚀作用，到上新世末，除少数形态和缓的山地外，大部分地面平均高度为海拔1,000米左右，而现在高原面已达4,300—4,700米。按此计算，从上新世末迄今累计已上升3,000余米。由于受新构造运动性质的制约，在整体隆起中伴随有差异性运动，使高原的地势呈南高北低、西高东低及东南最低，整个地形比上新世时要复杂得多。

再就气候讲，在第三纪末期青藏地区未强烈隆起以前，主要受拉萨弱高压控制，此时印度洋暖湿气流影响较大，气候非常温暖湿润。进入第四纪后，随着高原隆起，海拔高度上升，气温降低和高大的地形，迫使拉萨弱高压北移，并逐渐增强。到中更新世以后，因低纬度的高压中心在向北推进中变得更加强盛，诱发了西南季风，同时山脉屏障作用加强，高原内部气候变冷变干，形成高原气候特征。

第三，就植被类型讲，上新世时，青藏地区森林的分布很广泛，在昆仑山区尚有亚热带针叶阔叶混交林分布，植被垂直分带不明显。到中更新世，森林仍很繁茂，但因受高原隆起及冰期与间冰期气候波动的影响，常绿阔叶和落叶阔叶树成分不断减少，而针叶树成分

\* 本文根据中国科学院青藏高原综合科学考察队土壤组集体调查研究的资料整理。文内理化分析、微形态和电镜鉴定，由本所地理分析室及曹升康、顾新运等同志完成，在此谨表谢意。

1) 参考青藏队如下资料：青藏高原隆起的过程；青藏高原隆起前后的环流状况；从昆仑山—唐古拉山新第三纪、第四纪的孢粉组合讨论青藏高原的隆起；试论青藏高原隆起的时代与幅度——青藏高原的隆起及其对自然环境的影响；西藏聂拉堆拉达涕古湖盆湖相沉积的孢粉分析和地层时代；西藏高原“三趾马动物群”的首次发现及地层古生物学意义(摘要)；西藏高原古土壤与高原隆起的关系。

表 1 青藏高原自第三纪末期以来成土环境的演变<sup>1)</sup>

Table 1 Evolution of soil condition in Qinghai-Xizang plateau since the end of Tertiary

时 代 Period	构造与地形 Structure and landform	气 候 Climate	植 被 Vegetation	成土风化壳 Soil forming weathering crust
全 新 世 Holocene	加速上升, 冰川萎缩, 湖盆缩小, 风沙地形较发育。高原面平均高度海拔 4,300—4,700 米	高原隆起加剧, 进一步迫使若羌高压向北推进, 诱发西南季风。高原内部气候干冷程度增强, 出现明显的高原气候特征	昆仑山为高山草原, 藏南亚里为高山灌丛草甸, 藏东以云杉林为主	除喜马拉雅山南翼山地带外, 广泛发育硅铝型、碳酸盐型、盐渍型和碎屑型风化壳
晚更新世 Late pleistocene	整体性隆起, 高原内部夷平面变型, 湖泊由外流变内流, 高原边缘峡谷下切。高原面平均高度海拔 4000 米	在若羌高压控制下, 气候比较寒冷、干旱	藏北班戈错附近以松、云杉为主的针叶林, 藏南江孜为松林	怒江流域为碳酸盐型风化壳, 藏东南为铁铝型、硅铝型风化壳
中更新世 Middle pleistocene	~ 断裂、水热活动 ~ 地形大切割, 下切深度达 200—1000 米。高原面平均高度海拔 3000 米左右	由于高原隆起, 海拔高度上升, 气温降低, 迫使拉萨弱高压北移, 形成若羌高压。气候比较凉冷而偏干	藏北班戈错为含阔叶树的云杉林, 藏南佩枯错、加布拉、江孜为含柃木、栎的针阔叶混交林和含铁杉、落叶松的云杉林	雅鲁藏布江中游为碳酸盐型风化壳, 聂聂雄拉为硅铝型风化壳, 聂拉不为铁铝型风化壳
早更新世 Early pleistocene	~ 断裂、上升、火山活动 ~ 地盘较稳定, 形成壮年河谷, 下切深度在 500 米以内, 高原面平均高度海拔 2,000 米	在拉萨弱高压控制下, 气候温和湿润	昆仑山为云杉林, 长江河源及阿里札达以云杉、栎为主的针阔叶混交林	在海拔 4,500—5,000 米的夷平面上, 不少地方在薄层后期沉积物之下有这个时期的红色风化壳存在
上新世 Pliocene	~ 断裂、强烈上升 ~ 构造活动微弱, 夷平面发育时期。高原面平均高度 1,000 米左右	主要受拉萨弱高压控制, 季风现象不明显, 具有温暖湿润的热带、亚热带气候特点	昆仑山以铁杉、冬青、栎为主的针阔叶混交林, 伦坡拉为栎林, 聂聂雄拉和野博康加勒为栎林和雪松林	

明显增加, 植被水平的和垂直的分布较明显。至晚更新世, 曾经广泛分布的针叶阔叶混交林和针叶林逐渐缩小分布区, 在阿里、藏北和青海已保存甚少。进入全新世后, 在藏北已成为高山草原景观, 藏南则为高山灌丛草甸所代替, 晚更新世昌盛一时的针叶林已退缩到局部山地和峡谷。现今除藏东南和喜马拉雅山南侧山地仍保存有森林外, 广大高原面已成为无林的高山草甸、草原和荒漠植被区。

