

# 陕西商丹盆地茶房村黄土 - 古土壤剖面的粒度组成特征及意义<sup>\*</sup>

王海燕, 庞奖励, 黄春长, 周亚利, 高鹏坤, 王蕾彬  
(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 对商丹盆地茶房村剖面 210 个样品进行了野外调查及粒度实验分析。结果表明: 丹江一级阶地上的沉积物是 55 000 a BP 以来堆积的风成黄土; 粒度特征主要以粉砂和粘粒为主, 二者总和为 86.65%, 其中粗粉砂为优势组分, 在剖面中含量达 46.81%; 粘粒含量为 23.94%; 古土壤层的粒度组成较黄土层偏细, 显示了二者风化成壤作用的差异, 即古土壤层风化程度强于黄土层; 茶房村剖面粒度特征的变化反映了商丹盆地自 55 000 a BP 以来区域气候的变化特征: 55 000 ~ 11 500 a BP 时期气候寒冷干燥。全新世早期 (11 500 ~ 8 500 a BP), 气温有升高, 降水增加。全新世中期 (8 500 ~ 3 100 a BP), 为大暖期, 气候温暖湿润。全新世晚期 (3 100 a BP 至今), 气温降低, 降水减少。

**关键词:** 黄土剖面; 粒度特征; 茶房村; 商丹盆地

**中图分类号:** P532   **文献标志码:** A   **文章编号:** 0529 - 6579 (2017) 02 - 0131 - 09

## Grain-size composition of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan Basin, Shanxi and their significance

WANG Haiyan, PANG Jiangli, HUANG Chunchang, ZHOU Yali, GAO Pengkun, WANG Leibin  
(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Loess-paleosol sequences have been applied to retrieve palaeoenvironment change in the study of the paleoclimatic evolution. Chafangcun (CFC) at Shangdan basin, Shaanxi provides such a loess-paleosol profile. At this profile, loess sequence's color and structure were investigated, and 210 samples were systematically collected for grain-size analysis. The results showed that: ① Chafangcun loess-paleosol sequence in the first river terrace with typical atmospheric dust sediment along the Danjiang River, has formed since 55 000 a BP. ② This loess sequence is mainly composed of silt (5 ~ 50  $\mu\text{m}$ ) and clay (<5  $\mu\text{m}$ ), with an average proportion of 86.65%. The coarse silt of 10 ~ 50  $\mu\text{m}$  in size is dominant composition in CFC profile, accounting for 46.81% on average, and clay (<5  $\mu\text{m}$  in size) accounts for 23.94% in total composition. The sequence's grain-size composition varies from bottom to top stratigraphic unit, and the paleosol is smaller in grain size than that of their loess stratum. These properties reflect that the weathering intensity in paleosol is stronger than in loess. ③ The grain-size characteristics in the Shangdan Basin reveal that the palaeo-climate changed successively in the following four stages: a cold and dry climate during the last glacial (55 000 ~ 11 500 a BP), a climate from dry & cold to warm & humid during the early Holocene (11 500 ~ 8 500 a BP), a warm and humid climate during the middle

\* 收稿日期: 2016 - 03 - 01

基金项目: 国家自然科学基金 (41271108; 41471071; 41371029)

作者简介: 王海燕 (1989 年生), 女; 研究方向: 资源开发与环境演变; E-mail: 835437425@qq.com

通信作者: 庞奖励 (1963 年生), 男; 研究方向: 资源开发与环境演变; E-mail: jlpang@snnu.edu.cn

Holocene (8 500 ~ 3 100 a BP), and the lower temperature and reduced precipitation climate during the late Holocene (3 100 ~ 0 a BP).

