

# 第四纪黄土剖面多元古土壤 形成发育信息的揭示\*

唐克丽 贺秀斌

(中国科学院、水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,

陕西杨凌 712100)

**摘要** 以时间尺度 20 万年以来的洛川黄土剖面为研究对象。采用间隔 30~ 50 cm 的密集采样,通过土样的物理、化学、矿物组成和孢粉分析及土壤微形态镜鉴的综合研究,对第四纪生物气候环境演变提出了新的见解。对原以代表干冷环境沉积为主的黄土地层(L),揭示了内伏半干旱环境的演化及相应的土壤发育过程;对原以代表暖湿环境的红褐色古土壤层,揭示了内伏干旱、半干旱环境的演化及干旱与湿润型孢粉共存的矛盾实质。研究证示:深厚的黄土剖面是在第四纪生物—气候环境演变过程中,通过黄土沉积、成壤强弱交替演化,形成发育的由不同土壤类型组成的特殊的多元古土壤剖面体系。

**关键词** 黄土剖面,密集采样,多元古土壤,第四纪环境新信息

**中图分类号** S151、+3

黄土高原深厚的黄土剖面储存了 240 万年以来丰厚的地学—生物学信息,我国黄土研究的成就为世界所瞩目<sup>[1~3]</sup>。笔者在前人研究基础上,融合地质学、土壤学和生态学成就进一步揭示这些信息,对黄土剖面的土壤发育过程及第四纪环境演变,取得了一些新的认识。

80 年代初,我们根据古土壤分布特征,将古土壤划分为埋藏型、残积型及残余型三种类型。研究证示黄土剖面中古土壤条带均属埋藏型古土壤<sup>[4]</sup>。武功 土剖面中的红褐色粘化层属浅层埋藏型古土壤,其上部覆盖层除人为耕作施加的土粪外,主要是近三千年来的黄土沉积物。通过鉴别土壤中原生和次生碳酸盐及光性粘粒的微形态特征,恢复了古土壤成壤期的环境背景,首次提出黄土剖面中曾发育有森林型土壤的证示<sup>[5]</sup>;同时发现代表干冷气候的黄土层(L),也经历了一定的成壤过程,基本上属草原型土壤<sup>[5,6]</sup>。根据现代土壤侵蚀区域特点,探讨了第四纪地质时期黄土沉积、成壤和侵蚀的交替演变过程,揭示了黄土沉积(L)与古土壤(S)之间存在半干旱过渡型生物气候环境,地质时期侵蚀相对强烈期即发生在该过渡时期,由此分析推论深厚的黄土剖面储存有干旱—半干旱—半湿润—湿润的生物气候演替和渐变的信息,以及相应的土壤发育过程,但当时尚未提出足够的论证依据<sup>[7]</sup>。赵景波依据已划定的黄土(L)—古土壤(S)序列,分别确定了各个 L 层

\* 国家自然科学基金项目资助(编号 49474039 和 19832060)

收稿日期:2000-08-01;收到修改稿日期:2001-10-15

与S层的土壤类型,对于L层的判断限于冷干气候下发育的古土壤,且未涉及黄土剖面整体系统的发生学<sup>[8]</sup>。

基于以上研究的启示,为了与前人的工作进行比较,我们以众所周知的洛川黄土剖面为对象,进一步探讨黄土剖面整体系统的形成发育过程。以跨越全新世和中更新世共约20万年为时间尺度,在土层划分、土样采集、分析测定项目及研究内容方面,均有所改进和补充。