第四, 就成土风化壳类型讲, 有关中更新世以前风化壳的资料不多, 但就现今海拔 4,500—5,000 米夷平面上发现有残存的红色风化壳, 以及布龙盆地和吉隆盆地上新世三趾马动物群化石的发现看来, 可以说明上新世时大部分地面为铁铝型风化壳所占据。到中更新世, 随着新构造运动和气候的变化, 铁铝型风化壳逐渐为硅铝型和部分碳酸盐型风化壳所代替, 而铁铝型风化壳仅分布在高原东南部。在经历晚更新世强烈的整体上升之后, 青藏高原的风化壳类型已基本形成。进入全新世以后, 碳酸盐型风化壳、盐渍型风化壳和碎屑型风化壳进一步扩展, 而硅铝型和铁铝型风化壳只保留在喜马拉雅山南翼山地。

## 二、青藏高原的隆起对高山土壤形成过程的影响

土壤与地理环境是统一的整体。青藏高原的隆起不仅决定高山成土环境和历史条件的复杂性,而且强烈地影响土壤形成过程。考察区内各种土壤的性状,纵观其发展趋势,可以把高原隆起对高山土壤形成的影响归纳为如下四个特点。

### (一) 土壤寒冻过程的加强

青藏高原的强烈隆起,引起海拔高度上升、气温下降和对水分分配的制约作用。以珠穆朗玛峰地区为例,在上新世时,年平均气温约 10℃,年降水量为 2,000—2,500 毫米,以后由于山体大幅度抬升,使该地区现今年平均气温比当时下降 20℃ 左右,年降水量减少 7—8 倍<sup>[5]</sup>。因此,高寒生态条件不断增强,导致土壤发育停滞或中断,并具有成土作用微弱和融冻作用显著的特点。

本区土壤的厚度不大,一般在 50—90 厘米之间。土壤质地较轻(图版 I 照片 1)。据对 34 个剖面 132 个发生土层的统计,按含砾量分类,多砾质土(砾石含量超过 30%)占 70%,基本无砾者(砾石含量低于 5%)仅占 11%。若以粘粒含量分类,有半数土壤的粘粒含量小于 5%,粘粒含量在 15—30% 之间的土壤不够 10%(表 2)。土壤中矿物分解程

表 2 青藏高原土壤不同机械组成土层所占的百分数

Table 2 Percentage of soil mechanical compositions in different soil horizons of Qinghai-Xizang plateau

土壤类型 Soil type	标本数(层) Sample number (layer)	石砾(>3mm) Gravel				物理性粘粒 (<0.01mm) Physical clay							粘粒 (<0.001mm) Clay			
		>30	15—30	5—15	<5	0—5	5—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—70	<5	5—10	10—15	15—30
寒冻土 Alpine frozen soil	16	81.3	—	—	18.7	—	43.8	37.5	18.7	—	—	—	81.2	63.0	12.5	—
高山草甸土(草毡土) Alpine meadow soil	36	52.8	13.9	8.3	25.0	—	8.3	30.6	25.0	33.3	2.8	—	30.6	30.5	30.5	8.4
亚高山草甸土(黑毡土) Subalpine meadow soil	46	76.2	8.7	13.0	2.1	4.3	32.6	28.2	19.6	10.9	2.2	2.2	67.4	19.6	6.5	6.5
高山草原土(沙嘎土) Alpine steppe soil	18	66.8	22.2	—	11.0	5.6	5.6	61.1	16.7	11.0	—	—	50.0	27.8	11.1	11.1
亚高山草原土(巴嘎土) Subalpine steppe soil	16	81.2	12.5	6.3	—	—	—	62.5	18.8	18.7	—	—	6.3	37.5	37.5	18.7
合计 Total	132	69.7	11.4	7.6	11.3	2.3	19.7	38.6	20.5	16.7	1.5	0.7	49.2	24.3	18.2	8.3

度低。原生矿物以风化较易的黑云母占优势,角闪石、绿帘石含量也较高<sup>[3]</sup>。粘土矿物以水云母和绿泥石为主,稍有蛭石、蒙脱、高岭石伴存。一般粘粒含  $K_2O$  4.5% 以上,在剖面中的变化小<sup>[1,6]</sup>。据土壤薄片观察,作为土壤成熟性标志的土壤形成物<sup>1)</sup>,多半为比较原始的类型,如腐殖质胶膜(图版 I 照片 3)、碳酸盐膜、碳酸盐凝团(图版 I 照片 4)等(表 3)。

1) 土壤形成物系指特定的土壤形成过程中产生的各种土壤微形态的形貌。

表 3 青藏高原土壤形成物的发育状况

Table 3 Development regime of soil forming matter in Qinghai-Xizang plateau

土 壤 类 型 Soil type	土 壤 形 成 物 Soil forming matter
高山草甸土 Alpine meadow soil	A层矿物颗粒周围,一般均有腐殖质胶膜
亚高山草甸土 Subalpine meadow soil	结构面上有灰色具光泽的腐殖质胶膜
亚高山草原土 Subalpine steppe soil	B层基质成分主要是碳酸盐,并有较多隐晶质碳酸盐凝团和微晶质方解石凝团。少数孔隙壁上有碳酸盐膜
亚高山荒漠土 Subalpine desert soil	B层基质中有一定的碳酸盐成分,并有一些碳酸盐凝团、凝块。有的岩屑表面包被有碳酸盐膜
山地灌丛草原土 Mountain shrubby steppe soil	AB层基质为隐晶质碳酸盐。有较多碳酸盐凝团,其中很多是微晶质方解石凝团。在一些游离骨骼颗粒表面有碳酸盐膜。在个别孔隙边缘有微晶方解石膜。大部分孔隙中有针状碳酸盐聚集

本区每年土壤温度一般有3—5个月处于0℃以下,形成季节性冻层。部分地方也有永冻层存在。这两个类型的融冻过程虽不尽相同,但都有明显的融冻形态特征。土壤冻结时,由于气态水向冻结层面迁移和聚冰,于是形成整体状、粒状和层状等结构。有时因冻胀力作用,还产生草皮层冻裂(图版I照片2)、多边形土(石环)和石棚等表层形态特征。在土壤融化(化冻)时,则产生泥流、滑坡、塌陷和草皮斑状滑脱等现象。土壤微形态研究表明,各类土壤中往往有冻融作用形成的融冻剥裂(图版II照片5)、微卷结构(图版II照片6)出现。