**Key words:** loess-paleosol; grain-size characteristics; Chafangcun; Shangdan basin

黄土 - 古土壤序列作为记录环境变化的良好信息载体, 一直是研究全球古气候演变的重要对象<sup>[1-5]</sup>。科学家对黄土高原地区黄土 - 古土壤序列的研究取得了举世瞩目的成果<sup>[1,3,6-8]</sup>。秦岭南侧地区地处北亚热带湿润季风气候区, 是气候变化的敏感区域, 该区也有黄土堆积, 不同学者进行了一定的研究并取得了一定的成果。庞奖励等揭示了汉江上游风成黄土与东亚季风演化之间的耦合关系<sup>[9]</sup>; 文献<sup>[10-11]</sup>对巫山黄土进行了初步研究, 认为巫山黄土为典型的风成成因; 邵家骥、李徐生等对长江中下游地区的下蜀黄土进行了分析, 认为镇江下蜀黄土与北方黄土一样同是大气风尘堆积物<sup>[12-13]</sup>。野外考察发现, 在商丹盆地分布有较厚的黄土, 雷祥义<sup>[14]</sup>、王社江<sup>[15]</sup>等认为此地黄土与黄土高原黄土一样都是大气粉尘堆积物。但是对这些风成黄土的研究仍十分有限<sup>[14-18]</sup>, 目前尚有诸多问题不清晰。例如, 该区域自末次冰期以来黄土 - 古土壤沉积的地层及年代序列如何? 与渭河谷地以及相邻的汉江上游谷地地区是否一致? 北亚热带环境下风成黄土的成壤改造特征及气候演变如何? 本文选取陕西省丹凤县茶房村 (CFC 下同) 为研究对象, 试图阐述丹江流域黄土 - 古土壤序列的地层及年代序列, 并揭示末次冰期以来商丹盆地风成黄土的成壤改造特征及气候演变信息。

## 1 研究区地理环境概况

商 (州) - 丹 (凤) 盆地位于秦岭南麓, 呈北西 - 西向延伸的矩形状, 长约 60 km, 宽约 5 km, 丹江呈西北 - 东南向流经盆地中部, 河宽 150 ~ 250 m, 河道比降 3‰, 河道迂回曲折, 形成一系列比较开阔的盆地。商丹盆地内的丹江两岸可见 1 - 4 级河流阶地发育, 其上沉积有厚度不同的风成黄土, 其中 2 - 4 级阶地受到阶地地形和沉积后环境的变迁以及地表流水侵蚀等作用的影响, 阶地面往往残缺不全, 黄土剖面残缺不全, 而 1 级阶地地形宽缓, 为黄土沉积物的堆积和保存提供了有利的地形条件。商丹盆地属北亚热带与暖温带过渡性季风气候区, 四季分明, 年平均气温 7.8 ~ 13.9 °C, 年均降水量 710 ~ 930 mm, 降水季节分配不均, 主要集中在 7 - 9 月份。区内植物茂盛, 覆盖率达 70% 以上。

## 2 研究材料

本文选择 CFC 剖面为研究对象。剖面位于陕西省丹凤县茶房村, 丹江左岸的 1 级河流阶地前沿 (33°43'14.9"N, 110°12'51.46"E, 图 1)。丹江 1 级阶地地形比较平缓, 地表水土流失微弱, 有利于后期黄土沉积。CFC 剖面为当地道路施工切穿一级阶地后形成的天然断面, 黄土厚约为 4 ~ 5 m, 黄土底部直接覆盖在河流相的砾石层上。详细观察, 砾石层上覆的黄土沉积物中各层之间界限清晰。根据野外调查及结合室内磁化率、粒度、元素等理化指标对该剖面进行了地层划分, 该黄土剖面地层由上到下依次划分为 MS - L<sub>0</sub> - S<sub>0</sub> - L<sub>1</sub> - L<sub>1</sub> - AD (图 2)。

## 3 研究方法

自剖面顶部向下 2 cm 连续采样, 共采集 210 个样品, 所有实验在陕西师范大学实验室完成。土壤颜色的描述采用《中国标准土壤色卡》<sup>[19]</sup>; 粒度实验分为粒度前处理和粒度测定两个步骤。室内称取适量自然风干土样放入 500 mL 烧杯中, 先后加入 10 mL  $\varphi = 10\%$  的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 HCl 并加热用于去除有机质和次生碳酸盐类, 注满蒸馏水后静置 72 h, 最后加入 5 mL 0.05 mol/L 的分散剂 (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 对余液进行充分分散完成粒度的前处理过程。粒度测定采用美国 Beckman 公司生产的 LS13320 型激光粒度仪, 每个样品重复测量 3 次, 遮光度控制在 8% ~ 12% 之间, 相对误差小于 4%。