## 1 研究方法和研究内容

### 1.1 土层划分与土样的采集

依据黄土沉积、成壤的过程及黄土剖面的形成发育规律,黄土—古土壤序列的编号理应自早期到晚期,即自黄土剖面的下部到上部顺序编号,鉴于晚期发育的红褐色古土壤条带远较早期鲜明,故地质学家依黄土剖面自上而下顺序编号,例如 $S_0, L_1S_1, L_2S_2, \dots, L_nS_n$ ,已得到公认并被普遍采用<sup>[1]</sup>。在我们的研究中发现,该序号的时间概念为成壤在前,沉积在后,忽略了黄土沉积、成壤依存的发生学规律,不利于探求黄土剖面形成发育的实质,故作了修改。如图1所示,黄土—古土壤序列的编号自上而下依次改为 $L_x, S_0L_0, S_1L_1, S_2L_2, \dots, S_nL_n$ 。该序列特点反映了黄土沉积(L)与成壤(S)发生学的联系,同时从 $S_0$ 层中,揭示了近三千年来气候转向干旱进入新的黄土沉积过渡时期,新的黄土沉积层正在形成,厚约30~50 cm,其厚度正继续发展,为未知数,故定为 $L_x$ 。

为探求黄土剖面中黄土—古土壤序列反映的气候演变,研究者多按划分的各个L层与S层采集典型样品进行分析研究,其结果必然反映了两者截然分界突变性的特点。本研究为探求黄土沉积与成壤的演变过程,试图揭示黄土层(L)沉积过程中与成壤的关联,以及古土壤层(S)与黄土沉积的关联,特加密了土样的采集点。在常规采集6个土样( $S_0$ 至 $L_2$ )基础上,增至间隔30~50 cm的密集采样,共采集了39个土样。

### 1.2 研究内容和研究方法

(1) 年龄测定。选取4个代表性土层: $L_x, S_0, L_0, S_2$ 、应用 $^{14}C$ 和热释光法测定了年龄(西安黄土与第四纪地质国家重点实验室完成)

(2) 土壤物理、化学组成分析。对39个土样进行了土壤颗粒组成(吸管法),有机质(重铬酸钾法), $CaCO_3$ ( $CO_2$ 气体测定法),Ca、Mg、Fe、Al、Cu、Zn、Mn(原子吸收分光光度计法)含量的测定。

(3) 土壤矿物组成分析。对39个样品分别进行了角闪石类不稳定矿物(A),帘石类次稳定矿物(B)及不透明稳定矿物(C)共16种矿物含量的分析,进行了 $K_1$ 值(A/B)、 $K_2$ 值(A/C)及F值( $K_1 + K_2$ )的统计分析。

(4) 土壤微形态鉴定。将39个土样制备了原状土薄片,应用附有半自动图像分析仪的偏光显微镜,进行了土壤微结构、原生和次生碳酸盐、光性粘粒积聚和胶膜形态,以及生物活动轨迹的显微镜鉴定和部分定量统计分析。

(5) 孢粉分析。由长安大学(原西安工程大学)孙建中教授负责完成。他以洛川黑木沟古土壤层 $S_1$ 底面以上厚11.95 m深度范围内,以间距5~20 cm共采集了62个样品进行了孢粉分析,共检出约56个科属孢粉。

