

文章编号 :1000-055X(2001)01-0090-06

中国黄土中的风化壳研究^①

赵景波^{1,2} 黄春长¹ 岳应利¹

(¹ 陕西师范大学地理系 西安 710062)

(² 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710054)

摘要 据野外调查和室内鉴定,在布容期 0.78~0 MaBP 形成的黄土剖面中确定了三个时期的风化壳,它们主要发育在黄土高原东南部。黄土中的风化壳是红褐色古土壤在特定的气候条件下转变而成的,厚度在 3~6 m 之间,风化壳剖面常由 3 个层次构成,发育时间为 5~10 万年不等。风化壳上部是发育好的红色古土壤,中部是褐黄色强风化破碎黄土,下部是棕黄色弱风化黄土。粘土矿物分析表明,黄土中的风化壳为伊利石—蒙脱石型。黄土中风化壳发育时的年均降水量在 900~1 000 mm 之间,是黄土高原降水丰富的气候事件的显示。黄土高原东南部和中部风化壳的发育证明黄土中有些古土壤确属淋溶型森林土壤,当时亚热带气候至少迁移到了黄土高原中部。

关键词 深部风化黄土 风化壳 降雨事件 淋溶土壤 亚热带气候

第一作者简介 赵景波 男 1953 年出生 博士 教授 第四纪地质学与自然地理学

中图分类号 P512.1+3 **文献标识码** A

1 黄土中风化壳的时代和剖面特征

1.1 风化壳的分布和时代

人们对黄土中的古土壤进行了大量研究^[1~7],取得了引人注目的成果。然而关于黄土中是否存在风化壳,还未见其他研究者的报道。通常认为风化壳的发育需要沉积间断和漫长时间过程,而黄土中的古土壤形成过程较短,加之由它们转变而成的风化壳与其它类型的风化壳有所不同,因而没有引起人们的注意和研究。

据作者调查得知,黄土中确有风化壳发育,它们主要分布于中、晚更新世黄土中,处于第 1、4、5 层红褐色古土壤层位,由古土壤及其之下的风化破碎黄土层构成。其底部有 CaCO₃ 结核层出现。黄土中的风化壳主要分布于黄土高原东南部,但在中部的长武地区也有发育。不同时期的风化壳发育强弱有所不同,这是它们形成时的气候差异决定的。

上述观察到的风化壳均出现在 0.78~0 MaBP 间布容期黄土地层中,这三层风化壳的年代相当于黄土高原 S₁、S₄ 和 S₅ 的年代,对其年代各位学者有不同的推算结果。

S₁ 风化壳发育在距今 12.8~7.5 万年之间^[8,9],S₄ 风化壳发育在距今 42.0~36.5 万年之间^[8,9],S₅ 风化壳发育在距今 58.0~47.0 万年之间^[8,9]。

1.2 风化壳的宏观分层

通常认为,风化壳是残积层的组合。在关中地区,第 1、4、5 层古土壤与其下风化黄土构成的风化剖面相当清楚,具风化壳的分层特征。在西安东郊刘家坡剖面, S₁ 古土壤与风化黄土构成的风化壳由 3 层组成(图 1A),从上向下第 1 层为红褐色古土壤,棱柱状结构,铁质胶膜发育,厚 1.8 m。第 2 层为褐黄色风化黄土,团粒结构,大孔隙发育,风化裂隙密集,含少量铁质胶膜,土体破碎成 10~30 cm 块状,厚 0.5 m。第 3 层为棕黄色风化黄土,无铁质胶膜,风化裂隙发育,土体破碎成 20~40 cm 的块状,厚 1.6 m。S₄ 古土壤与其下风化破碎黄土构成的风化壳(图 1B)与上述风化壳剖面类似,差别仅在于第 2 层中黄土的风化破碎更强烈。S₅ 古土壤与风化黄土构成的风化壳由 4 层构成(图 1C),从上向下第 1 层为深红褐色古土壤,由 3 个分层构成(即 S₅¹、S₅²、S₅³),棱柱状结构,铁质胶膜很发育,厚 4.2 m。第 2 层为浅棕红色风化黄土,粒状结构,大孔隙发育,风化裂隙密集,裂隙交织成网状,土体破碎成 5~10 cm 大小的碎块状,裂隙处可见大量红色片状粘土胶膜,厚 0.5 m。第 3 层为褐黄色风化黄土,粒状结构,风化裂隙发育,含红色铁质胶膜,土体破碎成 10~30 cm 的块状,厚 0.8 m。第 4 层为棕黄色风化黄土,风化裂隙发育,土体破碎成 15~40 cm 的碎块,不含红色铁质胶膜,厚 0.8 m。黄土高原中部第 5 层风化壳剖面