## 4 实验结果和讨论

### 4.1 CFC 剖面的地层年龄

CFC 剖面地层年代主要通过光释光 (OSL) 断代方法来确定 (OSL 具体实验方法、过程及其结果<sup>[20]</sup>另有详文讨论)。课题组已对渭河谷地梁村剖面<sup>[21]</sup>以及汉江上游谷地前坊村剖面<sup>[22]</sup>进行了地层年代研究, 根据 CFC 剖面 OSL 实验结果并结合地层对比 (图 3), 最终确定 CFC 剖面的地层年代为: 马兰黄土 (L<sub>1</sub>) 的底界年龄不早于 55 000 a BP, 顶界年龄为 11 500 a BP, 古土壤 (S<sub>0</sub>) 的底界和顶界年龄分别为 8 500 a BP 和 3 100 a BP。

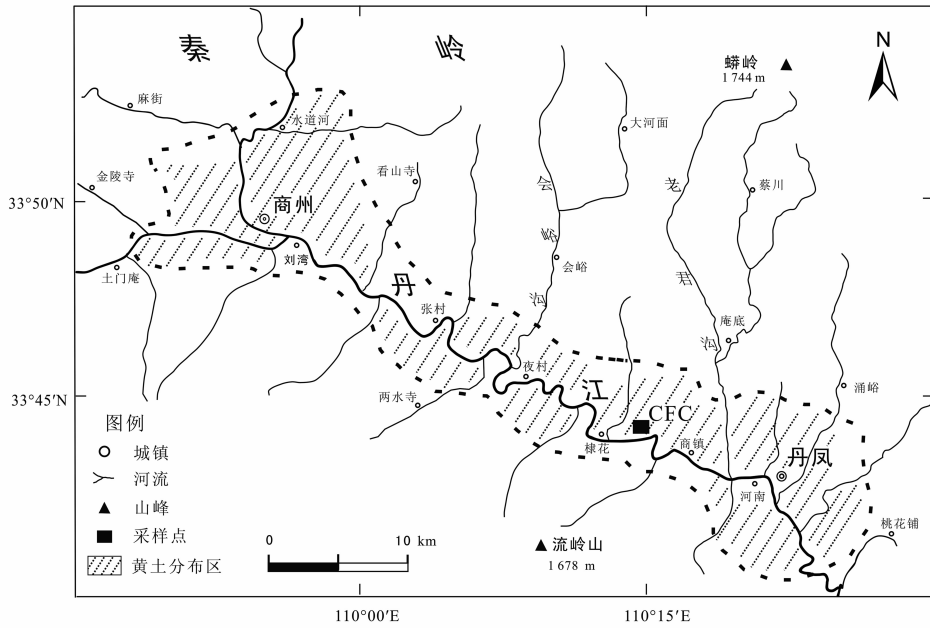


图 1 商丹盆地茶房村黄土 - 古土壤剖面位置示意图

Fig. 1 Location of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan basin

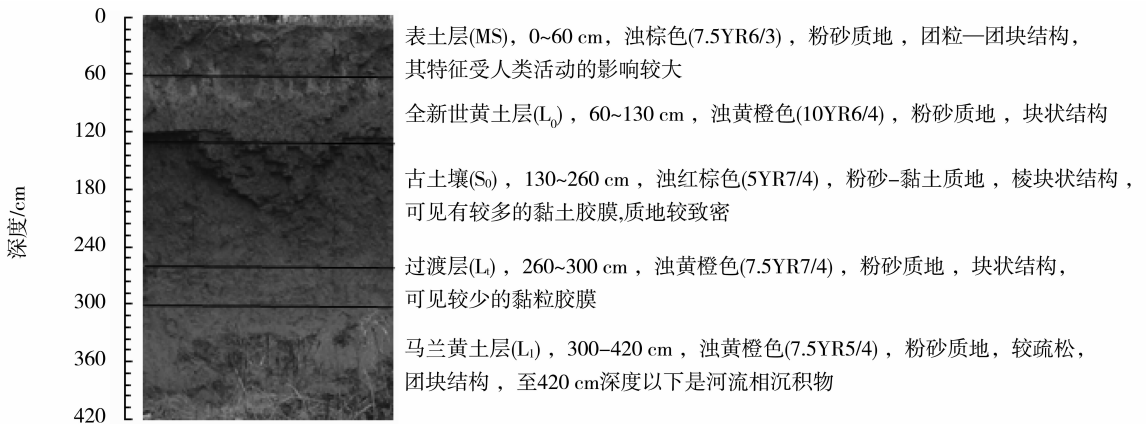


图 2 茶房村黄土 - 古土壤剖面地层序列图

Fig. 2 Stratigraphic sequence of Chafangcun loess-paleosol strata in Shangdan basin