## 2 研究结果讨论

剖面中各土层的物理、化学及矿物组成分析结果共获得1209个数据,经综合分析,归

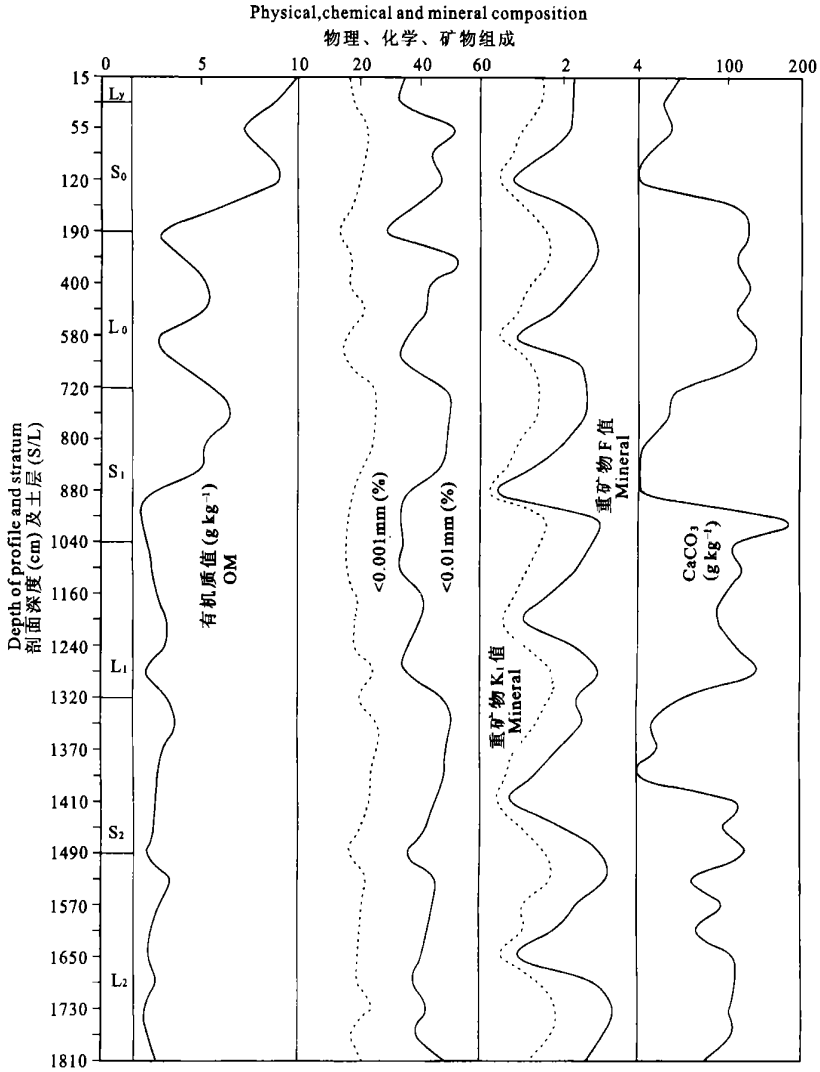


图 1 黄土剖面土壤物理、化学、矿物组成的演变

Fig. 1 Changes in physical, chemical and mineral composition across loess profile

纳列于图 1 和图 2。

剖面中代表土层的年龄测定基本上与前人的研究结果相符。应用<sup>14</sup>C 测得 L<sub>x</sub>(0~ 30 cm) 为 2760±180a. B. P, S<sub>0</sub>(50~ 90 cm) 为 6120±180a. B. P, 应用热释光测得 L<sub>0</sub>(310~ 400 cm) 为 49000±6000a. B. P, S<sub>2</sub>(1370~ 1390 cm) 为 211000±19000a. B. P。

在原定的黄土层(L) —古土壤层(S) 序列基础上, 通过密集采样的分析测定, 研究揭示了黄土剖面形成过程中, 黄土的沉积和成壤并非绝对的突变性分界, 而是两者呈强弱交替延续性的演化特征; 同时分辨了同一地层内不同地质—生物学信息共存的矛盾实质, 从而对第四纪环境演变得到了新的启迪和见解。

