

文章编号: 0375-5444 (2001) 03-0323-09

陕西黄土高原 500 ka BP 的 古土壤与气候带迁移

赵景波

(陕西师范大学地理系, 西安 710062)

摘要: 根据野外调查和室内分析, 确定了长武和西安地区第 5 层古土壤的 CaCO_3 和 Fe_2O_3 已迁出了古土壤, 该层古土壤为酸性淋溶土壤。长武和西安第 5 层古土壤剖面构型分别为 $\text{B}_{ts}\text{-C}_s\text{-Cl-Bk-C}$ 型和 $\text{B}_{ts}\text{-Cf-C}_s\text{-Cl-Bk-C}$ 型。该层古土壤底部之下发育了有 Fe_2O_3 淀积的深部风化层, 表明当时风化作用至少已开始进入铁铝氧化物迁移的化学风化中期阶段。 Fe_2O_3 、 CaCO_3 迁移特征、孢粉、粘土矿物和深部风化层等 6 项指标显示距今 500 ka BP 前后亚热带气候迁移到了黄土高原中部, 当时年均降水量显著增加。在比今明显温暖的典型间冰期, 秦岭已失去温带与亚热带分界线的作用, 当时黄土高原生态环境大为好转。

关键词: 黄土高原; 古土壤性质; 化学成分迁移; 深部风化层; 气候带迁移

中图分类号: P467; 524.61 **文献标识码:** A

中国黄土地层的突出特点之一是古土壤发育。在地层完整的黄土剖面中, 常可见到 30 余层红色古土壤^[1,2]。在这些古土壤中, 以 500 ka BP 前后形成的^[3~5]第 5 层古土壤 (S_5) 发育最好, 并由 3 层构成。人们在 20 世纪 60 年代就对黄土中的古土壤进行了研究, 现已认识到洛川 S_5 为棕褐土^[6], 关中地区该层古土壤为棕色土^[7]。虽然过去对黄土中的古土壤进行了卓有成效的研究, 但仍存在一些有待解决的问题, 如古土壤性质、剖面构型、深部风化、铁铝氧化物的迁移等。本文采用了多种研究方法, 探讨黄土高原中部和南部 S_5 的土壤类型、风化剖面特征及气候带迁移问题。

