

离石黄土中的第五层古土壤 及其古气候的意义*

安芷生 魏兰英
(中国科学院地球化学研究所)

古土壤作为历史或地质时期自然景观中形成的土壤,不仅是古环境和古气候的一种良好的记录,而且对于研究土壤的发生、发展乃至退化的过程有重要意义。古土壤学成为土壤学、地质学、地理学、生物学和考古学等学科的边缘学科,它的深入研究特别需要上述学科工作者的大力协作和综合的研究。近年来,先进的物理、化学和生物学的测试手段不断引进到古土壤学的研究领域之中^[25]。其中,古土壤的年代测定技术和微形态的研究分别作为独立的分支领域,尤其得到迅速的发展。

我国西北黄土高原的黄土塬区,黄土地层剖面中含有20余层的古土壤。黄土塬有良好的排水条件,埋藏或残余的古土壤分布稳定,产状平缓,具有地带性的意义。中更新世离石黄土和晚更新世马兰黄土,以及其间的古土壤,是在距今70万年以来的布伦赫斯(Brunhes)正极性世形成的^[7]。各个黄土塬区,离石和马兰黄土中共发育了大约13层的古土壤,彼此可以对比,具有普遍的意义。其中自上而下的第五层古土壤厚度大,深红褐色,粘化程度高,稜柱状构造发育;常由密集地二或三个薄层土壤复合叠置而成,十分醒目,容易识别,是13层古土壤中成壤最为强烈的土壤,成为区别离石黄土上下部的标志层。本文试图通过陕西省洛川黄土剖面中的第五层古土壤的年代测定、微形态、磁学性质和土壤发生类型的研究,并与我国西部和其它大陆的同期古土壤,以及深海沉积物的气候记录进行对比,从而恢复它形成时期的生物气候环境和讨论它的气候意义。

一、古土壤剖面及年代测定

在平坦的洛川塬中,离石黄土中的第五层古土壤分布广泛,产状平缓,稍向洛河及其支流倾斜,倾角在5度左右。第五层埋藏古土壤在切割黄土塬的沟谷壁上出露,有时呈一残留的土柱。古土壤厚5米以上,在洛川剖面中的埋藏深度一般为35—40米(图1)。

据野外观察和刘东生、朱海之的记述^[4],第五层古土壤拥有清晰的垂直分异的层次,自上而下可划分为淋溶层(A层)、粘化层(B₁层)、钙淀积层(B_{ca}层)和母质层(C层)(图1)。

* 本项工作得到刘东生、席承藩和朱显谟教授的指导,顾雄飞和耿建民、周正等同志在有关工作上给予指导和协助,文启忠、卢演侑同志参加野外采样并提供化学分析数据,文、卢二同志和曹升广、陈庆沐同志提出宝贵意见,我所照像组摄制照片,绘图组绘制图件,在此一并致谢。