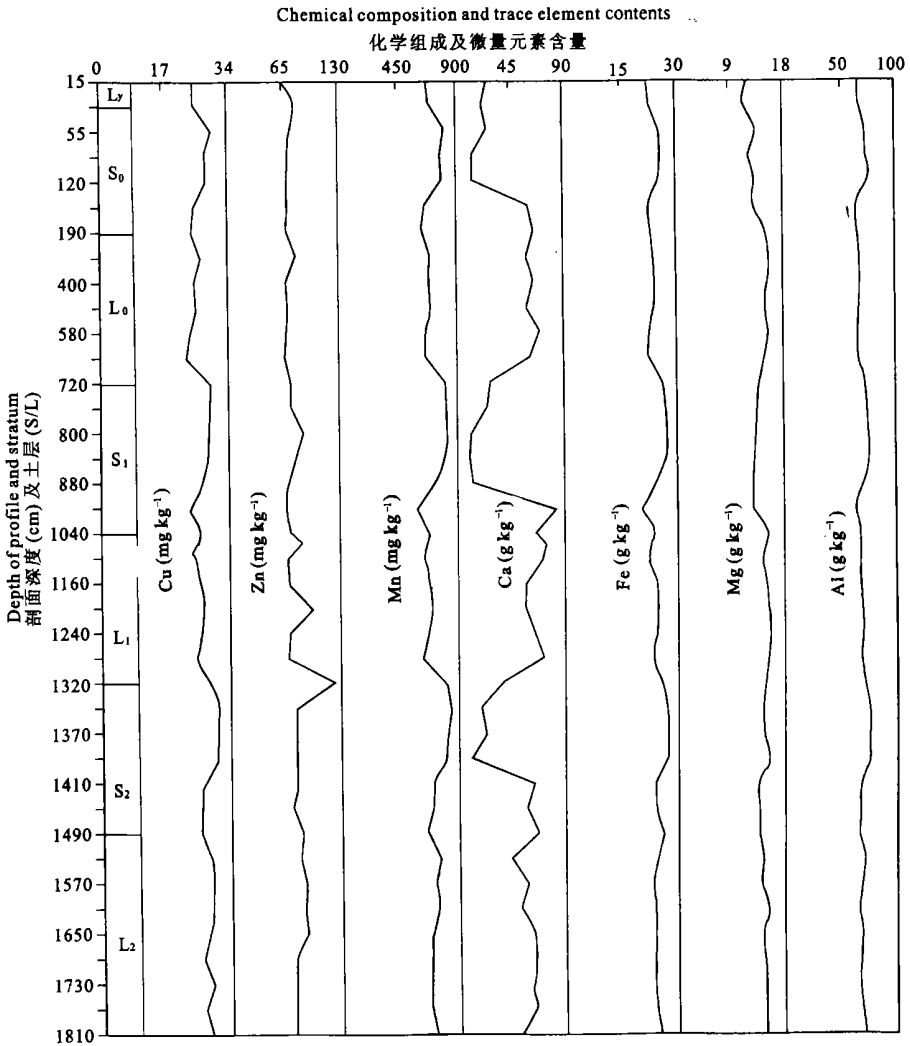


图 2 黄土剖面化学组成及微量元素含量的演变

Fig.2 Changes in chemical composition and trace element contents across loess profile

## 2.1 黄土地层(L)是干旱、半干旱环境下黄土沉积、成壤演化过程的综合体

图1与图2综合显示了黄土剖面中物理、化学及矿物组成的变化。图中不仅显示了黄土地层(L)与古土壤层(S)之间明显的差异,而且在各个黄土地层(L<sub>0</sub>、L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>)中出现了不均匀的波状起伏。后者的特征不仅在于风力搬运的影响,而且反映了黄土沉积过程中经历了不同程度的土壤发育过程。

黄土地层中CaCO<sub>3</sub>的含量变化较大,为7%~18%,说明黄土地层不仅是干旱环境下的沉积物,而且经历了干旱、半干旱环境下的成壤过程,CaCO<sub>3</sub>呈现强弱不等的淋溶和迁移,但尚未淋失殆尽。

黄土地层的粒度组成呈明显的差异。就土壤中<0.01mm和<0.001mm两种粘粒含量

变化一致的现象来看, 显然这不仅是风力搬运的影响, 而是黄土沉积后经历了土壤发育过程的粘化现象。与粘粒变化相对应的重矿物  $K_1$  值和  $F$  值也呈相应的波状起伏, 更可以确定黄土地层经历了一定的物理、化学的风化作用及成壤过程。