1 西安与长武第 5 层古土壤剖面分层

不同气候环境下发育的古土壤发生层和风化剖面有明显不同, 它是鉴别土壤性质和古环境的重要依据。宏观可识别的分层是土壤性质与环境发生较大变化的反映。

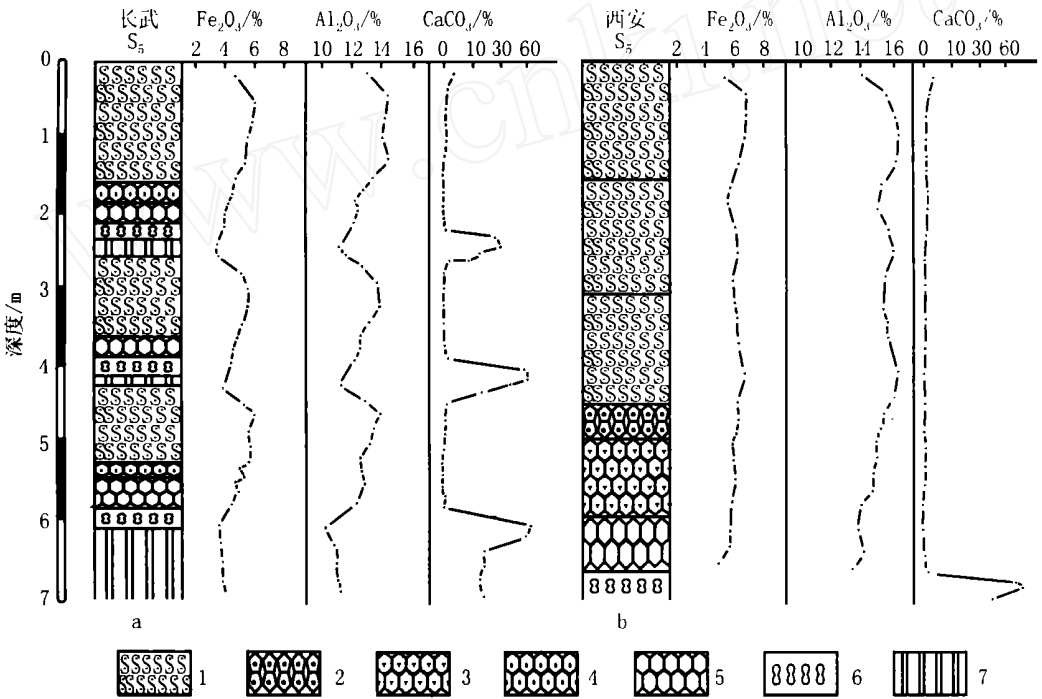
收稿日期: 2000-05-06; 修订日期: 2000-12-16

基金项目: 国际地质对比计划项目 (IGCP379), 陕西师范大学重点项目 (SNU 27) 和国土资源部重点项目 (9501104) [Foundation Item: International Geological Correlation Program, No. IGCP 379, key project of Shaanxi Normal University, No. SNU 27 and the key project of Ministry of Land and Resources, No. 9501104]

作者简介: 赵景波 (1953-), 男, 山东滕州人, 教授, 博士, 从事自然地理研究, 发表论文 60 余篇
E-mail: Lhy@snnu.edu.cn

1.1 长武第 5 层古土壤风化剖面的宏观分层

实地调查得知, 长武地区 S_5 具有相似的风化剖面特征, 通常由 3~ 4 层组成 (图 1a, 2a)。从上向下第 1 层是红褐色具棱柱状结构的粘化层 (Bts), 由 3 个分层构成, 各分层厚约 1.5 m。第 2 层是含红色铁质胶膜具淋滤裂隙的褐黄色黄土层 (Cs), 厚 0.25m 左右。第 3 层是不具红色铁质胶膜的淋溶黄土层 (Cl), 厚约 0.35 m。第 4 层是 $CaCO_3$ 淀积层 (Bk), 厚 0.2 m 左右。第 5 层是原生黄土层 (C)。在这 3 个古土壤分层中, 上、下部分层的发育比中部分层好, 表现为前两者 $CaCO_3$ 淀积层迁移深度比后者大, 红色铁质胶膜比后者发育好。

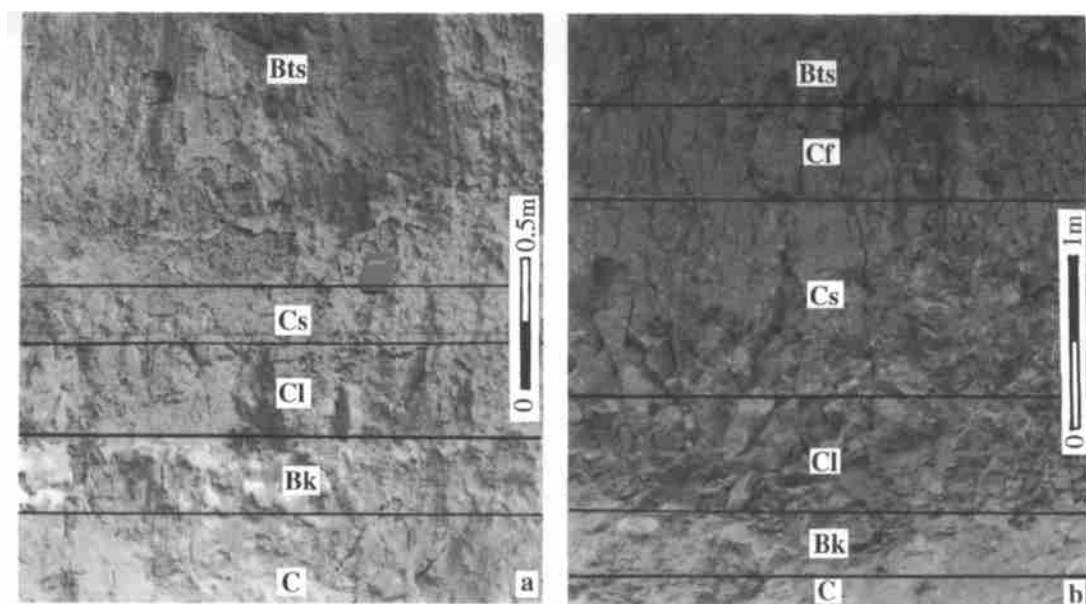


- 1. 古土壤粘化层; 2. 浅棕红色含铁质结核的风化黄土层; 3. 含铁质胶膜及铁质结核的褐黄色风化黄土层;
- 4. 含铁质胶膜的棕黄色风化黄土层; 5. 不含铁质胶膜的棕黄色风化黄土层; 6. $CaCO_3$ 结核层; 7. 离石黄土;