## (二) 土壤脱沼泽过程的发展

青藏高原在上新世晚期和早更新世时断陷盆地发育<sup>[7,9]</sup>,沼泽土分布相当广泛。此后由于高原隆起引起水文网加深,地区自然排水增强及水源补给的变化,使散布于湖滨、河畔、洪积扇缘和山间沟谷等负地形部位的沼泽土面积逐渐缩小。这个演变过程可分为两种发展形式:(1)在半湿润地区沼泽土脱沼泽时,逐渐向半水成土方向发展。开始时泥炭土大而扁平的草墩变干,开裂;接着草墩解体,逐渐稀疏,呈残丘状;最后草丘被夷平,为地面平伏的草甸土所代替,形成泥炭土—腐殖质沼泽土—草甸土系列,如莽错、布托错青和布托错穹湖滨的沼泽土就属于这种情况。(2)在半干旱地区沼泽土脱沼泽时,急剧地向更完善的地带性土壤发展,形成盐化泥炭土—盐化草甸土—高山草原土系列(在湖退相对缓慢时),或盐化草甸土、盐化沼泽土—亚高山草原土系列(在湖退急剧时)。前者可以平错、公珠错为代表,后者可见于昂仁错、佩枯错、戮错龙、多庆错、嘎拉错等地。

土壤脱沼泽过程的发展,除引起成土方向急剧变化,土壤类型发生更迭,以及作为良好放牧场和割草地的面积大为缩小外,还反映在土壤形态上具有相互迭置的二元结构剖面,残存的泥炭层及沼泽相的发生特征。例如佩枯错三级湖成阶地的亚高山草原土剖面下部,发现有沼泽土的假致密结构,一些根孔周围有铁质环状物(图版II照片7),同心圆

状的锈条(图版 II 照片 8) 和较多的锈点。

### (三) 土壤盐渍化的出现

自全新世以来,除高原边缘一些外流湖和少数由冰雪融水大量补给的内陆湖泊外,大部分湖泊在湖盆收缩的同时,湖水逐渐浓缩变质盐化(表 4)。一般由南向北有微咸水—咸水—盐湖与干盐湖的分布趋势。因而在湖泊周围的湖滩地上进行着强烈的积盐过程,形成盐淤泥、盐化草甸土、盐化沼泽土、普通盐土、草甸沼泽盐土和苏打盐土(表 5)。但不同地区在积盐特征上存在一定的差异。在阿里和羌塘高原,盐土分布较广,水成土壤多半盐渍化。在确且错湖滨甚至有纯粹化学沉积的盐晶出现。而在藏南的水成土和马泉河流域的高山草原土虽也有盐渍化特征,但程度较轻,盐土的面积很小。青藏高原东南部气候较为湿润,又缺乏闭流条件,一般土壤均不发生盐渍化;阿里、羌塘高原积盐的速度和强度都较高,盐渍土表层盐分含量达 5% 左右,盐分的表聚性强,有明显的盐结壳,但没有硬盐盘存在,而藏南的积盐速度较慢,表层盐分含量为 1.5% 左右,且盐结皮很薄或不发育;阿里和藏北的盐分组成以硫酸盐-氯化物为主,并有部分苏打-碳酸镁盐土,而藏南则以氯化物-硫酸盐为主。

表 4 青藏高原湖水的化学组成<sup>1)</sup>

Table 4 Chemical composition of lake water in Qinghai-Xizang plateau

地点 Locality	海拔 (m) Altitude	pH	矿化度(g/l) Mineraliza- tion degree	阴阳离子含量(毫克当量/升) Anion and cation content (m.e./l.)							水化学类型 Type of chem- ical composi- tion of water
				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	
多庆错	4471	7.80	1.341	1.64	—	17.76	1.62	6.67	7.39	6.69	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -(Mg <sup>++</sup> , Na <sup>+</sup> )
佩枯错	4594	9.45	1.669	7.76	7.36	14.37	0.73	0.16	18.10	11.96	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )- (Mg <sup>++</sup> , Na <sup>+</sup> )
昂仁错	4330	9.74	4.365	28.92	26.48	15.86	5.17	1.05	0.73	74.65	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>
班公错	4235	9.18	2.155	8.33	5.22	7.80	18.62	—	15.60	24.37	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>
扎日南木错	4613	9.30	14.867	36.66	19.91	131.86	44.24	21.31	2.90	208.46	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -Na <sup>+</sup>
麻米错	4440	8.14	158.856	10.22	29.33	88.36	2668.80	22.11	469.86	2304.74	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>
冈塘错	4866	9.34	210.428	29.00	153.26	115.78	3297.60	1.21	18.89	3575.54	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>
玛尔果茶卡	4830	7.70	310.866	12.28	—	109.74	5295.41	18.71	686.34	4717.83	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>
马尔盖茶卡	4785	8.64	314.005	8.65	34.61	84.34	5280.00	2.65	266.69	5138.26	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>
昂达尔错	4900	9.24	342.665	58.50	336.19	302.30	5137.92	0.40	5.23	5829.28	Cl <sup>-</sup> -Na <sup>+</sup>

1) 样品为 1975、1976 年考察期间所采,水质分析由本所盐渍地球化学室俞仁培、孟繁华、陈章英同志完成。

### (四) 土壤多元发生特征的残存

青藏高原从第三纪末期以来,经历过三个冰期,两个间冰期和若干次小变化<sup>[8]</sup>,并出现过一些在间冰期湿热条件下形成的古土壤类型。随着地面的上升,原来分布在低海拔