土壤有机质为不稳定极易氧化分解的物质, 图 1 中显示的土壤有机质含量主要随年龄增长而下降。距今约 10 万年以前的黄土层(L) 或古土壤层(S) 的有机质含量基本等同, 变幅  $2.2\text{g kg}^{-1} \sim 3.7\text{g kg}^{-1}$ , 显然不符合客观规律。因此以当今测定的各个土层的有机质含量不宜用于追踪古生态环境的直接指标。但古环境时土壤有机质的形成积累和分解过程可直接影响当时土壤的环境(酸碱度), 土壤结构性状及土壤有效态养分等, 这些性状可通过现在的土壤物理、化学组成分析、孢粉分析及微形态镜鉴得到证示, 据此可分析当时的古生物—气候环境。

土壤微形态镜鉴证示, 上述成壤特征明显的黄土层, 其微结构体内生物活动明显, 见有不同形态的根孔、蚯蚓活动的孔道及其团粒状排泄物; 沿生物孔洞或结构裂隙, 见有大量原生微晶粒方解石呈眼球状积聚或泉华状析出, 表征土体内碳酸盐的迁移和淋溶; 同时微结构体内见有表征土体粘化现象的红棕色光性粘粒呈基底式胶结。

该土层的孢粉虽然以干旱草原的蒿属和菊科为主, 但见有表征半干旱环境的松属、栎属和云杉的木本孢粉及毛茛科和十字花科中生型的草本植物。

以上分析资料说明, 以沉积为主的黄土地层并不完全是冷干环境下的产物, 而是经历了干旱、半干旱生物气候环境的演变, 同时形成发育了类同现代干旱、半干旱地区的土壤类型, 植被以草原、灌丛草原型(或有乔木类介入) 为主。这类土壤的特点是碳酸盐有一定淋溶但不强烈, 土壤呈微碱性, 矿物已经历一定风化过程, 但铁、铝无明显的移动和积聚, 当土壤中有机质遭长期埋藏氧化分解后, 土壤色泽等外表性状基本类同原生黄土沉积物, 该土层与其相衔接的呈红褐色的古土壤层呈明显的分界, 故长期来把前者称之黄土地层, 后者称之古土壤。实质上两者均是在黄土沉积基础上经历了不同生物气候环境下不同土壤类型的发育过程, 且两者还具有相互依存和延续性发生学的联系。明确这一点, 对第四纪生物气候环境演变, 将取得新的理解和认识。

## 2.2 古土壤层(S) 形成发育与黄土层(L) 发生学的机制及其环境背景的分辨

黄土剖面中出现的红色条带, 地质学家曾称之红层。土壤学家朱显谟先生首先研究确认“红层”即古土壤层(S)<sup>[9]</sup>, 该论点已得到公认, 并延用至今。但是对该古土壤层形成发育的环境背景, 尤其是植被类型问题, 至今尚存在争议。有关古土壤层的孢粉分析曾进行了大量工作<sup>[1]</sup>, 多证明该土层以干旱、半干旱型草本类植物占优势, 仅见少量乔木孢粉。据此, 不少研究者对古土壤层的环境背景多倾向于草原型、或鉴于乔木孢粉的检出, 确定为疏林草原型。近年来, 有的研究者通过提取古土壤中有机碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  比值的分析, 提出黄土高原南部塬面 60 万年以来都以草本植物占优势<sup>[10]</sup>。有的研究者基于古季风气候的研究, 证示古土壤层(S) 反映了古夏季风占优势, 属褐土型古土壤。现代褐土型土壤的植被类型应以森林灌丛为主, 但作者对其植被类型则确定为暖温带草原和森林草原, 显然受孢粉分析及有机碳同位素测定的影响<sup>[11]</sup>。

我们基于黄土沉积层(L) 也经历了成壤过程的启示, 进一步认识到古土壤层(S) 显然不是与黄土层(L) 截然分界的间冰期标志, 而是在黄土沉积、成壤基础上延续性的土

壤发育过程。随第四纪气候干冷—暖湿的交替轮回,在原干旱、半干旱环境的黄土层(L)上延续进行了半湿润、湿润型的土壤发育过程,即在同一地层的空间部位,在前期干旱型孢粉基础上又叠加了湿润型孢粉。研究分辨同一层位内不同时期叠加的地学—生物学复合信息,将是确切评价第四纪生物气候环境演变的关键,也是本文讨论的重点。