图 1 黄土中第 5 层古土壤风化剖面与化学成分含量变化 (%)

Fig. 1 The weathered sections of 5th paleosol in loess and the content change of chemical composition (%)

据上述划分, 该层古土壤风化剖面分层有 3 大特点: 一是 $CaCO_3$ 结核淀积层脱离了古土壤层, 迁移到了深部的黄土母质中; 二是古土壤粘化层底部之下有风化淋滤黄土层发育; 三是古土壤底部之下的母质中有指示 Fe_2O_3 迁出了古土壤层的红色胶膜淀积 (图 1a, 2a)。这 3 大特点告诉我们该层古土壤的 $CaCO_3$ 淀积层已不属土壤剖面构成部分, 具有 Fe_2O_3 明显迁移的酸性特征, 土壤发育强度不低于棕色土。据风化剖面分层特征, 可确定上下部分层的剖面构型为 Bts (或 Bt) —Cs—Cl—Bk—C 型, 中部分层缺少 Cs 层。虽然 Cs、Cl、Bk、C 不属土壤剖面的构成部分, 但识别和分出它们对确定土壤性质、风化成壤作用强度与深度意义重大。



Bts. 第 5 层古土壤下部分层; Cf. 浅棕红色含铁质结核的风化黄土层; Cs. 含铁质胶膜的褐黄色风化黄土层;
Cl. 不含铁质胶膜的棕黄色风化黄土层; Bk. CaCO_3 结核淀积层; C. 黄土母质层;

图 2 长武与西安第 5 层古土壤风化剖面

Fig. 2 The weathered sections of 5th paleosol in Changwu and Xi'an

1.2 西安刘家坡第 5 层古土壤风化剖面宏观分层

作者曾对西安地区古土壤进行过初步研究^[8], 本次观察、划分又取得了多项新认识。西安位于黄土高原南部, 由于风化强度较大, S_5 的 3 个分层连成一体 (图 1b, 2b), 整个风化剖面可分为 5 层。从上向下第 1 层是 3 个深红褐色、棱柱状结构和铁质胶膜很发育的古土壤粘化层 (Bts), 厚 4.5 m。第 2 层是浅棕红色具黄土的均质结构的风化黄土层 (Cf), 含来自上覆粘化层中的红色胶膜和 1~2 mm 大小的铁质结核, 厚 0.5 m。第 3 层是含大量红色铁质胶膜及个别铁质结核的褐黄色风化淋滤黄土层 (Cs), 厚约 1.2 m。第 4 层是不含铁质胶膜的风化淋滤黄土层 (Cl), 厚约 0.6 m。第 5 层是 CaCO_3 结核淀积层 (Bk), 厚 0.2 m 或更大。第 6 层是原生黄土母质层 (C)。经本次仔细观察, 取得了 3 项重要新进展。一是从含铁质胶膜风化黄土中识别出了具黄土结构的浅棕红色风化黄土层 (Cf)。二是在 Cf、Cs 层中发现了过去在黄土中未见报导的指示铁铝氧化物强烈迁移和聚集的铁质结核。三是进一步认识到 Cs 层厚度更大。西安 S_5 风化剖面与长武剖面虽有相似之处, 但差别还是很大的。西安 S_5 风化剖面除具有长武剖面的 3 个明显特点之外, 还增加了指示高温氧化作用加强的深部氧化层 (Cf) 和指示 Fe_2O_3 显著迁移和聚集的铁质结核这两大特点。据作者调查, 在南方北亚热带北部泗洪、汉中、武汉的黄棕壤中, 不见深部氧化铁的淀积, 在北亚热带中南部的南京则有显示, 因而深部氧化层 (Cf) 具有可靠指示亚热带土壤与气候的特殊作用。据以上分层, 可确定 S_5 剖面构型为 Bts—Cf—Cs—Cl—Bk—C 型。同样, 西安 S_5 除 Bts 层外, 其余不属古土壤组成部分。

2 第 5 层古土壤的化学成分与粘土成分及迁移特征

为查明化学成分迁移特征,我们在长武、西安 S₅ 风化剖面中以 15cm 左右的间距进行了加密取样,并对 65 块样品进行了 CaCO₃ 测定,对 62 块样品进行 Fe₂O₃、Al₂O₃ 分析和磁化率测定(表 1,图 1)。