① IGCP379 项目 陕西师范大学重点项目(SNU027) 国土资源部九·五重点科技项目(9501104) 国家自然科学基金项目(批准号 :40071006) 教育部重大项目(2000ZDXM770013) 研究成果

收稿日期 :1999-07-08 收修改稿日期 :2000-04-06

分层(图 1D)与西安第 1 层类似,但厚度较小。

从西安地区风化壳的剖面组成来看, S₅ 古土壤风化壳比 S₁ 和 S₄ 古土壤风化壳发育好,而 S₄ 古土壤风化壳又比 S₁ 发育好。宏观来看,风化壳发育强弱主要表现为风化层的颜色、裂隙、土体破碎特点差异,风化层越显黄褐色,裂隙越密集,土体越破碎,风化壳发育越强。

虽然过去没有确定黄土中风化壳的存在,但土壤学家已确定我国南方亚热带现代黄棕壤已发育成为风化壳(图 1E-G)^[10]。如将黄土中风化壳与南方现代黄棕壤及风化土层构成的风化壳相对比(图 1A-G),可知它们的剖面构成基本相同,差别仅在于黄土中古土壤风化壳的顶部有机质层已分解消失。

1.3 黄土中风化壳的微观特征与剖面分层

风化壳的微观分层可根据 CaCO₃ 含量、粘土含量以及磁化率变化来确定。46 块样品的测定显示,西安刘家坡 S₁、S₄、S₅ 古土壤风化壳中 CaCO₃ 含量一般小于 1%,在风化黄土底部的 CaCO₃ 结核层中 CaCO₃ 含量大于 35%,在结核层之下未受后期风化淋滤的黄土中 CaCO₃ 含量为 10% 左右(图 2)。前人分析表明,黄土中 10%~15% 左右的 CaCO₃ 为正常含量^[11]。风化黄土层中很低的 CaCO₃ 含量显然指示该层中的 CaCO₃ 受到了强烈淋滤。风化黄土层底部 CaCO₃ 淀积层中高的 CaCO₃ 含量指示 CaCO₃ 的沉淀积累和 CaCO₃ 迁移的深度^[12]。CaCO₃ 含量分析表明,黄土中风化壳剖面具有强烈淋溶的特征。

古土壤具有明显的粘化特征^[13,14],黄土层一般无粘化表现^[17],因此粘土含量对确定风化壳的剖面分层和对区别土壤与风化壳有重要作用。在西安刘家坡 S₁、S₄、S₅ 层古土壤风化壳中采集了 55 块样品进行颗粒分析,结果表明,古土壤中部小于 0.005 mm 的颗粒一般在 40%~60% 之间,风化黄土层中粘粒含量多在 40%~45% 之间,未受后期风化黄土层中略小于 40%(图 2),这一分析结果显示,风化破碎黄土中粘粒含量与未风化黄土相近,而与古土壤差别明显,证明野外确定的风化破碎黄土层具有黄土的特征,不属于古土壤的组成部分。

风化剖面的不同层次受到的风化、成壤强弱不同,其中铁磁性矿物含量及磁化率^[15]就存在明显差别,这种差别是鉴别土壤与风化黄土层的重要依据。西安刘家坡和南郊第 1、4、5 层风化壳剖面中 74 块样品的测定显示,古土壤层的磁化率多在 100~280(10⁻⁶SI)之间,风化黄土和未受风化黄土磁化率多在 60~100(10⁻⁶SI)之间(图 3),但前者比后者略大。这一测定结果显示,从古土壤层到风化黄土层再到未受风化黄