以图1与图2各个古土壤层( $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ )与其下伏的黄土层( $L_0$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ )作比较,两者土壤中的物理、化学、矿物组成呈明显的差异。古土壤层的碳酸盐遭强度淋溶,含量一般为2%~4%,并出现 $\text{CaCO}_3$ 含量<1%的土层,该微量 $\text{CaCO}_3$ 经微形态鉴定属次生型,原生 $\text{CaCO}_3$ 实质已淋失,故称之脱钙层。土壤中<0.01mm及<0.001mm粘粒含量的高值及重矿物 $K_1$ 和F的低值,均出现在脱钙层,该层位的Fe、Al、Cu、Zn、Mn的含量也相应增多,说明古土壤层的发育已由半干旱进入半湿润、湿润的新阶段。脱钙层的土壤微形态镜鉴证示,微结构体内见有密集分布的红棕色光性粘粒,未见原生微晶粒方解石,表征土体已就地强度粘化,按土壤发生学规律,一般为森林植被介入后成壤过程的特征。在 $S_0$ 和 $S_1$ 的脱钙层还见有红棕色光性粘粒沿孔隙呈密集状积聚,或已形成薄层红棕色胶膜,表征土粒已由就地粘化转向迁移,Fe、Al呈相对积聚和移动迹象。在排除次生碳酸盐干扰后,粘粒的微形态特征证示当时的土壤环境已由微碱性转向中性和微酸性, $\text{pH} \leq 7$ ,土壤发育类型相当于褐色土或淋溶型褐色土。前人有关该古土壤层粘土矿物组成的分析研究,也证示了褐土型特征<sup>[1]</sup>。黄土与古土壤的粘土矿物均以伊利石为主,其次有蒙脱石、高岭石、蛭石、绿泥石等,但古土壤层的伊利石含钾量减少,蛭石量增多,蒙脱石和绿泥石含量减少,均说明这是暖湿环境下有森林植被介入的成壤过程。孢粉分析也提供了类同的森林灌丛植被类型。

上述古土壤层位( $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ )的孢粉分析证示,草本类植物占优势,以蒿属、菊科为主的孢粉浓度达70%以上;豆科、十字花科、毛茛科、蔷薇科等中生型草本植物占有一定数量。乔木孢粉浓度为5%~14%,以松属为主,见有云杉属、冷杉属、栎属、朴属;灌木有胡颓子属、黄荆、瑞香科、麻黄属。在 $S_1$ 层还见有臭椿属、木犀科、胡桃属、铁杉属;在 $S_0$ 层也见有铁杉属,并出现漆树属和杜鹃,这一类乔木孢粉均属湿润型。

以上的孢粉分析表明,显然在同一层位出现了干旱型与湿润型两种不同植被类型。以往的研究者多以孢粉的实测数据论植被,基于干旱型优势孢粉的分析判断,其结论必然是干旱草原为主,或因乔木孢粉的出现勉强解释为疏林草原景观。对于同一层位干旱型与湿润型植被共存的矛盾,长期来并未得到合理的解释。

我们的研究认为,古土壤层(S)是在前期黄土沉积、成壤基础上延续性的发育过程,即在干旱、半干旱植被类型基础上,演化为半湿润、湿润型植被基础上的土壤发育过程。尽管土壤特性已发生了明显的变化,但同一层位仍保留了不同时期,不同类型植被的孢粉。古土壤层(S)中检出的干草原型孢粉,实际上只是反映了古土壤发育前期黄土沉积、成壤过程的环境背景;古土壤层(S)中检出的暖湿型乔灌孢粉,真正反映了古土壤层(S)发育过程的环境背景。排除了前期干旱型信息的干扰,才能确切反映古土壤层(S)成壤期是以暖湿型乔灌为主的生态景观。值得注意的是,为什么检出的孢粉以干旱草本类植物占优势,而暖湿型乔灌孢粉偏少的问题。