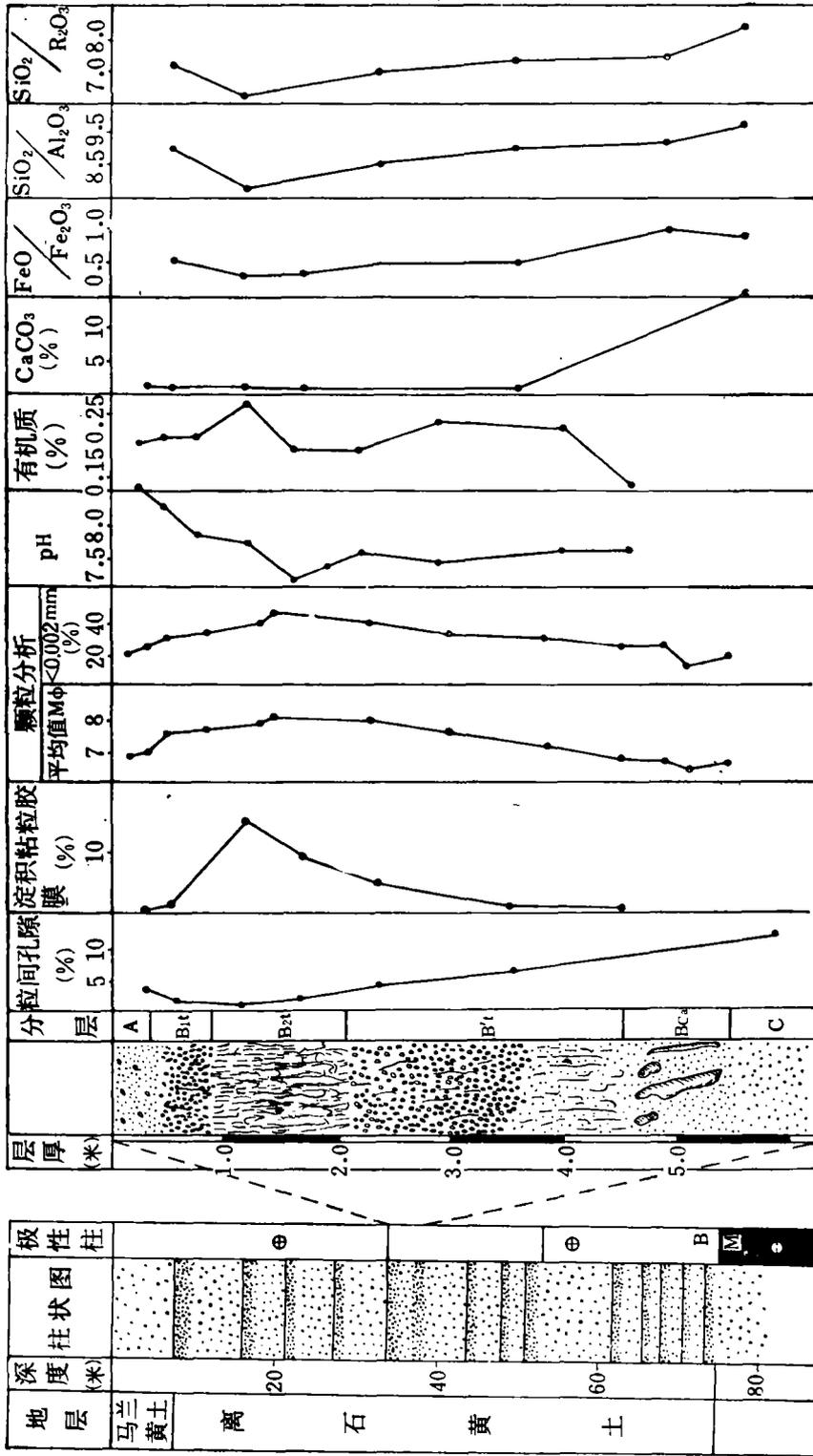


图 1 洛川黄土剖面及第五层古土壤的综合剖面图

Fig. 1 The composite profile of the Luochuan loess section and the tithth layer paleosol

顶部淋溶层(A层),厚0.4米,浅棕红色亚粘土,向上过渡为黄红色、黄灰色,与上覆黄土界限不甚清楚。并夹有少量棕红色粘土斑点团块,显示出被埋藏前土壤表面稍经侵蚀。浅棕红色亚粘土中,局部有不均匀出现的黄灰色亚粘土,富含钙质,石灰反应较强烈,可能与上覆黄土中碳酸盐的淋滤有关。

中部粘化层(B_t层)厚约4.3米,深褐红色粘土、亚粘土,粘化深重,具稳固的核状、稜柱状构造,稜柱体表面被覆着大量棕褐色粘粒胶膜;碳酸盐基本淋失,无石灰反应;土体内保存有孔径5毫米以下的蚯蚓孔洞,0.5—1毫米的近圆形植物根孔发育。B_t层又分为上粘化层(B_{ti}层)和下粘化层(B_{tb}层)。上粘化层(B_{ti}层)厚1.8米,其上部B_{ti}层多为亚粘土,粒状、核状构造发育,粘粒胶膜较少;下部B_{ti}层为深褐红色粘土,稜柱状构造极其发育,粘粒胶膜大量出现。下粘化层(B_{tb}层)厚2.5米,上部颜色较浅,粒状、核状构造不如B_{ti}层明显;其下部为较深的棕红色,有较清晰的稜柱状构造,粘粒胶膜尚发育;往底部渐变为黄红色亚粘土,与淀积层似呈过渡关系。该中部粘化层所分出的上下粘化层在垂直方向上具有类似的剖面结构型式,表明系两层粘化层重叠而成。因此,第五层古土壤则可能是两层密集的土壤复合而成。

下部钙淀积层(B_{ca}层),由灰黄色富含碳酸盐的黄土和钙结核组成,厚约1米。钙结核多为孤立的长柱状,直径最大的可达10厘米以上,一般为4—5厘米,钙结核具有含孔洞的同心圆状结构。本层石灰反应强烈。

底部为黄土母质层(C层),灰黄色粉砂土,疏松多孔、块状,垂直节理发育,石灰反应较强烈。

洛川第五层古土壤下伏黄土中,发现了华北中更新世的标准化石肿骨鹿(*Megaloceros pachyosteus*)¹⁾。根据第五层古土壤上覆与下伏黄土样品的热发光年代测定结果^[9],第五层古土壤开始发育的时间不早于距今212000±15800年,停止发育的时间不晚于距今178000±24000年。同时,我们最近的古地磁研究表明,在第五层古土壤及其上覆和下伏黄土的古地磁样品中,除第五层古土壤顶部样品具有反磁化性质外,其它样品皆为正磁化性质。古土壤顶部反磁化样品的磁偏角为-68.05°,磁倾角为-49.78°,记录了布伦赫斯正极性世中的一次短暂的倒转事件。它可与日本琵琶湖中沉积物所记录的琵琶I(C)倒转事件相对比^[21],琵琶工倒转事件也是发生在约距今20万年前。因此,热发光年代测定和古地磁年代测定结果一致表明,第五层古土壤是大约距今20万年前形成的,它所经历的发育时间约为3—4万年。

二、土壤微形态的特征

朱海之通过微形态的观察,讨论了第五层古土壤中分布的光性方位粘土泉华^[6],并对它的分布作了描述^[4]。笔者最近讨论了第五层古土壤粘化层内的淀积铁质粘粒胶膜^[8]。同时,作者等系统收集了第五层古土壤内不同层次的样品,利用环氧树脂^[22]制取了垂直和水平方向的薄片,在偏光显微镜下进行微形态的观察;并借助于物理、化学的测试手段,查明

1) 据王永斌教授的资料。

了土壤内不同发生层次微形态的主要特征,现描述如下:

(一) 淋溶层(A层)(图1) 骨骼颗粒¹⁾(Skeleton grains)以粒径10—60微米的石英为主,长石较少,且风化显著。长石、石英由断续分布的晶出粘土矿物镶边。原生方解石少见,黑云母无定形化和褪色化,白云母发生水化,可见少量有机植物残体。棕黄—褐黄色细土物质(Plasma)中,晶出长约5微米和25微米的棕黄色针状和纤维状、鳞片状粘土矿物集合体,局部呈条纹状定向排列,构成挤压粘粒胶膜。底部出现扩散粘粒胶膜,它是黄色斑状粘土矿物的集合体,呈扩散状;有的略显波状消光,有的无清晰的定向模式;其粒径自数十微米到一百微米以上,是细土物质就地扩散和浓聚的产物。孔隙壁偶见流胶状定向粘粒薄膜。微晶碳酸盐浸染状分布于细土物质中,但数量很少。空隙中有针状、微晶粒状方解石胶膜分布。骨骼颗粒嵌埋于细土物质中,细土物质局部分离和浓聚出粘粒胶膜。颗粒间细土物质的厚度为6—20微米,成为颗粒间的支撑体,属交织-包膜状基本微结构。

由土壤单粒组成的土胚或称结构体(Peds)发育明显。直径一般为150微米,大至500微米,呈椭圆或不规则的浑圆形。小土胚可组合成1.5—2.0毫米的大土胚。土胚边缘有厚约6微米的粘粒胶膜分布,土胚之间空隙发育,粒间孔隙不甚发育。因此,淋溶层为具有交织-包膜状微结构的土胚聚合形态(图版I照片1)。

有紧密或疏松聚集的铁质浓聚物分布,为不规则的多边形或浑圆形(图版I照片2),粒径为数十微米至0.3毫米不等。

(二) 上粘化层(B₁层) 上粘化层上部(B_{1t}层)微形态特征大体同前。但细土物质比例增加,晶出粘土矿物增多,并有10×25微米的短粗鳞片状粘土矿物集合体晶出,粒径为25—250微米的扩散状粘粒胶膜常见,隙壁出现3—20微米厚的流痕状沉积粘粒胶膜。晶出粘土矿物和细土物质增多,致使土胚间的介限不分明。原生方解石偶见,未见碳酸盐胶膜,铁质浓聚物增多。

上粘化层下部(B_{1b}层)。骨骼颗粒中没有发现原生方解石。长石数量减少,且颗粒边缘粗糙,具不规则外形。黑、白云母大都已水化成胶溶物质,有的已进一步转变为粘粒胶膜的一部分。赤铁矿、褐铁矿、水针铁矿斑点增多。短粗鳞片状晶出粘土矿物集合体大量出现,呈断续条纹状排列,具一致消光方位,构成挤压胶膜(图版I照片3)。颗粒间似流胶状粘粒胶膜增多,骨骼颗粒边缘粘粒胶膜发育(图版I照片4)。颗粒间细土物质厚度增至6—150微米不等,非均质光性粘土占细土物质一半以上。B_{1b}层中孔洞、孔道发育,隙径变化于30—1650微米。横径大于150微米的孔隙、孔道发育。生物成因的圆孔、椭圆孔多见,粒间孔隙很少。土胚边缘粘粒胶膜增厚至10—14微米,土胚紧密堆积,造成边界不清。骨骼颗粒嵌埋于非均质性大为增长的细土物质中,细土物质形成的胶膜大为增多。因此,B_{1b}层具有包膜-交织状微结构的土胚紧密聚合形态(图版I照片5、6)。除有一般形态铁质浓聚物外,裂纹状铁质淀积条带多见,未见碳酸盐胶膜。

在土壤剖面的B_{1b}层中,稜柱状裂隙壁表面分布有大量的粘粒胶膜,经用脱泥、重液浮选和介电选等方法,将这种粘粒胶膜富集起来,经矿物化学、X射线衍射粉末法、红外光谱

1) 主要采用曹升庚同志对微形态术语的译名。

分析和电镜观察等,表明粘粒胶膜的化学成分为: SiO_2 —50.13(%), TiO_2 —0.42, Al_2O_3 —20.56, Fe_2O_3 —9.70, FeO —0.31, MnO —0.04, MgO —2.43, CaO —1.25, Na_2O —0.39, K_2O —3.36, CO_2 未检出;主要粘土矿物组成为伊利石,其次是蒙脱为主的伊利-蒙脱混合结构矿物和蛭石^[8]。因含铁量较高,称铁质粘粒胶膜。镜下观察,它附着于空洞状、树枝状、囊状和管道状的孔隙、裂隙壁上或充填于其中,为流胶状、泉华状、似鲕状的粘土矿物集合体,具有强烈连续定向的光学模式(图版 I 照片 5、6),并含有少量石英、长石和云母等骨骼颗粒。它只有当细土物质中的粘粒发生机械移动并重新聚集才能形成,即土壤中含有大量粘粒和铁质组分的悬浮胶体溶液于下层土壤孔隙中多次淀积而成,属典型的淀积铁质粘粒胶膜^[6]。它在 B_{2t} 层的空隙中相当发育,在 B_{2t} 层上部占薄片面积的 13.4%: 而下部则为 9.1%。