表5 青藏高原主要盐渍土类型的盐分状况<sup>1)</sup>

Table 5 Salt regime of predominantly salt-affected soils in Qinghai-Xizang plateau

土壤类型 Soil type	地点 Locality	深度(cm) Depth	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	CaSO <sub>4</sub> (%)	全盐量 (%) Total salt	总碱度 <sup>2)</sup> (毫克当量/100克土) Total alkalinity (m.e./100g soil)	Cl <sup>-</sup> / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
盐化草甸土 Salinized meadow soil	佩枯错 南岸	盐结皮	9.50	3.7	—	7.935	3.14	0.01
		1—6	8.91	3.9	—	0.072	0.16	0.02
		6—24	8.61	5.1	—	0.049	0.19	—
		24—30	8.62	5.7	—	0.040	0.24	—
		50—60	8.87	2.7	—	0.018	0.18	—
盐化沼泽土 Salinized bog soil	浪卡子	盐结皮	8.72	—	—	0.708	1.34	—
		1—7	8.56	28.7	—	0.150	0.92	0.01
		7—35	8.52	41.2	—	0.099	0.59	0.02
		35—45	8.25	10.8	—	0.046	0.54	0.26
普通盐土 Saline soil	龙木错 东岸	0—1	7.60	28.29	20.35	8.100	1.06	2.10
		5—10	7.24	41.49	2.89	6.081	0.51	2.88
		15—25	7.86	46.17	2.98	3.591	0.38	1.70
		35—45	7.71	51.27	3.13	2.462	2.03	1.18
		60—70	7.70	40.69	12.45	2.293	0.20	0.54
		90—100	7.73	45.10	17.44	2.410	0.21	0.59
草甸沼泽盐土 Meadow-boggy saline soil	定日长 纳西村	盐结皮	9.72	11.90	—	1.789	20.59	0.73
		1—9	9.86	13.50	—	1.009	11.40	1.03
		9—17	9.82	10.10	—	0.118	1.20	3.22
		17—25	9.56	15.30	—	0.088	0.64	2.50
		25—41	9.14	11.50	—	0.042	—	0.43
		41—55	8.64	14.30	—	0.092	—	0.04
苏打盐土 Soda-saline soil	盐湖区	0—2	9.28	41.69	0.60	3.039	3.63	4.01
		2—8	9.26	31.28	0.37	0.225	2.04	4.36
		8—17	9.03	35.53	0.02	0.112	1.46	1.35
		17—32	8.67	49.06	0.35	0.165	1.50	0.10
		32—57	9.26	35.53	0.34	0.178	1.96	0.09
		57—87	9.03	45.95	0.45	0.235	1.80	0.11
		87—120	8.54	47.44	0.44	0.156	1.05	0.09
盐泥 Salinized slime	盐湖区	0—1	9.69	—	—	10.447	2.54	5.52
		1—13	7.72	—	—	2.888	0.97	5.51
		13—30	7.75	—	—	7.538	1.27	5.80

1) 盐分组成由俞仁培、孟繁华、陈章英同志分析；2) 总碱度包括 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>。

地方的古土壤相应地被抬升高处，但是它们的存在受到地形条件的限制。在高原内部的高山带或高原边缘的高山峡谷区，多半已被侵蚀掉。只有在古冰碛平台或谷肩台地有部分保留下来成为现代土壤的母质。它们虽然不可避免地受到新成土周期的改造，但部

分较稳定的土壤发生特征仍有残留。因此,在高山土壤发育年青性的背景上常有残留的古土壤特征出现,反映了土壤发育的多元性。高山土壤中古土壤残存的特征与现代条件下发育的土壤很不相同,其表现是:(1)作为土壤风化过程强弱指标之一的硅铝率偏低。以樟木山区为例,海拔 2,720 米的酸性棕壤硅铝率为 1.61; 3,280 米的漂灰土硅铝率为 1.42,而 2,400 米的黄棕壤硅铝率却在 2.5 左右<sup>[2]</sup>。显然,酸性棕壤和漂灰土中这样低的残存富铝化风化产物的出现,不用古地理条件加以解释是困难的。(2)土壤粘土矿物的组成出现异常现象。前已述及,区内各土类的粘土矿物都以水云母和绿泥石占优势,但在聂拉木西北海拔 4,840 米与 5,170 米的高山草甸土、4,500 米的亚高山草甸土,觉姆 4,370 米的亚高山草原土和泽当 3,750 米的山地灌丛草原土都有结晶差的高岭石(图版 III 照片 11)和三水铝矿(图版 III 照片 12)出现<sup>[3]</sup>;在折拉山口的亚高山灌丛草甸土表层含有大量蛭石,下部有大量蒙脱,并有结晶好的水云母和高岭石伴存;日土县尼亚格的亚高山荒漠