### 4.2 CFC 剖面的粒度特征

4.2.1 粒度组成特征 粒度分析结果显示(图4, 表1), CFC剖面粒度组成均以粉砂(5~50 μm)为主, 含量为56.03%~65.50%, 平均含量为62.71%; 其中粗粉砂(10~50 μm)是众数粒组, 符合风成黄土的特征。其含量为43.43%~49.87%, 平均含量为46.81%, 并且在整个剖面的含量变化为: L<sub>1</sub> > L<sub>0</sub> > L<sub>1</sub> > S<sub>0</sub> > MS。

粘粒(<5 μm)变化曲线与粗粉砂(10~50 μm)含量呈相反趋势, 最高含量出现在古土壤层(S<sub>0</sub>), 波动范围为24.80%~34.00%, 平均为29.36%, 这反映该时期水热条件优越, 有利于以

铝硅酸盐矿物为主要成分的粗颗粒矿物分解成次生铝硅酸盐矿物(主要为黏土矿物), 马兰黄土(L<sub>1</sub>)的粘粒(<5 μm)波动范围为14.50%~23.80%, 平均为21.20%, 而过渡层黄土(L<sub>1</sub>, 平均值为27.18%)和近代黄土(L<sub>0</sub>, 平均值为24.21%)介于马兰黄土(L<sub>1</sub>)和古土壤(S<sub>0</sub>)之间, 这暗示黄土堆积时期风化作用微弱, 不利于矿物的分解, 从L<sub>1</sub>→S<sub>0</sub>→L<sub>0</sub>风化成壤作用经历了由弱到强再减弱的过程。表土层(MS)的粘粒(<5 μm)含量最低, 波动范围为14.60%~21.34%, 平均为17.74%, 说明在整个剖面中, 表土层(MS)中粘粒(<5 μm)含量最低, 而粗颗粒含