(三) 下粘化层 (B_1 层) 淀积铁质粘粒胶膜显著减少,泛浅黄褐色,表明铁质含量较 B_{2t} 层的胶膜为低。短粗鳞片状的晶出粘土矿物集合体也减少,而细针状、纤维状晶出粘土矿物集合体多见。土胚不甚发育,为交织-包膜状微结构。本层下部细土物质中有少量微晶碳酸盐散布,孔隙中也有针状、微晶粒状方解石胶膜(图版 I 照片 7),但未见原生方解石。

(四) 钙淀积层 (B_{ca} 层) 即钙结核层。结构类似于黄土,但有大量的碳酸盐胶结物,碎屑颗粒有长石、石英、方解石等,实为碳酸盐淀积层。

(五) 母质层 (C 层) 母质黄土具基底式胶结的粉砂粒状结构(图版 I 照片 8)。胶结物(即细土物质)主要为碳酸盐,次为均质粘土。胶结物中晶出少量粘土矿物,断续镶边于碎屑颗粒表面。有弱团聚化迹象。粒间孔隙显著增多,孔隙中有微晶粒状方解石胶膜分布。

三、土壤发生类型的分析

国外的学者对北美和欧洲黄土中的古土壤的年代、性质和成因作了大量研究工作,认为它是间冰期或间冰阶的产物,并与北美和欧洲大陆的现代土壤进行比较,以确定它的发生类型^[19, 23, 25]。朱显谟认为我国黄土性沉积物中的古土壤主要为褐色森林土,黄土高原东南部甚至有淋溶褐土出现,为我国黄土中古土壤的研究打下了良好的基础^[9]。限于当时的实验条件,难以发现古土壤剖面中粘粒的机械移动现象。我们根据第五层古土壤的剖面和微形态特征、土壤的磁性、粒度和化学组成等资料分析,认为它是粘粒发生机械移动的棕褐土型古土壤。

(一) 剖面发育和微形态特征的分析 第五层古土壤粘化层极为发育,粘粒胶膜广布;碳酸盐基本淋失并在淀积层中富集,这也反映在各个发生层次的微形态特征上。

A 层碳酸盐发生淋失,细土物质大多呈均质光性,仅在原地发生变化或稍有移动,形成挤压和扩散粘粒胶膜。到 B_1 层,碳酸盐完全淋失,铁质聚积物增多。在 B_{1t} 层,粘粒有较明显的移动,形成流痕状淀积粘粒胶膜。在其下部的 B_{2t} 层,细土物质以及其中非均质光性粘土的比例大为增加,生物孔隙发育,空隙中大量淀积铁质粘粒胶膜,裂纹状淀积铁质细条带可见。这都表明铁、铝的移动,粘粒发生明显的机械移动和淀积。同时,长石、云

母等骨骼颗粒数量减少, 风化显著; 石英表面出现溶蚀和二氧化硅再沉淀的光滑化结构^[5]; 粘土矿物中, 还出现以蒙脱为主的蒙脱-伊利混合结构矿物和蛭石; 具有多孔隙的包膜-交织状微结构的土胚紧密聚合形态等, 都反映了它所经受的生物、物理和化学风化作用较为强烈, 似为粘粒淀积层。下至 B_t 层, 粘粒有移动和淀积现象, 出现少量淀积粘粒胶膜, 细针状、纤维状晶出粘土矿物多见; 碳酸盐在本层底部稍有聚集, 形成微晶碳酸盐胶膜。在 B_{ca} 层碳酸盐高度富集, 有类似黄土母质的结构。往下则是基底式胶结的粉砂粒状结构的母质黄土。

《中国土壤》一书中指出, 我国褐土和棕壤中有光性粘土分布^[2]。淀积粘粒胶膜的出现是淋溶强烈的森林土壤的标志^[7], 而显著量的淀积粘粒胶膜的出现应是棕色森林土壤的重要标志。

(二) 土壤磁性的初步研究¹⁾ 用无定向磁力仪测定了第五层古土壤样品的磁化率 (K) 和天然剩余磁化强度 (I_r)。B_{2t} 层样品的 K 值为 88.3×10^{-3} , I_r— 21.0×10^{-5} emu/cm³; B_t 层样品的 K 值为 39.0×10^{-3} , I_r— 11.0×10^{-5} emu/cm。B_{2t} 层的磁化率远高于 B_t 层以及离石黄土中其它古土壤的磁化率值^[7], 说明 B_{2t} 层铁磁性矿物含量较高; B_{2t} 层的 I_r 值所表征的较强的天然剩余磁性 (NRM), 可能与成壤过程中获得了较强的化学剩余磁性 (CRM) 有关。这同样表明了第五层古土壤经历了较强烈的生物化学风化过程, 它是布伦赫斯世以来形成的 13 层古土壤中成壤最为强烈的一层土壤。

(三) 粒度资料的分析 从平均粒径 M_φ 和小于 0.002 毫米的粒级含量在剖面上的变化曲线看出 (图 1), A 层和 B_t 层的平均粒径一般小于 0.0078 毫米, 属粉质粘土^[4]。B_{2t} 层中部 (自上而下 1.4 米处) 出现粒度最细层的峰值, 自该处向上到上覆黄土和下至黄土母质构成一显著的马鞍形。