表 6 青藏高原残存的古土壤微形态特征

Table 6 Micromorphological of paleosol remained in Qinghai-Xizang plateau

现代土壤类型 Soil type	地点 Locality	海拔(m) Altitude	出现于现代土壤的发生层位 Horizon	古土壤微形态特征 Micromorphological
寒冻土 Alpine frozen soil	德母拉北坡	4,940	AC	铁质化矿物碎屑
高山草甸土 Alpine meadow soil	德母拉西北坡	4,760	As, AB	岩屑中长石铁质化明显
高山草原土 Alpine steppe soil	冈仁布齐峰山前洪积平原	4,630	A	铁质化变质岩碎屑
亚高山草甸土 Subalpine meadow soil	德母拉北坡	4,520	As, A, AB	铁质化矿物颗粒
亚高山草原土 Subalpine steppe soil	古错山顶	4,610	A, AB, B	基质在斜反射光下呈橙色或黄色,为铁染基质;铁质化矿物碎屑;少量铁质凝团(有的已残缺);有 0.8×1.2 毫米铁质结核碎块;有个别 0.7×1.0 毫米铁质凝块;淀积粘粒胶膜;残根局部表皮下聚集藻类。
亚高山荒漠土 Subalpine desert soil	鲁玛桥南冰碛台地	4,240	A	铁染基质;铁质化矿物颗粒碎屑。
山地灌丛草原土 Mountain shrubby steppe soil	泽当丘陵近顶	3,750	A	岩屑中角闪石铁质化明显;个别碳酸盐凝团包有铁质化矿物颗粒。
棕褐土 Brown cinnamon soil	八宿康沙冰碛	3,870	A	铁质化长石颗粒
棕壤 Burozem	波密东山地中上部	2,930	A	铁质化矿物颗粒碎屑
黄壤 Yellow earth	松古洪积台地	1,710	B	基质中嵌埋几个泉华状光性定向粘粒集合体,并有一粘粒淀积胶膜碎片;有个别复合胶膜,内侧是粘粒胶膜,外侧是铁质胶膜。

土底层有水云母、蛭石-黑云母夹层矿物和高岭石,结晶都很好,与上部各层截然不同<sup>1)</sup>。上述现象从母岩成分和目前所处的生物气候条件看,很难理解,因而可看作是高原隆起所造成的土壤残余特征;(3)古土壤薄片有特有的微形态特征。一般以橙色或黄色为基础色调,结持紧密,风化较深,与周围土体在发生上无密切联系,并保存有铁质化矿物颗粒(图版 III 照片 9)、铁质凝团、淀积粘粒胶膜(图版 III 照片 10)等(表 6),这与本区的古地理情况是符合的。

### 三、青藏高原主要的土壤类型和区域特征

土壤的生成常因地区和时间不同,而发育成不同的土壤类型。在本区土壤形成过程的现阶段,大致可分为下列土壤类型系列:属于高原寒带条件下的寒冻土(曾称寒漠土);属于高原温带、亚寒带条件下的高山和亚高山草甸土、草原土和荒漠土;属于受地下水(或部分地表水)浸润的水成土,属于与盐渍化和脱盐作用相联系的盐化和碱化土壤;属于高原边缘山地森林或旱生灌丛覆盖下的土壤。

**寒冻土** 处于山地垂直带最上部,是高原内部山脉和边缘山地所特有的高山寒漠景观。地表遍布石砾,土被不连续。土壤剖面分化弱,呈微碱性至中性反应。

**草甸土** 包括高山草甸土和亚高山草甸土。形成于森林郁闭线以上的高山带和亚高山带或无林的高原面,成土过程进行于高原亚寒带和温带半湿润(特别是具有季节性冻层)的气候,以及草丛嵩草为主的草甸植被下,土壤剖面分化清晰。上部为毡状草皮层,有机质含量高,土体呈浅棕色,碳酸钙和可溶盐已淋失,氧化铁含量稍有增加,粘粒和二氧化物移动不明显。由于从东南向西北或海拔高度的增高,寒冷和湿润程度的差异,土壤性质有明显的规律性变化。在喜马拉雅山南翼,高山带和亚高山带的草甸土都有强度淋溶的特点,盐基不饱和,呈酸性反应;在青海东南部和横断山北部高山带和亚高山带的草甸土具有本区特有的高原特点,土体已接近盐基饱和状态,呈微酸性—中性;至玉树<sup>[5]</sup>、那曲地区西部的高山草甸土,为盐基所饱和,甚至剖面下部还出现碳酸钙聚积。

**草原土** 包括高山草原土和亚高山草原土。形成于高原亚寒带、温带半干旱气候和以禾本科草本为主的草原植被下,主要特点是地表多石砾,上部的腐殖质累积过程显著削弱,土体中有不同程度碳酸钙淀积。由于冈底斯—念青唐古拉山脉南北在气候上有较大的差异,其北海拔高度大,气候更干寒,而其南海拔较低,干寒程度稍逊,以致土壤类型也不一样。在藏南的亚高山草原土,腐殖质累积作用和钙化作用均较强;在羌塘高原和青海西南部的高山草原土,剖面分异不明显,腐殖质累积作用大为减弱,钙积层的层位接近地表;而到可可稀立山和昆仑山南侧,高山草原土逐渐为荒漠化高山草原土所代替。由于寒冷低温的限制,青藏高原的草原土,无论在腐殖质累积或钙化作用上都要比其它地区同类土壤微弱。

**荒漠土** 包括高山荒漠土和亚高山荒漠土。形成于高原亚寒带、温带干旱气候和以垫状驼绒藜与阿加蒿、匙叶芥为主荒漠植被下,与草原高山、亚高山土最基本的不同是

1) 中国科学院南京土壤研究所, 1978; 土壤所年报, 17—18 页。



腐殖质累积作用更弱,并出现石膏-盐渍化作用。但不同地区有明显的差别。在阿里北部的高山荒漠土,气候极端干寒,地表 80—150 厘米以下有永冻层,土壤有机质含量  $< 1\%$ ,易溶盐和石膏在表层聚积,碳酸钙在下层聚积;而在噶尔河谷、班公错和斯潘古尔错周围的亚高山荒漠土,气候较暖和,仅有季节性冻土,土壤有机质含量达  $1—1.5\%$ ,易溶盐和石膏在剖面中下部聚积,碳酸钙则在表层或 B 层明显增高。如果把这两个土类与新疆和柴达木盆地的灰棕漠土和棕漠土相比,本区的荒漠土有机质含量稍高一些,但粘化和铁质化现象不明显或全无发育,石膏和易溶盐含量(在富集层分别为  $3—4\%$  与  $1—2\%$ )均较低。