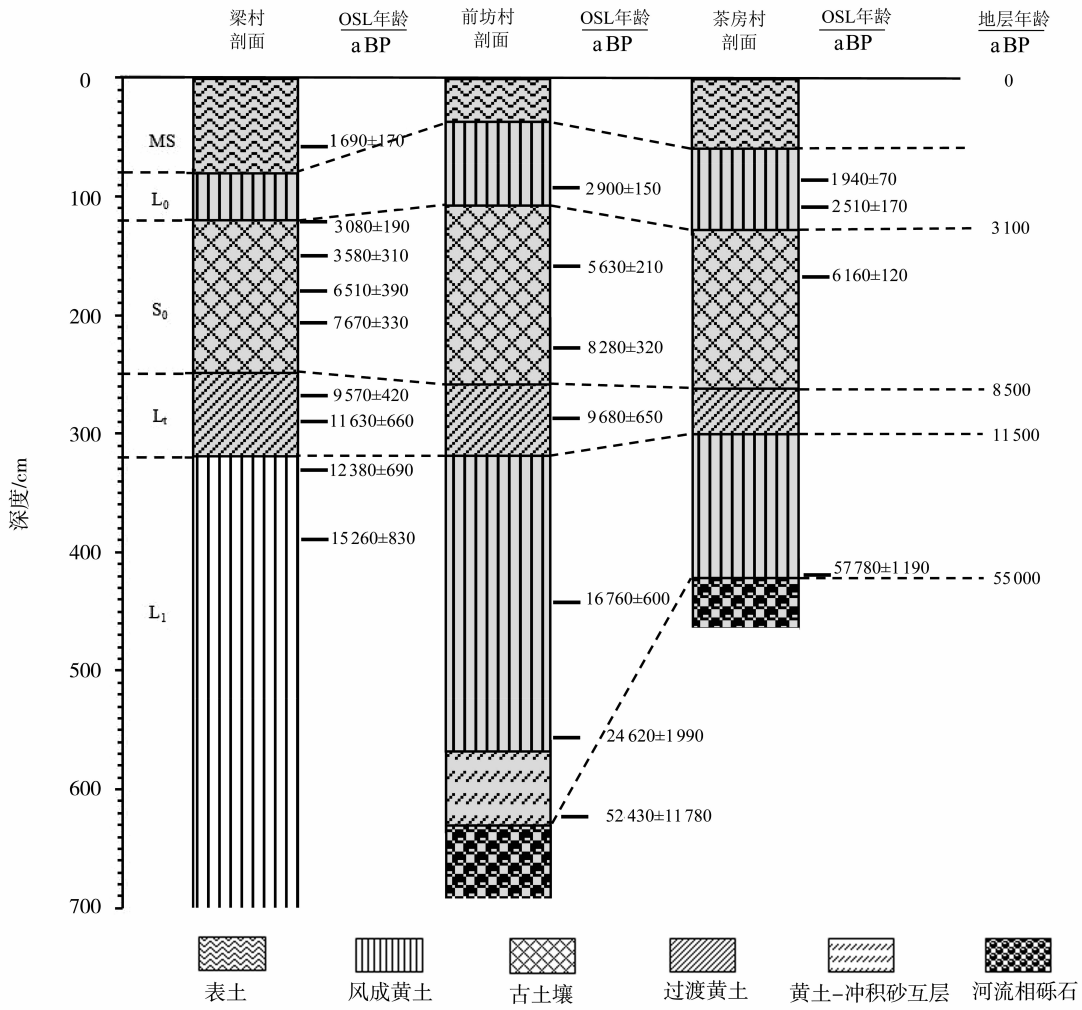


图 3 茶房村黄土 - 古土壤剖面地层年代

Fig. 3 Comparison of loess-paleosol sequences and their strata ages at Chafangcun in Shangdan basin

表 1 茶房村黄土 - 古土壤剖面粒度组成

Table 1 Grain-size distribution of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan basin

地层	量值	粘粒	细粉砂	粗粉砂	极细砂	砂	粘粒/粉砂	%
MS	范围	14.60 ~ 21.34	10.60 ~ 14.58	36.10 ~ 48.17	8.04 ~ 12.30	8.83 ~ 25.16	0.25 ~ 0.36	
	均值	17.74	12.60	43.43	10.89	15.34	0.32	
L <sub>0</sub>	范围	19.40 ~ 28.70	13.62 ~ 16.90	44.36 ~ 52.16	4.20 ~ 8.14	0.90 ~ 9.94	0.31 ~ 0.45	
	均值	24.21	15.28	48.70	6.25	5.55	0.38	
S <sub>0</sub>	范围	24.80 ~ 34.00	15.50 ~ 20.00	40.50 ~ 50.00	3.60 ~ 9.00	0.50 ~ 3.60	0.38 ~ 0.56	
	均值	29.36	17.67	45.55	5.28	2.14	0.46	
L <sub>t</sub>	范围	22.65 ~ 32.60	14.62 ~ 21.20	41.20 ~ 51.11	3.45 ~ 8.12	1.54 ~ 5.13	0.33 ~ 0.52	
	均值	27.18	17.70	47.11	5.60	2.42	0.42	
L <sub>1</sub>	范围	14.50 ~ 23.80	11.90 ~ 21.90	41.93 ~ 59.97	4.69 ~ 12.11	1.73 ~ 21.51	0.25 ~ 0.39	
	均值	21.20	15.63	49.87	6.87	6.45	0.33	