表 1 第 5 层古土壤风化剖面中的化学成分和磁化率

Tab. 1 The chemical composition and magnetic susceptibility in weathered section of 5th paleosol

地点	层位	样品数	Fe ₂ O ₃ /%		Al ₂ O ₃ /%		磁化率/10 ⁻⁶ SI	
			范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
西安刘家坡	古土壤粘化层	15	5.12~ 6.74	6.18	13.2~ 15.81	15.58	107.1~ 212.4	164.6
	棕红色风化黄土层	3	5.43~ 6.28	5.72	14.43~ 15.32	14.75	113.4~ 72.8	93.2
	含铁质胶膜风化黄土层	4	5.38~ 6.07	5.42	14.07~ 14.56	14.23	116.3~ 68.7	84.5
	不含铁质胶膜风化黄土层	4	5.10~ 5.41	5.21	13.72~ 14.18	13.88	64.5~ 94.2	79.4
	未风化黄土母质层	5	4.68~ 5.14	4.86	12.61~ 14.03	13.32	32.1~ 98.7	57.8
长武鸭儿沟	古土壤粘化层	16	4.43~ 5.78	5.36	12.64~ 14.12	13.41	72.4~ 208.8	146.2
	含铁质胶膜风化黄土层	5	4.48~ 4.85	4.78	11.81~ 12.69	12.37	58.8~ 81.6	62.3
	不含铁质胶膜风化黄土层	6	4.41~ 4.77	4.54	11.86~ 12.27	12.04	47.3~ 63.4	51.9
	未风化黄土母质层	4	3.81~ 4.06	3.92	10.86~ 11.47	11.01	17.5~ 36.9	27.6

CaCO₃ 测定表明,长武、西安 S₅ 粘化层中 CaCO₃ 含量很低,除顶部含量为 1%~ 2.2% 之外,其它含量一般小于 0.5%;风化淋滤黄土层中 CaCO₃ 含量与粘化层基本相同,一般为 0.5% 左右;结核淀积层中 CaCO₃ 含量很高,通常大于 40%;原生黄土层中 CaCO₃ 含量一般在 8%~ 16% 之间(图 1)。风化剖面中 CaCO₃ 含量变化显示,S₅ 各分层的 CaCO₃ 均迁出了古土壤层,CaCO₃ 淀积层已不属土壤剖面的组成部分。

据长武鸭儿沟 S₅ 风化剖面中 31 块样品的分析(表 1,图 1a),该层古土壤粘化层中 Fe₂O₃、Al₂O₃ 含量分别为 4.43%~ 5.78% 和 12.64%~ 14.12% 之间,这 2 种成分在各分层中从上向下亦呈现由低变高再略变低的规律。从化学成分的含量变化来看,该层古土壤 3 个分层的铁铝氧化物有一定富集。在这 3 个分层中,铁铝氧化物富集量略有差别,其中上、下部分层的富集量比中部分层高,指示上下部分层发育强度比中部分层大。在粘化层和各风化黄土层中,Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 含量高低(表 1)存在差别,指示各层风化强弱有所不同。由于各层铁铝氧化物富集量不大,还不能由此断定 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 发生了迁移。然而红色铁质胶膜的分布层位证实 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 迁出了古土壤层,这一资料对判断铁铝氧化物的迁移强弱很有启示意义。如按通常根据土壤剖面中铁铝氧化物含量高低或富集量来判断其迁移强弱,那么长武 S₅ 层内 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 迁移是不明显的,这也是过去认为黄土高原中部古土壤未达到 Fe₂O₃ 迁移阶段^[9]的原因。但如根据作者提出的迁移深度指标^[8,10]来确定迁移的强弱,可以得出长武 S₅ 中的 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 不但发生了迁移,而且迁出了古土壤层,并



在下伏黄土中发生了淀积(图 1a, 2a)。由此可见, 在确定铁铝氧化物是否发生了迁移和迁移强弱时, 将含量分析与迁移深度的方法相结合是很有效的。因为风化成壤过程中产生的游离 Fe_2O_3 是以胶体形式出现的, 所以据红色铁质胶膜和铁质结核迁移深度判定 Fe_2O_3 迁移强弱是可靠的。