若将土壤细粒层中小于 0.002 毫米或 0.001 毫米粒级含量 (ϕ_{max}) 与母质同一粒级含量 (ϕ_p) 的差值, 视为土壤粘化作用的结果。那么这个差值与母质同一粒级含量的比值 ($\frac{\phi_{max} - \phi_p}{\phi_p}$) 似可看作土壤成壤强度的一种反映。将第五层古土壤与近代土壤相比较^[4, 11] (表 1), 第五层古土壤的 $\frac{\phi_{max} - \phi_p}{\phi_p}$ 值小于威海卫的棕壤, 而大于淋溶褐土和褐土, 甚至大于南京的黄棕壤。要指出, 下蜀黄土上发育的黄棕壤小于 0.002 毫米粒级的最大含量为 40—50%^[11], 与第五层古土壤同一粒级的最大含量 45.7% 接近。上述比较的方法只是一种尝试。但说明第五层古土壤的粘化程度较高。

(四) 化学分析的结果 (图 1, 表 2) 土壤中 pH 值大于 7, 偏碱性。B_{2t} 层的 pH 最低为 7.15, 有机质含量也相对高一点。B_{1-2t} 层碳酸盐基本淋失, 铁和铝在剖面中向下移动似不显著。但 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 的含量在 B_{2t} 层较高, 与上层相比, 有明显的移动。 $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ 和 $\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$ 的分子比率以及 $\frac{FeO}{Fe_2O_3}$ 比值的剖面变化曲线都似马鞍形, 各自最低值都位于 B_{2t} 层内, 表明铁和铝在 B_{2t} 层中的相对聚集。

综上所述, 洛川第五层古土壤粘化层极为特征, 具有稳固的核状、稜柱状构造。B_{2t} 层

1) 王俊达、李华梅同志参加了该项工作。

表 1 土壤细粒层的粘粒含量(ϕ_{max})及其与母质粘粒含量(ϕ_p)的比较Table 1 Clay content in clay-enriched horizon (ϕ_{max}) as compared with that in parent materials (ϕ_p)

土壤 Soils	ϕ_{max} (%)	$\frac{\phi_{max} - \phi_p}{\phi_p}$
洛川第五层古土壤 The fifth layer paleosol, Luochuan	45.7 ($\phi < 0.002\text{mm}$) 35.5 ($\phi < 0.001\text{mm}$)	1.34 ($\phi < 0.002\text{mm}$) 1.50 ($\phi < 0.001\text{mm}$)
山东威海卫的棕壤 Brown earth, Weihaiwei, Shandong province	30.73 ($\phi < 0.002\text{mm}$)	2.50 ($\phi < 0.002\text{mm}$)
北京西山三柱香淋溶褐土 Luvic drab soil, Xishan, Beijing	22.86 ($\phi < 0.001\text{mm}$)	0.43 ($\phi < 0.001\text{mm}$)
河北围场黄土阶地淡淋溶褐土 Light luvic drab soil on loess terrace, Weichang Hebei province	17.75 ($\phi < 0.001\text{mm}$)	0.32 ($\phi < 0.001\text{mm}$)
辽宁北票黄土丘陵淡典型褐土 Light drab soil on loessial hill, Beipiao, Liaoning province	22.4 ($\phi < 0.001\text{mm}$)	0.54 ($\phi < 0.001\text{mm}$)
南京下蜀黄土上的黄棕壤 Yellow-brown earth developed on the Xiashu loess, Nanjing	42.1 ($\phi < 0.002\text{mm}$)	0.65 ($\phi < 0.002\text{mm}$)

表 2 第五层古土壤的主要化学组成(%)

Table 2 Chemical composition of the fifth layer paleosol

发生层次 Soil horizon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO
B _{1t}	59.10	11.33	4.48	1.00	3.75	1.13	2.55	1.43	0.06
B _{2t}	60.60	13.32	5.65	0.67	0.87	1.58	2.80	1.30	0.07
B _{1c}	62.16	12.33	4.80	1.00	1.16	2.03	2.65	1.42	0.06
B _{2c}	63.72	12.00	4.57	0.92	0.87	1.80	2.60	1.65	0.05
B _{Ca}	30.56	5.66	2.24	1.00	27.94	—	1.20	1.10	0.05
C	60.68	10.66	3.53	1.42	8.64	1.80	2.18	1.40	0.05

中矿物风化强烈,粘化明显,为粒度最细层;淀积粘粒胶膜发育,粘粒有明显的机械移动和淀积;有较高的磁化率和天然剩余磁化强度值;具有包膜-交织状微结构;碳酸盐已淋失,三三氧化物相对聚集,未发现富铝化现象,似为棕壤淀积层。但土壤偏碱性;三三氧化物在剖面中的移动不如棕壤显著;B_{2t}层淀积粘粒胶膜平均含量虽在10%以上,但B_{1c}层含量甚低;尚有一定数量的残积粘化和挤压、收缩作用所形成的扩散、挤压粘粒胶膜,而且非光性定向的细土物质仍占一定比例。所以,就整个第五层古土壤的发生类型而言,不似含有碳酸盐和发生粘化现象的褐土,也不完全类似于粘粒移动和淀积、三三氧化物显著移动聚集和呈酸性反应的棕壤,而相当于近代棕色森林土和褐色森林土的过渡类型——棕褐土。

四、古气候的意义

棕褐土类型的第五层古土壤是约 70 万年以来,黄土高原中成壤作用最为强烈的土壤类型。近代这种类型的土壤,主要分布在暖温带落叶阔叶林和干性森林地带之间的生物气候带,可能与鲁中山地的生物气候带相似。若将现在鲁中山地的年平均气温(12—14℃)和年降水量(700—800 毫米)¹⁾看作是洛川塬约 20 万年前的平均气候状况,与洛川塬现在的年平均气温(9.2℃)和年降水量(591 毫米)²⁾相比较,第五层古土壤成壤期的年平均气温比现在在高约 2.5—5℃,年降水量多约 100—200 毫米。这是 70 万年前以来黄土高原上所出现的其它成壤期不能达到的,成为 70 万年以来,黄土高原最温暖湿润的时期。