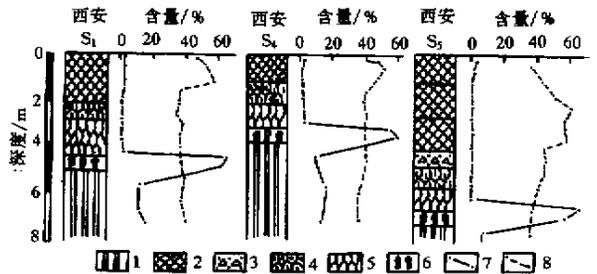


图 2 西安刘家坡黄土风化壳的 CaCO₃ 与粘粒含量

- 1. 离石黄土 2. 古土壤 3. 棕红色风化破碎黄土;
- 4. 含铁质胶膜的褐黄色风化破碎黄土 5. 不含铁质胶膜的棕黄色风化破碎黄土 6. CaCO₃ 结核层;
- 7. CaCO₃ 含量曲线 8. 粘粒含量曲线

Fig.2 Content of CaCO₃ and clay in residua at Liujiapo of Xi'an

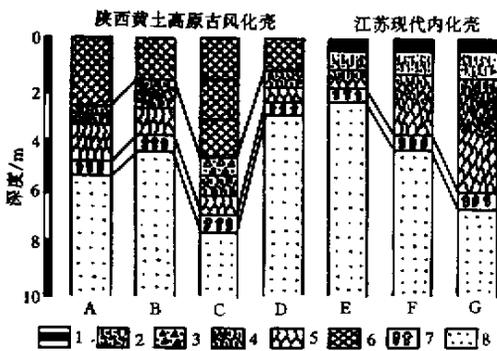


图 1 中国南北方风化壳对比

- 1. 有机质层 2. 黄棕壤粘化层 3. 棕红色风化破碎土层;
- 4. 含铁质胶膜的褐黄色风化破碎黄土 5. 不含铁质胶膜的棕黄色风化破碎土层 6. 古土壤 7. CaCO₃ 结核层 8. 母质层;

A、B、C 分别为西安刘家坡第 1、4、5 层风化壳;
D. 为陕西长武第 5 层古土壤下部分层风化壳;
E、F、G 分别为江苏泗洪、六合、句容现代风化壳

Fig.1 Correlation of residua between southern and northern China

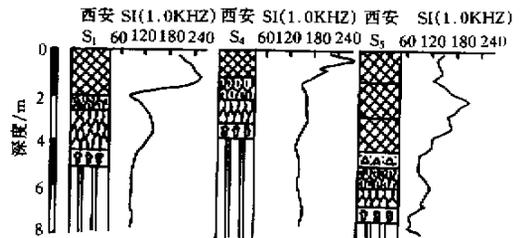


图 3 西安刘家坡黄土风化壳磁化率曲线(图例同图 2)

Fig.3 Curves of magnetic susceptibility of residua at Liujiapo of Xi'an

土层,磁化率呈现由高到低的变化,突变界线出现在古土壤与风化黄土层之间,这证实了风化破碎黄土层不是古土壤组成部分,也证实了黄土中风化壳具有明显的分层。

以上各项分析指标揭示,古土壤底部到 CaCO_3 结核层顶部之间厚 1.3~2.5 m 的土层具有黄土的特征,而与古土壤明显不同,它是超出成壤带深度范围的风化淋滤作用形成的破碎黄土,是风化壳中、下部的主要组成部分。风化黄土之所以具破碎状构造,主要是因为土体中 CaCO_3 被淋失之后体积收缩造成的。由此可见,古土壤之下风化破碎土层的存在是确定古土壤转变成为风化壳的主要依据。

2 黄土中风化壳的类型与形成环境

2.1 风化壳的类型

通常认为,自然界有五种风化壳类型,它们是碎屑风化壳、水云母—蒙脱石风化壳、高岭土风化壳、卤化物—硫酸盐风化壳和铁铝氧化物风化壳^[16]。风化壳的名称是根据风化壳上部富集的次生矿物成分或化学成分确定的。要确定黄土中风化壳的类型,就要确定风化壳上部在风化过程中形成、富集的产物。