**水成土** 包括草甸土和沼泽土。形成于河、湖和扇缘洼地,受地下水(或部分地表水)浸润和中湿生草本植物作用,共同的特点是进行着腐殖质累积和氧化-还原作用,但它们的表现程度有所不同。在青藏高原的条件下,多呈中性或碱性,并有一定程度盐渍化。

**盐化和碱化土壤** 包括草甸沼泽盐土、普通盐土、碱化盐土。形成于内陆河、湖洼地。成土过程以盐渍化作用居主导地位。在羌塘高原东南部和中西部的局部地方,由于自然排水的增强,或受岩性(富含氧化钠的花岗岩、安山玢岩、玢岩)的影响,有碱化土与盐土交错存在。

**山地森林土壤** 包括漂灰土(又称灰化土)、酸性棕壤(又称暗棕壤)、棕壤、棕褐土、褐土、山地灌丛草原土、黄棕壤、黄壤和砖红壤。这些土壤除与平原地区同类土壤有共同的基本特性外,还有山地地形和历史因素所给予土壤的某些特性(如土层浅薄、粗骨性强、有古土壤残留特征、剖面发育和保存不完整等)。由上述土壤构成的山地土壤垂直带的特征严格的服从于土壤水平地带的规律。在喜马拉雅山南翼湿润地区,主要是由砖红壤、黄壤、黄棕壤、棕壤、酸性棕壤和漂灰土构成的垂直带谱。在高原东南部半湿润地区,为褐土、棕壤和棕褐土等构成的垂直带谱。在雅鲁藏布江中游半干旱地区,只有山地灌丛草原土出现在垂直带谱的基带。

## 四、结 论

1. 青藏高原自上新世末期强烈隆起以来一直延续到现代,导致了区内地面海拔高度大,地形复杂,有独特的高原气候特征,多种多样的植被和风化壳类型,同时使整个地理环境在总的发展趋势上经历着由暖湿向干冷的变化。这样特殊的自然环境条件和历史因素,就决定本区土壤形成的多样性和复杂性。

2. 我们把青藏高原的隆起对高山土壤形成的影响归纳为四个特点:(1) 土壤寒冻过程的加强,主要表现在成土作用微弱和土壤融冻作用显著;(2) 土壤脱沼泽过程的发展,主要表现在成土方向改变,有相互迭置的二元结构剖面,残存的沼泽相发生特征;(3) 土壤盐渍化的出现,主要表现在大部分湖泊在湖盆收缩的同时,湖水逐渐浓缩变质盐化,湖滨平原的盐渍土壤也随着产生,但不同地区在积盐特征上有一定差别;(4) 土壤多元发生特征的残存,主要表现在土壤胶体硅铝率偏低,粘土矿物组成与母岩成分和目前所处的生物气候条件不吻合,存在多种古土壤微形态特征。

3. 青藏高原除有独特的寒冻土,高山带和亚高山带的草甸土、草原土和荒漠土,以及山地灌丛草原土外,还有许多与平原地区同类的水成土、盐渍土和山地森林土壤。这样丰

富多彩的土壤类型和它们有规律的立体分布型式,为世界各国所罕见。青藏高原不独以土壤类型众多而引人注目,同时以其特殊的土壤形成过程和性状对农牧业、交通等建设事业发生重大的影响。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所珠峰组, 1975: 珠穆朗玛峰地区土壤的粘土矿物。珠穆朗玛峰地区科学考察报告(自然地理)。57—70页, 科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所珠峰组, 1975: 珠穆朗玛峰地区南侧的山地森林土壤。珠穆朗玛峰地区科学考察报告(自然地理)。41—56页, 科学出版社。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。706—719页, 科学出版社。
- [4] 李吉均、文世宣, 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。
- [5] 左克成、乐炎舟, 1980: 青海高山草甸土的形成及其肥力评价。土壤学报, 第17卷, 第4期, 308—318页。
- [6] 许冀泉、杨德涌, 1964: 中国土壤胶体研究: VI. 西藏高原几种主要土壤的粘土矿物组成和演变。土壤学报, 第12卷, 第3期, 275—285页。
- [7] 施雅风、刘东生, 1964: 希夏邦马峰地区科学考察初步报告。科学通报, 10月号, 928—938页。
- [8] 郭旭东, 1976: 珠穆朗玛峰地区第四纪间冰期和古气候。珠穆朗玛峰地区科学考察报告(第四纪地质)。63—78页, 科学出版社。
- [9] 杨理华、刘东生, 1974: 珠穆朗玛峰地区新构造运动。地质科学, 第3期, 209—219页。

## THE INFLUENCE OF PLATEAU UPLIFT ON THE FORMATION OF ALPINE SOIL IN QINGHAI-XIZANG REGION

Chen Hong-zhao, Gao Yi-xin and Wu Zhi-dong

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

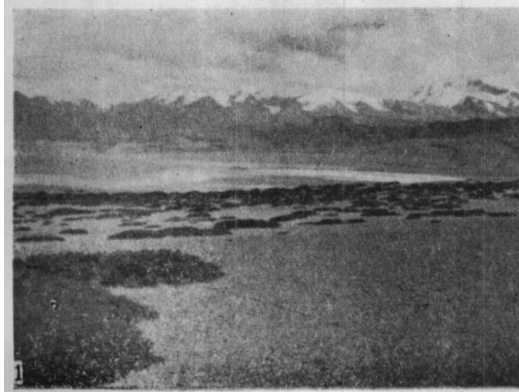
### Summary

According to the data from the field investigations with soil physical and chemical analysis, micro-morphological and electron-microscopical identification in the laboratory, the influence of plateau uplift on soil-forming environment in Qinghai-Xizang region is discussed on the view point of soil genesis. It shows that since Pliocene, the most noticeable changes of soil-forming environment in this area were the raising of the altitude of land surface, the increasing of the complexity of geomorphology, the reconstruction of atmospheric circulation by which specific climatic characteristics of plateau were formed, the gradual decreasing of the forest coverage replaced by the vegetation of alpine meadow, alpine steppe and alpine desert, and the soil-forming weathered crusts with diversity and complexity. Under these conditions, a particular soil region was formed on the plateau.