黄土中的古土壤粘化作用强,碳酸盐发生淋失,氧化铁和氧化铝含量较高,表明它是较为暖湿的间冰期或间冰阶气候的产物;黄土偏碱性,粘粒含量低且富含碳酸盐,则表明它是较为干冷的冰期或冰阶气候的产物。暖湿和干冷气候的波动乃至小的颤动也不可避免地反映到第五层古土壤成壤期中,这由第五层古土壤的剖面特征得以证实。很难设想,先沉积了 5 米厚的黄土,然后黄土堆积停止,在一个较长时期内生物气候条件保持稳定,在黄土母质上发育了粒度由粗到细再到粗的 5 米厚的土壤剖面;同时, A 层顶部和 B₁ 层底部的粒度组成和微形态特征接近于上覆黄土和母质,呈过渡形式,说明土壤表面随着黄土的堆积而上涨。并且第五层古土壤可能由两层古土壤紧密叠复而成,而在其它剖面经常发现它由三层古土壤复合而成。这表明,在发育下粘化层的暖湿成壤期后,有一以短暂地较干冷的黄土堆积为主的时期。此后又出现了以成壤为主的暖湿时期,发育了上粘化层。这记录了在第五层古土壤成壤期中,至少有两次明显的气候颤动。而整个第五层古土壤则记录了一次较大的暖湿气候的波动。同时也说明,在古土壤形成时期,随着气候的颤动,有时黄土堆积速率大于成壤速率,以形成薄层黄土为主;有时成壤速率大于黄土堆积速率,土壤处于稳定发育时期。古土壤的形成则是成壤速率相对大于黄土堆积速率的结果,成壤速度将取决于它们的相对速率,并非绝对速率。这在研究风成黄土中的古土壤时应予注意。

约 20 万年前发育的第五层古土壤,所反映的 70 万年前以来的气候最暖湿的时期,不是黄土高原所特有的孤立现象。在我国西部、日本、欧洲、美洲和大洋沉积中都有所记录。

我国珠穆朗玛地区,中更新世的布拉加间冰期,是该区第四纪以来延续最长和最温暖的时期,发育棕色森林土和红色风化壳^[10,11]。在天山、祁连山等地区,相当于布拉加的间冰期也是风化成壤作用最强的时期^[12]。第五层古土壤成壤期与布拉加间冰期或其中暖湿气候最盛阶段也许可以对比。日本琵琶湖沉积物的孢粉分析资料表明^[13],距今 20 万年前有着一段显著温暖的时期,似也可与黄土高原的相对比。

里奇蒙德(Richmond)运用土壤发育程度进行大陆间的古土壤的对比^[22]。他认为美国中西部桑加蒙间冰期的土壤与欧洲民德一里斯间冰期的土壤相当,同属“最后的大间冰期”的土壤。特点是厚度大、带红色、粘粒发育和强烈深度风化。并认为桑加蒙间冰期至

1) 国家地图集编篡委员会,1965: 中华人民共和国自然地图集。53—54, 59—60, 82—83 页,北京。

2) 延安地区实用水文手册,1971,延安水电编。

少是在 18 万年前开始的。虽然进行洲际大陆间古土壤的对比应当十分小心,但根据古土壤的地层位置,土壤发育的特征,以及气候变化的普遍性和大致同时性的概念,第五层古土壤似可与北美桑加蒙间冰期和欧洲民德一里斯间冰期的古土壤对比。

赤道太平洋和日本太平洋沿岸的气候记录表明^[21],约 18—22 万年前具有 2—3 个由于冰川后退和消融所引起的高海面期。在依据深海沉积物岩心所建立的氧同位素阶段的气候记录中^[18,24],温暖的 δO^{18} 阶段 7 (约距今 20 万年前后) 中有 2—3 个温暖峰出现。同样,第五层古土壤也记录了 2—3 次暖湿的气候颤动,它们可与约 20 万年前的高海面期和深海沉积物的 δO^{18} 阶段 7 相对比。此外,这与约 18—22 万年前北半球平均夏半年日照出现三个高峰值^[20],其中有两个高峰值与 70°N 夏半年日照的高峰值相叠加等所反映的气候状况颇相一致。