我们通过大量野外工作,在 S_1 、 S_4 、 S_5 层古土壤中采集到了适于粘土矿物鉴定的胶膜样品。通过 6 块粘土胶膜样品和 3 块土体样品的 X—射线衍射(表 1)可知,这 3 层古土壤胶膜中的粘土矿物主要是蒙脱石,其次是伊利石和高岭石,其中蒙脱石含量一般占 30% 左右,伊利石占 10% 左右,高岭石占 5% 左右;土体中粘土矿物含量少,伊利石占 8% 左右,蒙脱石和高岭石含量很少(未检出)。胶膜中的粘土矿物成分与土体相差甚大,胶膜中以较高的蒙脱石含量和一定的高岭石含量为特征,土体中则以伊利石为特征。胶膜中高岭石

的出现值得重视,它是在风化过程晚期形成的,指示当时的风化作用较为强烈。粘土胶膜是在风化成壤过程中形成的,其矿物组成更能指示当时富集的产物。根据胶膜中的粘土矿物确定,西安地区 S_1 、 S_4 、 S_5 层古土壤与风化黄土构成的风化壳至少为伊利石—蒙脱石型。

2.2 黄土中风化壳形成时的环境

风化壳的形成环境可根据古土壤微结构,风化壳剖面中 CaCO_3 迁移深度来恢复。

CaCO_3 和 Fe_2O_3 迁移深度反映了当时的淋溶强度,与当时当地的降水量有关,因而能够指示降水量的多少。要用迁移深度可靠恢复降水量,就要消除古土壤发育过程中风尘堆积对迁移深度的影响以及古土壤复合对迁移深度的影响。为消除这种影响,我们选择 CaCO_3 迁出古土壤层的距离作为恢复降水量的依据,也就是以古土壤粘化层下界到 CaCO_3 结核层上界之间的垂直距离作为依据。由于 Fe_2O_3 在其淀积的下界之上是连续分布的,我们以粘化层下界到 Fe_2O_3 淀积下界之间的垂直距离作为恢复降水量的依据。对于由 3 层古土壤构成的第 5 层古土壤,首先找出各层的淀积产物,然后分别测定各层的迁移距离。由于受风尘堆积的影响,所选定的迁移深度略小于实际迁移的距离,据此获得的降水量也略小于实际降水量,但结果是可靠的。

通过测定得知,第 1、4、5 层古土壤 CaCO_3 迁出土壤层的深度明显大于同一地区现代土壤 CaCO_3 迁出土壤层的深度,而与北亚热带黄棕壤同类成分迁移的深度(表 2)相近。在江苏泗洪地区亚热带黄棕壤 CaCO_3 迁出土壤层的距离为 0.6 m,向南到降水较多的六合地区为 3.0 m^[10]。关中地区第 1、4、5 层古土壤中 CaCO_3 迁出土壤层的距离分别为 2.2、1.3 和

表 1 西安刘家坡第 1、4、5 层古土壤粘土胶膜与土体矿物成分(%)

Table 1 Mineral composition of clay film in 1st, 4th and 5th paleosol and soil body at Liujiapo of Xi'an

古土壤层	样品种类	样品号	蒙脱石	高岭石	伊利石	石英	斜长石	绿泥石	非晶质	其它
第 1 层古土壤	土体	S1N-1	-	-	5	50	30	15	-	-
	红色粘土胶膜	S1R-1	18	4	10	28	20	-	14	6
第 4 层古土壤	红色粘土胶膜	S4R-1	28	8	9	25	8	-	22	-
第 5 层古土壤	黑褐色粘土胶膜	S5B-1	28	9	7	25	8	-	19	2
	黑褐色粘土胶膜	S5B-2	46	3	17	19	7	-	8	4
	红色粘土胶膜	S5R-1	27	4	14	27	11	-	15	-
	红色粘土胶膜	S5R-2	31	8	17	21	7	-	16	-

表 2 不同土壤 CaCO₃ 迁移深度和降水量

Table 2 Migrated depth of CaCO₃ in different soils and reciptation

地 点	西安刘家坡			江苏泗洪	江苏六合	关中地区
土壤层	S ₁	S ₄	S ₅	现代黄棕壤	现代黄棕壤	现代褐土
CaCO ₃ 迁出土壤层的距离/m	2.2	1.3	2.5	0.6	3.0	0.0
年均降水量/mm	1 000 ±	950 ±	1 000 ±	890	1 050	610