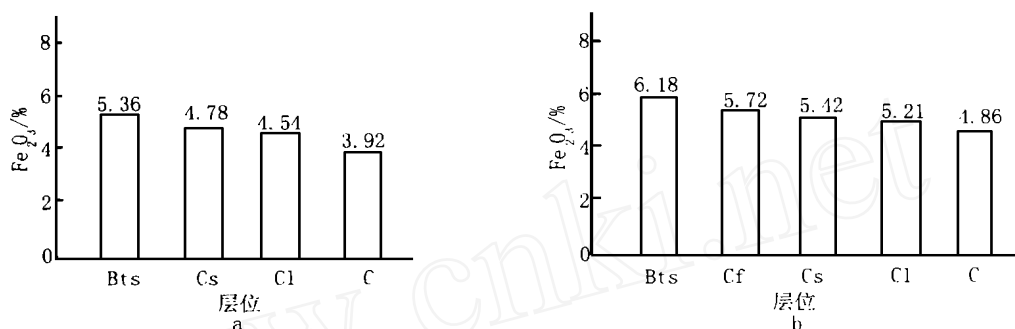


图 3 第 5 层古土壤风化剖面中各层位 Fe_2O_3 含量差异 (层位代号同图 2)

Fig. 3 The content difference of Fe_2O_3 among layers in weathered section of 5th paleosol

a. 长武鸭儿沟剖面; b. 西安刘家坡剖面;

从西安刘家坡 31 块样品的分析得知, 该层古土壤粘化层 Fe_2O_3 与 Al_2O_3 含量分别为 5.12% ~ 6.74% 和 13.62% ~ 15.81%; 这 2 种成分在各分层中从上部到下部呈现由低变高再略变低的规律(图 1b)。 Fe_2O_3 在古土壤粘化层顶部含量小于 6%, 中下部大于 6%, 中下部比顶部含量高 1% ~ 1.6%。 Al_2O_3 在古土壤顶部小于 14%, 中下部含量大于 15%, 中、下部比顶部高约 2%。古土壤粘化层中 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量差异应是它们发生了迁移和聚集的结果。在古土壤底部之下的风化淋滤黄土中, 各层位 Fe_2O_3 存在一定差别(表 1, 图 3b), 并呈现从上向下逐渐变小的规律。由于黄土母质化学成分均一, 而各风化黄土层 CaCO_3 含量都很低, 所以各风化黄土层 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 含量差异一是指示古土壤中这两种成分迁移到了风化黄土中, 二是指示风化黄土层中发生了化学风化作用。磁化率大小能反映风化成壤强弱, 西安刘家坡 S_5 各分层中磁化率均有不同(表 1), 指示各层所受风化作用存在差别。

铁铝氧化物是否发生了迁移对确定古土壤性质和风化阶段有重要作用, 它比 CaCO_3 的迁移有更明确的指示作用。铁铝氧化物的迁移发生在酸性介质中, 它们的明显迁移指示长武 S_5 是酸性的。 CaCO_3 的迁移是化学风化初期阶段的特征, 而 Fe_2O_3 与 Al_2O_3 的迁移则是风化中期阶段的特征。因此长武 S_5 发育时风化作用至少已开始进入化学风化的中期阶段。这也表明 500 ka BP 前后黄土高原的风化作用比现代明显强。为确定长武 S_5 发育强度, 我们对 S_5 粘土胶膜进行了 1 块样品的化学分析。结果表明胶膜中 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量分别为 10.26% 和 21.45%, 与南方黄棕壤铁质结核中这 2 种成分含量^[11]基本相同, 表明长武 S_5 具亚热带土壤特征。

根据 62 块样品的颗粒分析(图 4)得知, 长武 S_5 风化剖面粘粒含量在 32.8% ~ 41.8% 之间; 西安 S_5 风化剖面粘粒含量在 38.4% ~ 49.3% 之间, 从风化剖面上部到下部, 各分层粘粒含量减少, 但均比未风化黄土层(C)高; 在西安 S_5 风化剖面中, 各风化黄土层中的粘粒含量差异较长武明显。由于各风化黄土层中 CaCO_3 含量基本相同, 各层中粘粒含量的差异反映了风化剖面具有分层性, 这是风化黄土层发生了不同强度的化学风化和粘土化作