因此,约 20 万年前黄土高原所拥有的比较温暖的生物气候状况,反映了北半球约 20 万年前气候有一次显著转暖的大的波动(Fluctuation),以及 2—3 次小的颤动(Oscillation)。看来,约 20 万年前的温暖期在一定程度上具有全球性质,对于恢复约 20 万年前北半球的土壤地理景观和气候格局有着重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院自然区划工作委员会,1959: 中国土壤区划。96—106 页,科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所,1978: 中国土壤。522 页,科学出版社。
- [3] 卢滨涛等,1976: 中国黄土物质来源的初步探讨。地球化学,第 1 期,47—53 页。
- [4] 刘东生等,1966: 黄土的物质成分和结构。75—77,36—40 页,科学出版社。
- [5] 朱显谟,1965: 我国黄土性沉积物中的古土壤。中国第四纪研究,第 4 卷 1 期,9—19 页。
- [6] 朱海之,1965: 黄土的显微结构及埋藏土壤中的光性方位粘土。中国第四纪研究,第 4 卷 1 期,62—76 页。
- [7] 安芷生等,1977: 洛川黄土剖面的古地磁研究。地球化学,第 4 期,239—249 页。
- [8] 安芷生、魏兰英,1979: 沉积铁质粘粒胶膜及其成因意义。科学通报,第 24 卷 8 期,356—359 页。
- [9] 李继亮等,1977: 黄土中石英粉砂的热发光及黄土地层年龄测定的初步研究。科学通报,第 22 卷 11 期,498—502 页。
- [10] 郑本兴、施雅风,1976: 珠穆朗玛峰地区第四纪冰期探讨。珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968): 第四纪地质,29—62 页,科学出版社。
- [11] 柯夫达, B. A., 1960: 中国之土壤与自然条件概论。313—315 页,科学出版社。
- [12] 南京大学地理系地貌学教研室,1974: 中国第四纪冰川与冰期问题。131—134 页,科学出版社。
- [13] 耿建民、安芷生,1978: 利用环氧树脂制备松散岩石及土壤薄片的方法。地球化学,第 3 期,194—196 页。
- [14] 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(1966—1968): 第四纪地质,63—78 页,科学出版社。
- [15] 堀江正治、山本淳之,1977: 气候变化。日本第四纪学会编《日本の第四纪研究》,177—186 页,东京大学出版会。
- [16] Brewer, R., 1964: Fabric and mineral analysis of soils. 203—233, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [17] Fink, J., and Kukla, J., 1977: Pleistocene climates in central Europe: At least 17 interglacials after the Olduvai event. Quaternary Research, 7: 361—371.
- [18] Garlinen, C. and Emiliani, C., 1976: Nannofossil biostratigraphy and climatic stages of pleistocene Brunhes Epoch. Amer. Ass. Petroleum Geol. Bull., 60: 1562—1564.
- [19] Gerasimov, I. P., 1971: Nature and originality of paleosols. In “Paleopedology” (D. H. Yaalon Ed.), 15—27, International Society of soil Science and Israel Universities Press.
- [20] Johnson, R. G. et al., 1976: A model for Northern hemisphere continental ice sheet variation. Quaternary Research, 6: 325—353.
- [21] Kawai, N. et al., 1972: Oscillating geomagnetic field with a recurring reversal discovered from Lake Biwa. Proc. Japan Acad., 48: 186.
- [22] Richmond, G. M., 1970: Comparison of the Quaternary stratigraphy of the Alps and Rocky Mountains. Quaternary Research, 1: 3—28.

- [23] Ruhe, R. V. et al., 1971: Paleosols, Loess sedimentation and soil stratigraphy, in "Paleopedology" (D. H. Yaalon Ed.), 41—59, International Society of Soil Science and Israel Universities Press.
- [24] Shackleton, N. J., and Opdyke, N. O., 1973: Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28—238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 year and 10^6 year scale Quaternary Research, 3: 39—55.
- [25] Valentine, K. W. G., and Dalrymple, J. B., 1976: Quaternary buried paleosols: A critical review, Quaternary Research 6: 209—222.

THE FIFTH LAYER PALEOSOL IN THE LISHI LOESS AND THEIR PALEOCLIMATIC SIGNIFICANCE

An Zhi-sheng and Wei Lan-ying

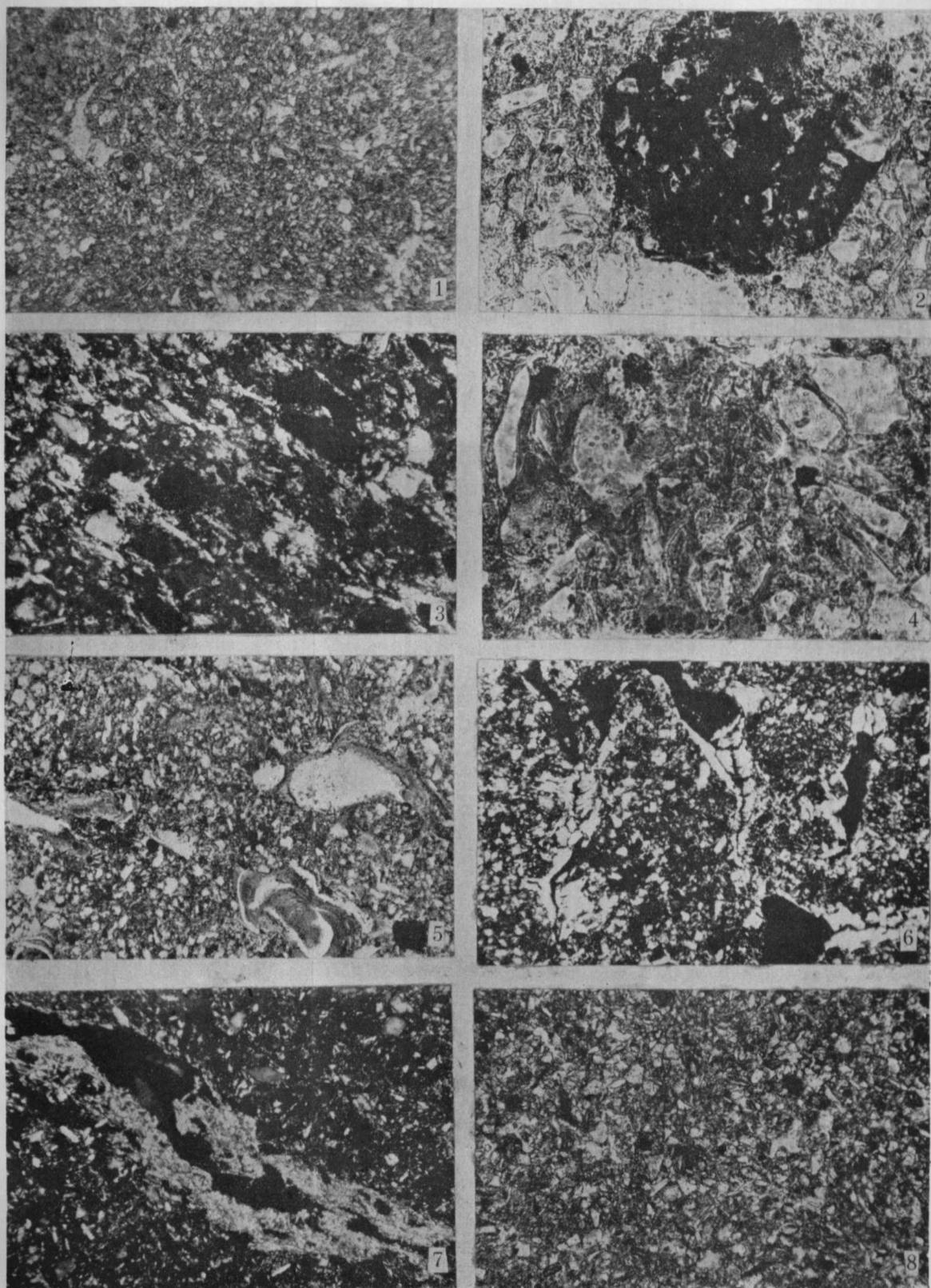
(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica*)