注 :CaCO₃ 迁出土壤层的距离是土壤粘化层下界到 CaCO₃ 结核淀积层上界之间的垂直距离 ; 古土壤发育时的年均降水量是据该表中现代黄棕壤发育的降水量推断的。

表 3 西安刘家坡古土壤中粘土胶膜含量与特征

Table 3 Content and characteristics of clay film in paleosols at Liujiapo of Xi'an

项目 地点层位	样品数	光性粘土胶膜含量	光性粘土胶膜存形式
西安 S ₁	3	上、下部 2% ~ 5% , 中部约 10%	流胶状为主 , 中部有少量新月形块状
西安 S ₄	3	上、下部 3% ~ 5% , 中部约 20%	上、下部为流胶状 , 中部主要为新月形块状
西安 S ₅	9	各分层上部约 5% , 中部 ~ 25%	上部为流胶状 , 中、下部主要为新月形块状

2.5 m(表 2)。根据现代亚热带黄棕壤发育区的降水量(表 2)和古土壤与现代黄棕壤的 CaCO₃ 迁出土壤层的距离(表 2)的对比,可确定西安刘家坡第 1、4、5 层风化壳发育时的年均降水量在 950 ~ 1 000 mm 之间。

红色粘土胶膜是富含 Fe₂O₃ 的铁质胶膜,它分布的深度不仅能指示 Fe₂O₃ 迁移的距离,而且还具有指示风化壳发育气候和酸性环境的重要作用^[10,17]。第 1、4、5 层风化壳中 Fe₂O₃ 迁出土壤层的距离分别为 0.5、0.8 和 1.5 m,也与北亚热带黄棕壤 Fe₂O₃ 迁出土壤层的距离相近,表明这 3 层风化壳发育时的气候与北亚热带相近。特别是第 4、第 5 层风化壳中下部风化黄土中的铁质胶膜非常发育,比亚热带北缘的黄棕壤中、下部土层风化更强,这两层风化壳发育时的温度要比亚热带北缘高,降水多。明显迁出了古土壤层的 Fe₂O₃ 还表明当时风化壳上部具酸性介质特征。

为恢复风化壳发育时的气候,我们在西安刘家坡第 1、4 层古土壤中分别采取了 3 块样品,在第 5 层古土壤中采集了 9 块样品进行微结构鉴定。镜下统计与鉴定表明,古土壤微结构的突出特点是含大量深棕红色光性粘土胶膜,含量变化在 2% ~ 25% 之间,以土壤层中部含量为高,上、下部减少(表 3);粘土胶膜存在的形式以新月形块状和不规则块状为主,其次为流胶状,结构类型为粒状基底胶结结构。据现代土壤的研究,发育好的块状光性粘土胶膜是淋溶淀积形成的,是森林土壤的特征^[17]。发育好的光性粘土胶膜的特点是呈块状,厚度与面积较大,光性均一,含量在 3% 以

上^[17]。研究资料还表明,呈深棕红色的粘土胶膜发育在亚热带条件下^[18]。根据第 1、4、5 层古土壤中粘土胶膜的含量、存在形式及颜色推断这 3 层风化壳发育在湿热的亚热带气候条件下。

3 讨论

风化壳是在土壤发育的基础上形成的,怎样区别土壤与风化壳呢?以下四方面可作为区分两者的依据。一是剖面构成不同。风化壳上部的古土壤中的有机质层已分解,CaCO₃ 淀积层已迁出古土壤层,其剖面仅由一层构成。而风化壳除了上部的古土壤层之外,中下部还有 2 ~ 3 层风化破碎黄土层。粘土含量和磁化率大小差异是判断土壤与风化壳剖面构成不同的重要依据。二是厚度不同。古土壤单层厚度一般为 1.2 m 左右,而风化壳的厚度一般在 2.5 ~ 6.0 m 之间。三是颜色与结构不同。古土壤呈红褐色,棱柱状结构,而风化壳还包括棕黄、褐黄色、粒状及团粒状结构的风化破碎黄土。四是形成因素不同。古土壤形成不可缺少的因素是生物,而风化壳中、下部的形成可以没有生物的作用。