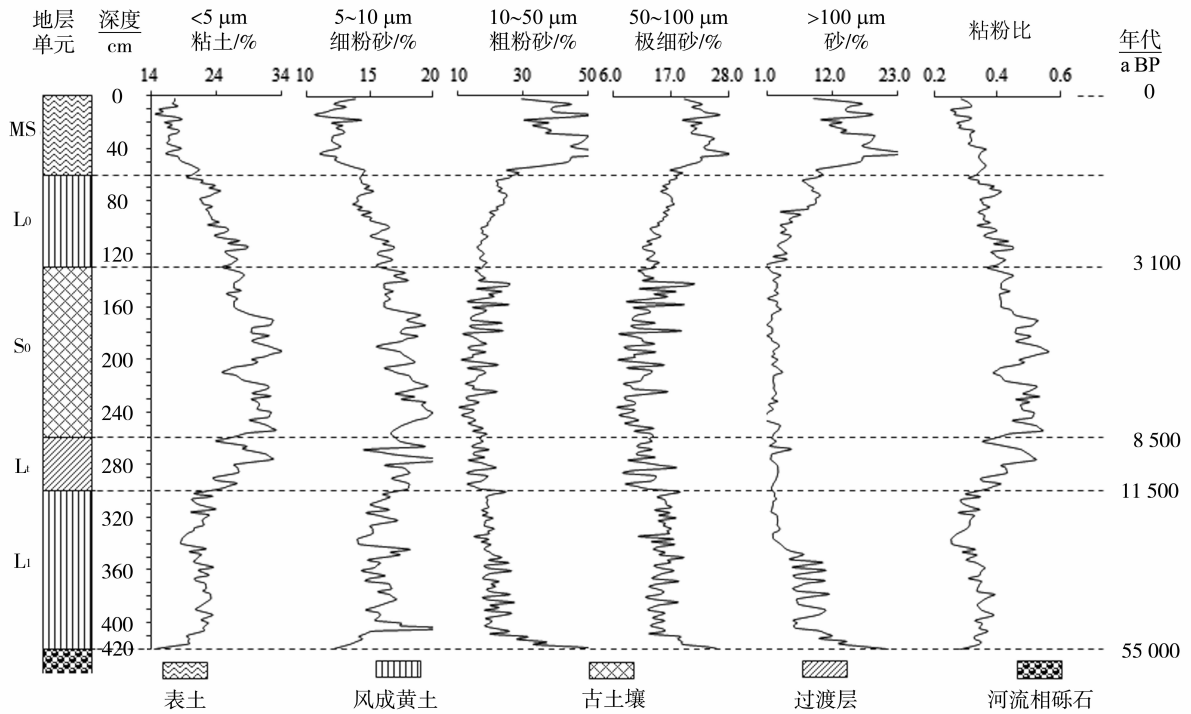


图 4 茶房村黄土 - 古土壤剖面粒度分布趋势图

Fig. 4 Grain-size distribution of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan basin

量高，这可能与后期坡积物的混入有关，表土层 (MS) 受后期人类活动的影响较大，故不作成壤强度的对比研究。

CFC 剖面中极细砂 (50 ~ 100 μm) 含量变化为 5.28% ~ 10.89%，平均含量为 6.98%，其中古土壤 (S<sub>0</sub>) 中含量最少，马兰黄土 (L<sub>1</sub>) 中含量最高，与粘粒 (< 5 μm) 变化呈相反的趋势。砂粒 (> 100 μm) 含量为 2.14% ~ 15.34%，平均含量为 6.38%，含量在黄土层相对较多，古土壤中最少，仅为 2.14%。

粘粒/粉砂比值的变化趋势与粘粒 (< 5 μm) 含量变化呈正相关关系，古土壤 (S<sub>0</sub>) 粘粒/粉砂比值最大，波动范围为 0.38 ~ 0.56，均值为 0.46；而黄土 L<sub>1</sub>、L<sub>0</sub>、L<sub>2</sub> 的粘粒/粉砂的平均值分别为 0.33、0.38 和 0.42。粘粒/粉砂的比值进一步证实了古土壤形成时期粘粒含量增多，颗粒趋向于变细，这也正是古土壤形成时期气候暖湿，次生黏化作用强烈的结果。而黄土中粉砂含量增加，这正是黄土堆积时期气候干冷，黄土受后期改造作用微弱的表现。

比较典型马兰黄土 (L<sub>1</sub>) 与古土壤 (S<sub>0</sub>) 的粒度组成，发现二者粒度组成十分相似，表现二者均以粉砂 (5 ~ 50 μm) 含量为主，且粉砂中粗粉砂 (10 ~ 50 μm) 为优势粒组，含量大于 40%，粘