这里暂且不论孢粉,例举前人有关指示环境的蜗牛化石的研究结果进行讨论<sup>[1]</sup>。洛

川黄土剖面中代表性的蜗牛化石为粉华蜗牛 (*Cathaica Pulveratrix*) 和汉山间齿螺 (*Metodontia huaiensis*)。粉华蜗牛代表耐干旱、寒冷气候的生态特征, 多见于黄土层(L); 汉山间齿螺代表喜潮湿、温暖的生态学特征, 多见于古土壤层, 现分布地区为黄土高原东部, 向南到长江流域一带。洛川剖面古土壤层 ( $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ ) 中的汉山间齿螺占蜗牛化石总数的 50% 左右, 其中  $S_1$  层占 57%。此外, 在  $S_1$  层中所见粉华蜗牛, 系古土壤发育前期黄土沉积及其成壤过程的遗留物。由此证示, 洛川剖面中古土壤层的环境背景应以暖湿型森林灌丛植被为主, 相当于现今黄土高原东部和长江流域北部一带的生物—气候环境, 绝不是森林加草原的机械组合, 更不是草原型土壤。蜗牛化石是研究黄土剖面环境演变较为有效和可靠的信息。因此孢粉分析中为什么干旱草本类孢粉占优势的问题, 还需要从孢粉分析方法, 各类孢粉自身保存的特点及其与环境演变的关系等方面作进一步探讨。

### 2.3 黄土剖面形成的地质过程与土壤发育过程的内在联系

综上所述, 密集采样的综合分析研究, 深入揭示了黄土层 (L) 及古土壤层 (S) 内含干旱与半干旱, 半干旱与半湿润地学—生物学的演变信息。原确定代表冰期的黄土层 (L) 在黄土沉积的地质过程中, 经历了干旱与半干旱的生物气候环境演变及相应的土壤发育过程; 原确定代表暖湿环境间冰期的古土壤层 (S), 内伏干旱与半干旱环境信息及黄土沉积的地质过程。古土壤层是在前期黄土沉积、成壤基础上延续性的土壤发育过程, 当代表暖湿型的森林植被介入后, 即导致土壤发育特征发生重大变化。该古土壤剖面以其鲜明的红棕色及强度粘化的柱状结构与草原植被下发育的黄土性土壤呈鲜明的分界。因此, 原确定的黄土—古土壤序列不能作为单一地层与土壤的分界, 因黄土地层也经历了土壤发育过程。以黄土 (L) —古土壤 (S) 序列多元交替而形成的深厚的黄土剖面, 实质上为不同生物气候环境下、不同土壤发育类型演替而形成的多元古土壤剖面体系。在黄土高原高数十米黄土柱屹立的特殊景观正是多元古土壤剖面体系的佐证<sup>[12]</sup>。该剖面体系不仅提供了研究全球冰期与间冰期演变的重要信息, 同时提供了研究不同纬度、不同时期地学—生物学时空演变过渡性和复合性信息。

本文在图 1、图 2 中划分的  $L_x$  层, 即是在原确定的代表全新世黑垆土剖面 ( $S_0$ ) 基础上划出来的。关于  $S_0$  前人的研究多确定为代表近万年来湿润期的草原型黑垆土, 我们在排除了前期迭加的干旱型信息及后期黄土再沉积过程中次生型 ( $CaCO_3$  的积聚和 pH 值的增高) 信息后, 分析判断  $S_0$  层应属于森林灌丛型土壤。该土壤剖面上部厚约 30~50 cm 覆盖层, 以往的研究多作为人为长期耕作施加土粪形成的堆积物<sup>[13]</sup>。基于本文的分析研究, 又根据竺可桢关于我国五千年气候演变的科学论证<sup>[14]</sup>, 加之近 20 余年来黄土高原上部多次发生尘暴的启示, 我们认为该覆盖层应是新的黄土沉积物与人为施加土粪的复合物。说明第四纪自然气候的演变已由暖湿型转向干旱型新的旋回, 近三千年来已由湿润型成壤期转向成壤与沉积的过渡期。黄土沉积过程将继续相对强化, 现代黄土高原仍遵循自然规律在继续成长 (黄土沉积) 和发育 (成壤过程), 故在  $S_0$  层上部再划分  $L_x$ , 对研究现代气候演变及全球变化趋势具有重要意义。