用的结果。

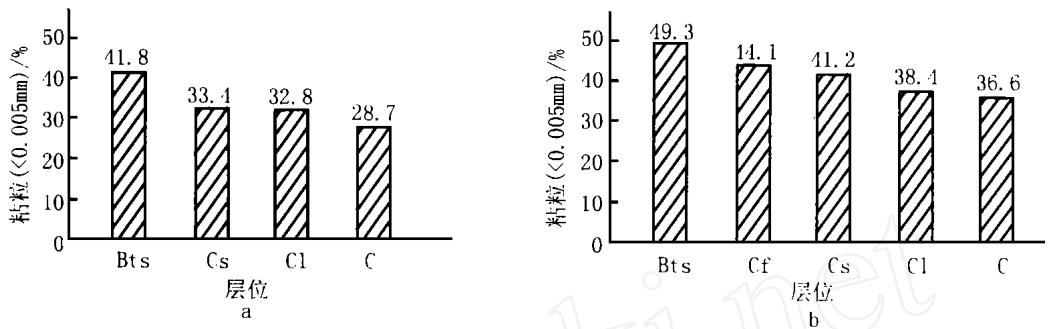


图 4 第 5 层古土壤风化剖面各层中粘粒 (< 0.005 mm) 含量变化 (层位代号同图 2)
a. 长武鸭儿沟剖面; b. 西安刘家坡剖面

Fig. 4 The content change of clay grains (< 0.005 mm) among layers
in weathered section of 5th paleosol

3 第 5 层古土壤中的粘土矿物和孢粉

为查明 S₅ 的性质，我们在西安刘家坡 S₅ 中用刀片削采集到了适于粘土矿物鉴定的粘粒胶膜样品。2 块样品的 X-射线衍射显示，粘粒胶膜中以蒙脱石为主，高岭石和伊利石次之，碎屑矿物含量少于粘土矿物（表 2）。南京下蜀黄土上发育的黄棕壤粘粒中粘土矿物是以风化初期形成的伊利石和蒙脱石为主，化学风化中期形成的高岭石含量少^[11]。西安 S₅ 粘粒胶膜中 8% ~ 9% 的高岭石的出现指示该层土壤发育时出现了酸性介质环境，具有南京下蜀黄土上发育的黄棕壤的特征。

表 2 西安刘家坡第 5 层古土壤粘粒胶膜矿物组成 (%)

Tab. 2 Mineral composition of clay film in 5th paleosol at Liujiaopo section in Xi'an								
样品类型	样号	蒙脱石	高岭石	伊利石	石英	长石	非晶质	其它
红褐色胶膜	S ₅ B-1	28	9	7	25	8	19	4
黑褐色胶膜	S ₅ B-2	31	8	17	21	7	16	0

为确定 S₅ 发育植被与气候条件，我们在长武 S₅ 各层中分别采集了 3 块样品进行孢粉分析。统计、鉴定表明，各层中每样孢粉含量在 146~ 328 粒之间，孢粉组合中草本花粉多于木本，草本花粉以蒿 (A rtem isia)、菊科 (Compositae)、藜科 (Chenopodiaceae) 为主，木本花粉以栎 (Quercus)、桤木 (Alnus)、胡桃 (Juglans)、榛 (Corylus) 为主，中上部分层中有少量枫香 (Liquidambar)、栲 (Castanopsis)、栗 (Castanea)、黄莲木 (Pistacia)、里白 (Gleichenia) 出现。枫香和栲是亚热带森林树种，黄莲木和栗也主要是亚热带乔木，里白则是亚热带蕨类，它们的出现指示当时植被与气候具亚热带特征。

4 500 ka BP 前后的气候带迁移

西安 S₅ 底部之下发育了有指示较高温度氧化作用的棕红色风化层及含大量铁质粘膜、铁质结核的褐黄色风化层, 表明当时温度与北亚热带中部相当。据研究, 呈深红色的粘土胶膜是亚热带土壤特征^[12, 13]。长武 S₅ 底部之下的黄土中也有红色铁质胶膜的淀积, 其迁移深度与江苏泗洪黄棕壤相同, 当时长武温度状况应与泗洪相近。古土壤发育的间冰期气候带是由南向北迁移的, 这是黄土中古土壤具有南方土壤特征的原因。泗洪比六合低约一个纬度, 西安比长武也低约一个纬度, 这是西安 S₅ 与六合黄棕壤类似, 长武 S₅ 与泗洪黄棕壤类似的原因。

根据风化剖面化学成分迁移特征可得出 500 ka BP 前后西安、长武的土壤和温度具亚热带的特征, 但这只反映了温带变成了亚热带这样的气候带变化, 严格来讲还不能证实气候带发生了迁移。因为土壤本身不具迁移性, 温度升高可以是气候带迁移造成的, 也可以是太阳辐射量普遍增加引起的, 所以仅把土壤和温度作为气候带迁移的指标是不具说服力的。下面我们分析降水量指标的作用。