This paper deals with mainly the influence of plateau uplift on the formation of alpine soil and development processes. The influences are considered chiefly as following four points: the strengthening of soil-freezing process; the development of the process of separation from swamping of soil; the occurrence of soil salinization; and the remains of soil polygenetic characteristics. All the influences are discussed macroscopically and microscopically.

---

The main soil types and characteristics of this region are also described in this paper. It shows that besides the unique frozen soil, alpine and subalpine meadow soil, steppe soil and desert soil, as well as mountain shrubby steppe soil, there also have many aquatic soils, salt-affected soils and mountain forest soils as same as the soil types in plain region. The rich and varied soil types and their regularly distributional patterns are seldom seen in the world.



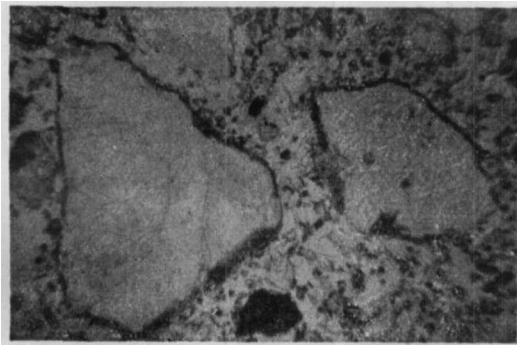
照片 1 马泉河谷地高山草原土多石砾的地表和覆沙地(背景为喜马拉雅山), 海拔 4,670 米

Fig. 1 Alpine steppe soil in the Maquan valley, at altitude of 4,670 m. The foreground is the gravelly surface and the blown sand land (the whites are plant-growth areas). The background is the Mt. Himalaya.



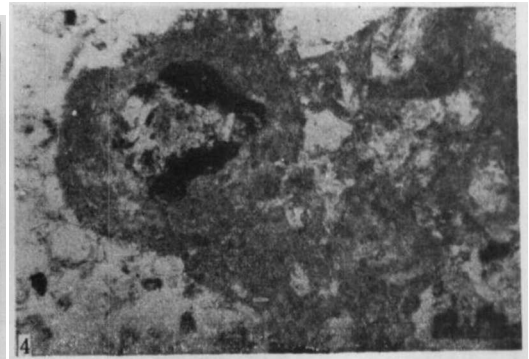
照片 2 冈底斯内部山脉高山草甸土冻裂的草皮层, 海拔 5,600 米

Fig. 2 Frost cracked sods of the alpine meadow soil in the Mt. Gandisè, at altitude of 5,600m.



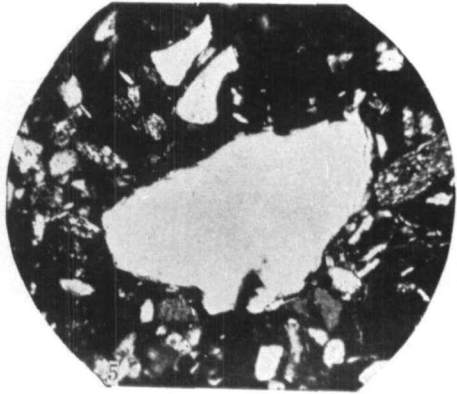
照片 3 高山草甸土 A 层, 矿物颗粒边缘的腐殖质胶膜, 冈仁布齐峰脚下, 海拔 5,250 米(单偏光,  $\times 32$ )

Fig. 3 Humicans around the mineral grains in A horizon of a alpine meadow soil near the piedmont of the Mt. Kangrinboqè, 5,250 m. above sea level. (plain light,  $\times 32$ )



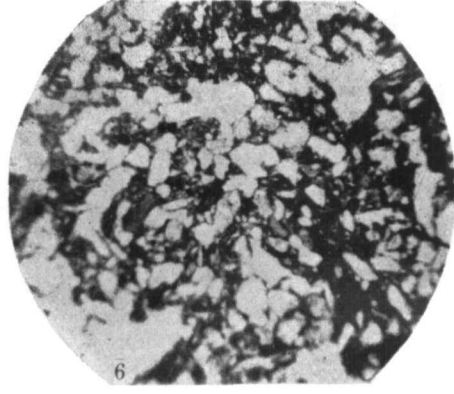
照片 4 山地灌丛草原土 A 层, 包裹有铁质矿物颗粒的碳酸盐凝团, 泽当, 海拔 3,750 米(单偏光,  $\times 100$ )

Fig. 4 Carbonate nodule inclosing ferruginated mineral grain in A horizon of a mountain shrubby steppe soil near Zètang, 3,750 m. above sea level. (plain light,  $\times 100$ )



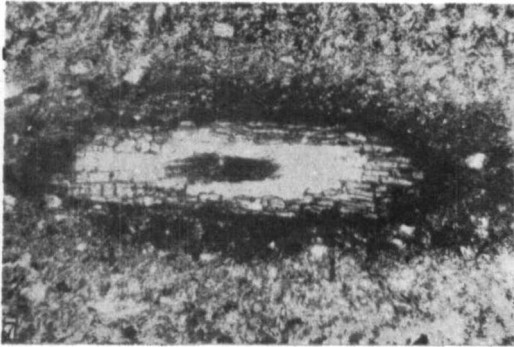
照片 5 山地灌丛草原土 B 层, 石英的冻裂风化, 米林, 海拔 3,000 米(正交偏光,  $\times 75$ )