风化壳的研究不仅能使我们认识到黄土中的特殊地质现象,而且对认识古土壤类型、对完善风化壳形成理论等有重要意义。通常认为,黄土中的裂隙是黄土发育时形成的同生裂隙,而风化壳中、下部密集裂隙的存在表明黄土中有些裂隙是后期淋滤形成的。淋滤裂隙的形成主要与以下两个因素有关。一是土体中

10%左右的 CaCO_3 被淋失,同时土体发生收缩,形成裂隙。二是土体受机械淋滤作用,部分土粒向下迁移,形成或扩大了土体裂隙。一般认为,风化壳的形成需要数十万年以上的漫长过程^[19],而黄土中古土壤发育过程仅 5~10 万年左右就已转变成成为风化壳,这表明在细粒松散层上发育的风化壳不需很长的时间过程便可以形成。过去研究认为黄土高原东南部古土壤剖面中包括了指示碱性环境的 CaCO_3 淀积层^[3,20],而古土壤粘化层之下风化破碎黄土的存在证明古土壤之下的 CaCO_3 结核层明显脱离了土壤剖面,古土壤具有中酸性特征。

4 结论

综上所述,我们可以得出以下认识。

(1) 关中地区黄土剖面中第 1、4、5 层古土壤已转变成成为风化壳,其剖面是由上部的古土壤和中下部的 2~3 个风化破碎黄土层构成的,其类型为伊利石—蒙脱石风化壳。

(2) 第 1、4、5 层古土壤底部之下风化破碎黄土中的密集裂隙是风化壳发育过程中形成的,它指示当时的风化淋滤作用较为强烈,风化作用影响的深度比现今明显大。

(3) 在细粒松散层上形成的风化壳不需漫长的时间过程,在降水较丰富的条件下,在 5 万年的时间内便可形成风化壳。

(4) 西安附近第 1、4、5 层古土壤与风化破碎黄土构成的风化壳发育在年均降水量 900~1 000 mm 的北亚热带气候条件下,这表明风化壳是黄土高原降水较丰富的气候事件的显示。

(5) 风化壳上部高岭石的出现,风化黄土层中红色铁质胶膜的出现以及明显迁出了古土壤层的 CaCO_3 结核层的发育均指示风化壳上部古土壤发育晚期出现了中酸性环境,西安第 1、4、5 层古土壤具有淋溶性森林土壤特征。

(6) 长武第 5 层风化壳的发育表明当时气候带发生了较大幅度的迁移,那时亚热带气候至少迁移到

了黄土高原中部地区。

参 考 文 献

- 王永焱,林在贵.中国黄土微结构特征及物理力学性质[M].北京:科学出版社,1990.150~170
- 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.277~300
- 唐克丽.武功黄土沉积在埋藏古土壤微形态及其发生学[J].科学通报,1981,26(3):177~179
- 朱显谟,祝一志.论黄土高原土壤与环境[J].土壤学报,1992,29(4):351~357
- Kukla G J. Loess stratigraphy in Central China[J]. Quaternary Science Review, 1987, 6:191~219
- 安芷生,魏兰英,卢演涛.洛川黄土剖面土壤地质层初步研究[J].中国第四纪研究,1985,1(1):166~174
- Kukla G J. Loess stratigraphy of central Europe[A]. In: Butzer K W, Isaac G L, eds. After the Australopithecines[C]. Mouton: the Hague, 1975.99~188
- Kukla G J, Heller F, Liu X M et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility[J]. Geology, 1988, 16:811~814
- Ding Z L, Yu Z W, Rutter N. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposit[J]. Quaternary Science Review, 1994, 13:39~70
- 中国科学院南京土壤研究所.中国土壤[M].北京:科学出版社,1980.521~530
- 卢演涛.黄土地层 CaCO_3 含量与更新世气候旋回[J].地质科学,1981(2):122~131
- 赵景波.黄土中古土壤 CaCO_3 淀积深度研究[J].科学通报,1991,36(18):1397~1400
- 郭正堂, Fedoroff N. 西峰和西安黄土中盐碱化古土壤气候意义的初步探讨[J].第四纪研究,1992(2):107~117
- 赵景波.西安附近第 1、第 5 层古土壤研究[J].地理研究,1992,10(4):51~58
- Barbara. A Maher. Paleorainfall reconstructions from pedogenic magnetic susceptibility variation in the Chinese loess and paleosols[J]. Quaternary Research, 1995, 44(3):383~391
- 武汉地质学院地球化学教研室.地球化学[M].北京:地质出版社,1979.305~320
- 曹升庚.土壤微形态及其在土壤发生、分类研究中的应用[R].土壤专报,1980,37:25~50
- Fedoroff N, Bresson L M, Courty M A. Soil Micromorphology[M]. AFES, Palaisir, French, 1987.213~220
- 杜恒俭,曹伯勋,陈华慧.地貌学与第四纪地质学[M].北京:地质出版社,1978.80~84
- 朱显谟,程文礼.中国黄土高原古土壤粘粒移动问题探讨[J].土壤学报,1994,35(4):371~375