据表 3 所列风化层厚度、CaCO₃ 与 Fe₂O₃ 迁移深度, 500 ka BP 前后长武地区年均降水量为 850~ 900 mm, 西安地区年均降水量为 1 100 mm 左右。由于风尘堆积对化学成分迁出土壤层的距离略有减小的作用, 所以确定的降水量是保守的数字。降水量是含水气较多的气团活动造成的, 它的明显增减必然伴随气团活动的较大变化。在黄土高原区, 降水量明显增加是夏季风降水气团频繁侵入黄土高原引起的, 这种气团的北侵加上温度的升高就是气候带的迁移。通过下面的分析, 可知气候带迁移的范围。

表 3 土壤底部之下的气候指标与年均降水量
Tab. 3 Climatic indexes under soil bottom and mean annual rainfall

地 点	长武鸭儿沟			西安刘家坡	江苏泗洪	江苏六合
层 位	S ₅ ¹	S ₅ ²	S ₅ ³	S ₅ ³	现代黄棕壤	现代黄棕壤
风化层厚度 (m)	0.3	0.2	0.6	2.1	0.3	1.8
CaCO ₃ 迁出距离 (m) a	0.4	0.3	0.7	2.4	0.4	1.9
Fe ₂ O ₃ 迁出距离 (m) b	0.2	0.0	0.2	1.7	0.2	1.4
年均降水量 (mm)	850	850	900	1 100	890	1 050

注: a 是土壤粘化层底界到 CaCO₃ 淀积层中部的距离, b 是土壤粘化层底界到红色铁质胶膜底界的距离。

从秦岭北侧的关中地区到长武地区, 年均降水量从 650 mm 降低到 600 mm, 降水量差异很小。在红色古土壤发育的间冰期气候带从南向北迁移时, 关中地区的气候迁移到长武地区不可能使该区产生 850 mm 左右的年降水量。而间冰期山区气候带是由低处向高处迁移的, 所以山区地形引起的较丰富的降水量也不会迁移到长武地区。那末长武 500 ka BP 前后 850 mm 左右降水的温湿气候应当是秦岭以南相当于泗洪地区纬度带的气候迁移到该地区的结果, 西安地区 500 ka BP 前后 1 100 mm 左右的降水量应相当于六合地区纬度带的气候迁移到该区的结果。据作者调查, 在比长武更靠北的洛川秦家寨 S₅ 底部之下有薄层风化黄土层发育, 而且风化黄土层中也有红色铁质胶膜分布, 可以确定当时气候带向北迁移了

2 个纬度以上, 那时秦岭已不具温带与亚热带气候分界线的作用。据作者研究, 西安地区距今 100 ka BP 前后发育的第 1 层古土壤形成时的年均降水量^[8]与 S_5 发育时基本相同。而 100 ka BP 以来秦岭上升高度很小, 表明在比今明显温暖的典型间冰期, 南方暖湿气团能频繁侵入黄土高原中部地区, 秦岭已失去温带与亚热带分界线的作用。

本文的研究工作得到刘东生院士的指导, 作者表示真诚的感谢!

参考文献 (References):