Fig. 5 Frost cleaving on the edge of quartz grain in B horizon of a mountain shrubby steppe soil near Mainling, 3,000m. above sea level. (crossed nicols,  $\times 75$ )



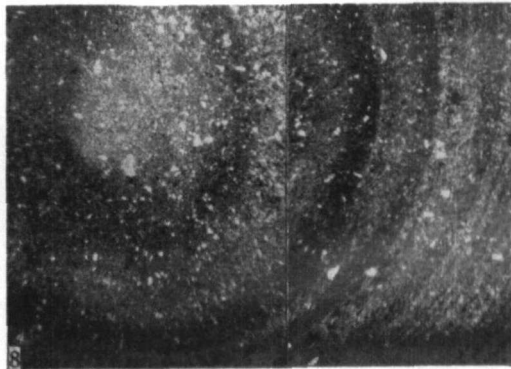
照片 6 亚高山草原土 A 层, 土壤微卷结构, 古错, 海拔 4,610 米(单偏光  $\times 38$ )

Fig. 6 Thin section of A horizon of a subalpine steppe soil showing the micro-rolled fabric, near Gucuo, 4,610 m. above sea level. (plain light,  $\times 38$ )



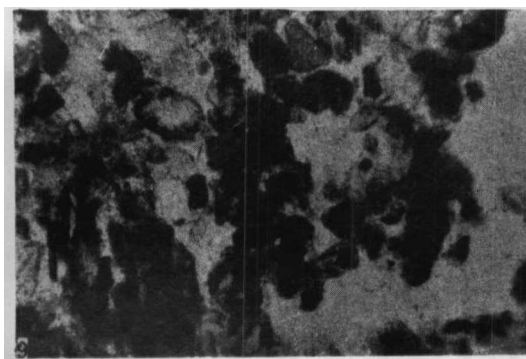
照片 7 亚高山草原土 C 层, 根际铁质环状物, 佩枯错阶地, 海拔 4,680 米(单偏光,  $\times 80$ )

Fig. 7 Ferric ring around plant root in C horizon of a subalpine steppe soil on Peigucuo terrace, 4,680m. above sea level. (plain light,  $\times 80$ )



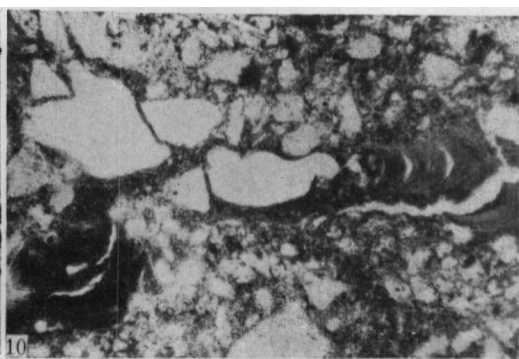
照片 8 亚高山草原土 C 层, 同心圆锈斑, 佩枯错阶地, 海拔 4,680 米(单偏光  $\times 20$ )

Fig. 8 Concentric ferric concentrations in C horizon of a subalpine steppe soil on Peigucuo terrace, 4,680m. above sea level. (plain light,  $\times 20$ )



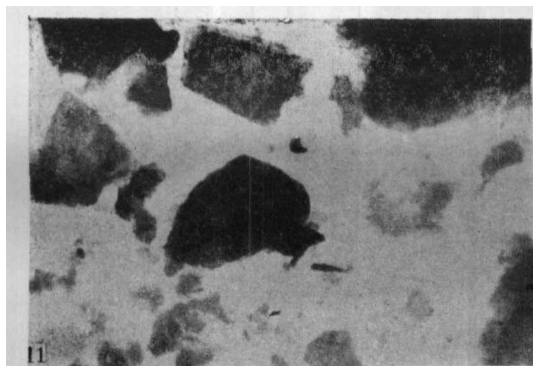
照片 9 棕褐土 A 层, 铁质化矿物颗粒碎屑, 康沙, 海拔 3,870 米(单偏光,  $\times 100$ )

Fig. 9 Fragments of ferruginated mineral grains in A horizon of a brown cinnamon soil near Kangsha, 3,890 m. above sea level. (plain light,  $\times 100$ )



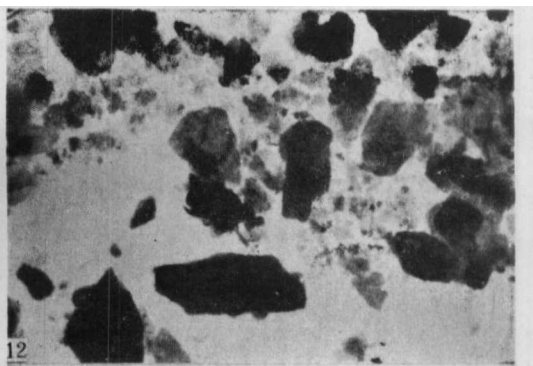
照片 10 棕褐土 B 层, 粘粒淀积胶膜, 妥坝, 海拔 3,890 米(单偏光,  $\times 100$ )

Fig. 10 Illuviation argillans in B horizon of a brown cinnamon soil near Toba, 3,890 m. above sea level. (plain light,  $\times 100$ )



照片 11 山地灌丛草原土 B 层, 结晶差的高岭石, 泽当, 海拔 3,750 米  $\times 10,000$

Fig. 11 Transmission electron microscope photo of a less crystallized kaolinite in B horizon of a mountain shrubby steppe soil near Zétang, 3,750 m. above sea level. ( $\times 10,000$ )



照片 12 亚高山草原土 BC 层, 三水铝矿, 觉姆, 海拔 4,370 米  $\times 10,000$

Fig. 12 Transmission electron microscope photo of the gibbsites in BC horizon of a subalpine steppe soil near Qomo, 4,370 m. above sea level. ( $\times 10,000$ )