Residua in Loess of China

ZHAO Jing-bo^{1 2} HUANG Chun-chang¹ YUE Ying-li¹

(Geography of Shaanxi Normal Univeristy ,Xi 'an 710062)

(State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology ,Instiute of Earth Environment , CAS ,Xi 'an 710054)

Abstract

According to the field survey formed before 0.7 Ma , and laboratory analyses , the residua of 3 periods are indentified in the section of loess which are composed of 1st, 4th and 5th layer redbrown paleosols and the weathered loess layers under them. They mainly developed in the south-east Loess Plateau and also exist in the middle of the Loess Plateau. The thickness of residua almost varies from 3 to 6 m and normally consist of 3 to 4 layers. From top to bottom , 1st layer is red-brown paleosols , 2nd layer is brown-red weathered broken loess , 3rd layer is brown-yellow weathered broken loess with ferruginous film , the 4th layer is brown-yellow weathered broken loess without ferruginous film. The apparent difference between residua and paleosol is that the thickness of the former is bigger than the latter , and that there are 2 to 3 layers weathered loess more in residua than in paleosols. The macroscopic feature of weathered loess is the deeper color , more weathering cracks and broken soil body .

Particle size analysis revealed that component of clay particle in palesols varies from 40% to 60% , and im weathered loess varies from 40% to 45% . Magnetic susceptibility in paleosol generally varies from 100 to 280 (10^{-6} SI) , and in weathered loess varies from 60 to 100 (10^{-6} SI). The CaCO_3 content in weathered loess is mainly less than 1% , and unweathered loess is usually above 8% . This shows that weathered and unweathered loess layer are apparently different .

The X-ray diffraction of six clay film samples reveals that the clay mineral in residua is mainly montmorillonite , secondly is illite and kaolinite . So we can determine that the residua in loess is montmorillonite-illite types. The survey in the migrated depth of red ferruginous clay film and CaCO_3 nodules indicate that the paleosol which converted into residuum developed strongly , CaCO_3 and Fe_2O_3 in them obviously migrated out of the paleosol layer . The illuvial layer of CaCO_3 nodules is not at the bottom of paleosol , it lies in the weathered loess which is under the paleosol bottom 1 to 2 meters .

Through the contrast , the components of weathering section of the paleosols in loess and modern sub-tropical Yellow-brown Earth are primarily same , it developed more strongly than north sub-tropical residua. CaCO_3 and Fe_2O_3 migrated depth and microstructure identification indicate that CaCO_3 illuvial layer in the 1st , 4th and 5th paleosols don 't belong to component part of paleosol section , and acid medium occurred during middle and late period developing these 3 paleosols which are leached forest soil. The annual mean temperature was about 17°C when the 1st , 4th and 5th residuum developed in Xi 'an area , and annual mean precipitation was 900 to 1 000mm , it is 4°C higher than nowday 's annual mean temperature , and 300 to 400 mm more than nowday 's annual mean precipitation. The development of residua in loess indicates that the climatic zone migrated greatly at that time , and the sub-tropical climate migrated at least to the middle of Loess Plateau .

Key words weathered deep loess residua rain events leached soil subtropical climate