Summary

In the famous eolian loess plateau of north China a number of paleosol layers were recognized early. Thirteen layers of buried paleosols can often be found in well preserved late Pleistocene Malan loess and middle Pleistocene Lishi loess, that deposited during the Brunhes Normal epoch. Among them, the fifth layer, counting from top to bottom, paleosol in Luochuan loess section, Shaansi province, is characterized by its greater thickness, red brown colour, and a well developed clay enriched horizons as well as carbonate concretions at the bottom. The reversed magnetization observed in samples from the top of soil section records short reversed event during the Brunhes epoch, corresponding to I Biwa reversed event in Japan. Thermoluminescence dating shows that this unit was formed between 212000—178000 years ago.

The Luochuan fifth layer paleosol, with two closely related clay enriched horizons, consists of two thin layers paleosol. Large quantity of illuviation ferri-argillans observed in the soil section show that the clay had been transported and deposited. In addition, results of micropedology and soil magnetization studies, mechanical and chemical analyses prove that the fifth layer paleosol approach burozem type. It is a product of bioclimatic belt between temperate deciduous-broadleaf forest and dry forest types. As a consequence, the occurrence of fifth layer paleosol indicates that the climate in the loess plateau about 0.2 million Y. B. P., is warmer and wetter than in Holocene at the same place, because the nature landscape in Holocene in Luochuan region belongs to steppe type.

The authors consider that the paleosols in loess plateau of North China represents interglacial climate just as the loess represents glacial climate. According to the degree of the paleosol development and chronological studies, the fifth layer paleosol, the Sangamon interglacial soil in the United States and the Minde/Ress interglacial soil in Europe are all contemporaneous. The fifth layer paleosol can be compared with oxygen isotope stage 7 in climatic records of deep-sea sediments. At the same time, stage 7 shows two pronounced warm peaks can be compared with the warm interval reflected by the two thin soil layers in the fifth layer paleosol. As the preceding discussion indicates the Northern Hemisphere climate was obviously getting warm about 0.2 million Y. B. P.



照 片 说 明

1. 交织-包膜状微结构的土胚聚合形态(单偏光, ×80)
2. 浑圆形的铁质浓聚物(单偏光, ×330)
3. 条纹-斑点状定向的挤压粘粒胶膜(正交偏光, ×330)
4. 骨骼颗粒之间及其边缘的粘粒胶膜(单偏光, ×330)
5. 包膜-交织状微结构的土胚紧密聚合形态(单偏光, ×80)
6. 淀积铁质粘粒胶膜分布在空隙中(正交偏光, ×80)
7. 孔隙中的微晶碳酸盐胶膜(正交偏光, ×132)
8. 基底式胶结的粉砂粒状结构(单偏光, ×80)

Descriptions of the Photomicrographs

1. Plectoamietic peds fabric in A horizon (plain light, ×80)
2. Iron nodule in A horizon (plain light, ×330)
3. Strio-flecked orientated stress cutans in B_{2t} horizon (crossed polarizers, ×330)
4. Cutans between the skeleton grains and on the skeleton grains in B_{2t} horizon (plain light, ×330)
5. Amictoplectic peds fabric in B_{2t} horizon (plain light, ×80)
6. Illuviation ferri-argillans on the walls of voids, B_{2t} horizon (crossed polarizers, ×80)
7. Void microcrystalline calcans in B_t' horizon (crossed polarizers, ×132)
8. Embedded silts fabric in C horizon (plain light, ×80)