据新闻报道, 2000 年在我国的华北、西北东部、内蒙古中西部等地区已出现 7 次扬沙和沙尘暴天气, 其原因一方面是土地利用不合理, 造成生态环境恶化和土地沙化的扩展; 另一方面正如以上所述, 地质环境正进入干旱化和黄土沉积相对强化的时期。人为因素

与自然因素的耦合将更加剧灾情的发展。当前各地正在贯彻实施生态环境建设,我们建议应同时考虑未来环境演变趋势,以保证植被建设的可持续发展。

### 参 考 文 献

1. 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985
2. 刘东生主编. 黄土、第四纪地质、全球变化. 第一集, 第二集. 北京: 科学出版社, 1990
3. 刘东生主编. 黄土、第四纪地质、全球变化. 第三集. 北京: 科学出版社, 1992
4. 唐克丽. 古土壤的类型及其微形态特征的鉴别. 土壤通报, 1981, (3): 22~ 26
5. 唐克丽. 武功黄土沉积中埋藏古土壤的微形态及其发生学. 科学通报, 1981, 26(3): 177~ 179
6. 唐克丽, 姜永清, 郑世清, 等. 扶风黄土剖面中埋藏古土壤的微形态及其发生学的探讨. 见: 第四纪研究委员会编. 第三届全国第四纪学术讨论会议论文集. 北京: 科学出版社, 1982
7. 唐克丽, 张平仓, 王斌科. 土壤侵蚀与第四纪生态环境演变. 第四纪研究, 1991, (4): 300~ 309
8. 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994
9. 朱显谟. 我国黄土性沉积物中的古土壤. 中国第四纪研究, 1965, 4(1): 7~ 19
10. 林本海, 安芷生, 刘荣谟. 最近 60 万年中国黄土高原季风变迁的稳定同位素的证据. 见: 刘东生主编. 黄土、第四纪地质、全球变化, 第三集. 北京: 科学出版社, 1992
11. 安芷生, 肖举东, 张景昭, 等. 季风与最近 13 万年黄土高原的气候历史. 见: 刘东生主编. 黄土、第四纪地质、全球变化, 第二集. 北京: 科学出版社, 1990
12. 唐克丽, 贺秀斌. 黄土剖面发育及黄土柱成因新解初报. 见: 邵明安等主编. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室论文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999
13. 朱显谟. 黄土. 西安: 农业出版社, 1964
14. 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. 中国科学, 1973, (2): 168~ 189



## REVELATION OF INFORMATION ON GENESIS OF MULTI PALEOSOL FROM QUATERNARY LOESS PROFILE

Tang Ke-li He Xi-bin

(*State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Shaanxi Yangling 712100*)

### Summary

New Viewpoints on bio-climatic environmental evolution in Quaternary were proposed based on analysis of physical, chemical, mineralogical composition, spore pollen and micro-morphology studies on soil samples taken at 30~ 50 cm intervals from Luochuan loess profile dating back to 200, 000 BC.

The Loess layer(L), formerly interpreted as deposition in arid and cold climate, revealed semi-arid environmental evolution and corresponding soil formation. The red-brown paleosol layer(S), formerly represented warm and humid environment essentially revealed interior arid and semi-arid environmental evolution as shown by contrasting coexistence of both arid and humid type of spore pollen.

The present study confirmed that thick Luochuan loess profile is a special multi-paleosol profile system comprising different soil types and formed by alteration of loess deposition and soil formation in the course of bio-climatic environmental evolution in Quaternary.

**Key words** Loess profile, Samples taken densely, Multi-paleosols, New environment information in Quaternary