- [1] Zhao Jingbo. The cycles and periods of the Quaternary climate change[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1988, **10**(2): 117-124. (In Chinese) [赵景波. 第四纪气候变化的旋回和周期[J]. 冰川冻土, 1988, **10**(2): 117-124]
- [2] Ding Zhongli, Liu Dongsheng, Liu Xiuming, et al. 37 cycles since 2.5M a BP[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1989, **34**(19): 1494-1496 (In Chinese) [丁仲礼, 刘东生, 刘秀铭等. 250 ka BP 来的 37 个旋回[J]. 科学通报, 1989, **34**(19): 1494-1496]
- [3] Liu Dongsheng. Loess and Environment[M]. Beijing: Science Press, 1985, 350-351 (In Chinese) [刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985, 350-351]
- [4] Kukla G, Heller F, Liu XM, et al. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility [J]. *Geology*, 1988, **16**: 811-814
- [5] Ding Z-L, Yu ZW, Rutter N, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits[J]. *Quaternary Science Review*, 1994, **13**: 39-70
- [6] An Zhisheng, Wei Langying, Lu Yanchou. A primary study on soil stratigraphy in Luochuan loess section[J]. *Quaternary Sciences*, 1985, **6**(1): 166-174 (In Chinese) [安芷生, 魏兰英, 卢演筹. 洛川剖面中土壤地层学初步研究[J]. 中国第四纪研究, 1985, **6**(1): 166-174]
- [7] Tang Keli. A discussion about the microstructure of buried paleosols in loess deposit and its origin in Wugong [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1981, **26**(3): 177-179. (In Chinese) [唐克丽. 武功黄土沉积中埋藏古土壤微形态及其发生学探讨[J]. 科学通报, 1981, **26**(3): 177-179]
- [8] Zhao Jingbo. Illuvial depth of CaCO_3 of the paleosols in the loess of Guanzhong Plain[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1992, **37**(5): 403-407.
- [9] Chen Jun, Ji Junfeng, Qiu Gang et al. Geochemical study on weathering degree of loess in Luochuan of Shaanxi[J]. *Science in China, series D*, 1997, **27**(6): 531-536 (In Chinese) [陈骏, 季峻峰, 仇纲等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J]. 中国科学, D 辑, 1997, **27**(6): 531-536]
- [10] Zhao Jingbo. New geological theory about weathering and eluvial zone-illuvial theory on depth of CaCO_3 [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, **18**(1): 29-35 (In Chinese) [赵景波. 风化淋滤带地质新理论— CaCO_3 淀积深度理论[J]. 沉积学报, 2000, **18**(1): 29-35]
- [11] Nanjing Institute of Soils, C.A.S. Soils in China (M). Beijing: Science Press, 1980. 288-289 (In Chinese) [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, 288-289]
- [12] Fedoroff N, Goldberg P. Comparative micromorphology of two Late Pleistocene paleosols in the Paris Basin[J]. *Catena*, 1982, **9**: 227-251
- [13] Guo Zhengtang, Fedoroff N. Primary study on saline-alkali paleosol and its climatic significance in loess in Xifeng and Xi'an [J]. *Quaternary Sciences*, 1992, (2): 107-117. (In Chinese) [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]

The Paleosol and the Migration of Climatic Zone about 500 ka BP in Loess Plateau, Shaanxi Province

ZHAO Jing-bo

(Department of Geography, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: It is discovered through field investigations that the illuvium of CaCO_3 in the 5th layer of paleosol in Changwu and Xi'an does not get in touch with the bottom of clay grouting layer but lies in loess which is 0.5~2.3 m deep under the bottom of clay grouting layer, and the red ferruginous clay film also migrated to the mother loess. It is indicated that CaCO_3 and Fe_2O_3 migrated out of the paleosol, the paleosol has the character of acid elevation and at least the weathering had already been in the middle of the chemical weathering process at that time.

The weathered loess layer (Cs) with ferruginous film and weathered loess layer (Cl) without ferruginous film were discovered under the bottom of the 5th layer of paleosol in Changwu and Xi'an, and the light red-brown weathered loess layer (Cf) with ferruginous concretion was discovered under the bottom of 5th paleosol in Xi'an. Generally, the content of CaCO_3 is less than 0.5% in weathered loess layers, and the content of clay grains, Fe_2O_3 and Al_2O_3 is higher in weathered loess layers than in the unweathered loess layer, which indicates that each of the weathered loess layer had experienced chemical weathering to a certain extent. The material shows that the 5th layer of paleosol in Changwu and Xi'an has the character of subtropical soil and its profile construction is Bts-Cs-Cl-Bk-C in Changwu and is Bts-Cf-Cs-Bk-C in Xi'an. The content of smaltite takes 8%-9% in the clay film of the 5th layer of paleosol in Xi'an, the sporo-pollen of some subtropical Liquidambar and Castanopsis appear in the paleosol in Changwu, which points out that the 5th paleosol developed in subtropical climate.

Six indexes, removed depth of Fe_2O_3 and CaCO_3 , deep weathered loess layers and sporo-pollen and so on, indicate that the subtropical climate migrated to the middle area of Loess Plateau at about 500 ka BP, mean annual precipitation was 850~900 mm in Changwu area and was about 1100 mm in Xi'an area. According to the obvious increase of the precipitation at about 500 ka BP and 100 ka BP ascertained by the author, after eliminating the effect of the new tectogenesis, it can be drawn that in interglacials which was obviously warmer than today, Qinling Mountains was not the demarcation line between the South and North China and the ecological environment of the Loess Plateau was getting much better at the time.

Key words: Loess Plateau; character of paleosol; migration of chemical composition; deep weathered layers; migration of climatic zone