粒 (< 5 μm) 含量次之，而砂粒 (> 100 μm) 含量最低。这一粒度组成的共性反映了古土壤 (S<sub>0</sub>) 的粒度整体上继承了黄土 (L<sub>1</sub>) 的基本特征，应该是黄土风化的产物。

4.2.2 粒度参数 CFC 剖面不同的地层的粒度参数有明显的变化 (表 2)，由于表土层受后期人为活动影响较大，在此我们不做深入分析。CFC 剖面中值粒径 (M<sub>d</sub>) 范围在 6.77 ~ 26.27 μm 之间，均在粉砂范围内，属于黄土的众数粒组，其中古土壤 S<sub>0</sub> 中值粒径最低，为 11.68 μm，黄土 L<sub>1</sub>、L<sub>0</sub>、L<sub>2</sub> 的均值分别为 12.37，14.95 和 15.83 μm，均高于古土壤 (S<sub>0</sub>)，说明从 L<sub>2</sub> → L<sub>1</sub> → S<sub>0</sub> → L<sub>0</sub> 颗粒经历了由粗到细再到粗的变化。平均粒径 (M<sub>z</sub>) 在各层的排序为：L<sub>2</sub> (22.16 μm) > L<sub>0</sub> (20.15 μm) > L<sub>1</sub> (16.99 μm) > S<sub>0</sub> (16.52 μm)。M<sub>d</sub> 和 M<sub>z</sub> 的变化特征显示黄土层比古土壤层要粗。标准偏差 (σ) 在 1.89 ~ 1.99 之间变化，总体均值为 1.98。分选系数 (S) 在 1.23 ~ 1.32 间变化，分选较好，说明丹江上游黄土的粒度集中趋势较好。偏度 (SK) 在各层之间变化不大，总体平均为 0.18，为正偏。峰态 (K<sub>g</sub>) 在 0.99 ~ 1.15 变化，平均值为 1.07，峰态中等，黄土层要大于古土壤层。CFC 剖面 K<sub>d</sub> 值的变化在 1.57 ~ 2.37 之间，古土壤层 (S<sub>0</sub>) 明显小于黄土层，进一步证实了该区古土壤

层 ( $S_0$ ) 中粘粒含量的增加。

4.2.3 粒度分布曲线 粒度频率分布曲线可直观反映沉积物的众数粒径、粗细颗粒的比例及各粒级的含量特征, 其粒径范围、峰的形态在一定程度上可以反映出沉积物的沉积动力<sup>[23-24]</sup>。在 CFC 剖面的频率曲线中 (图 5a) 中, 古土壤层 ( $S_0$ ) 与黄土层 ( $L_0/L_1/L_1$ ) 的曲线吻合性很高, 粒径集中分布在粉砂范围内, 属众数粒组, 峰值粒径均出现在 20~40  $\mu\text{m}$  之间, 分布曲线呈现单峰正偏态, 尾部偏长有突出, 指示出该地区有近源粗颗粒的混入。整体上与北方黄土粒度分布曲线相似, 指示该地区与北方黄土沉积动力同为风成。但各个层又由于沉

积环境等因素的不同各层分布曲线稍有差异。表土层 (MS) 分布曲线偏右, 说明其粗颗粒含量较多, 这可能有后期粗颗粒物质的混入。总体来说, 黄土层 ( $L_0/L_1/L_1$ ) 的颗粒级较古土壤 ( $S_0$ ) 总体偏粗, 指示在黄土层堆积时期风力搬运强度高于古土壤。古土壤层 ( $S_0$ ) 的曲线比黄土层 ( $L_0/L_1/L_1$ ) 左移, 粗颗粒含量明显下降表明古土壤形成时期风力减小, 粘粒含量明显增多指示古土壤形成时期, 气候温暖湿润, 降水较多, 该时期经历了强烈的风化成壤作用。粒度自然分布曲线与粒度分布趋势图所反映的粒度特征相一致。

表 2 茶房村黄土-古土壤剖面粒度参数表

Table 2 Grain-size parameter of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan basin

地层	$M_d/\mu\text{m}$	$M_z/\mu\text{m}$	$\sigma$	SK	$K_g$	S	$K_d$
MS	22.17	41.03	2.2	0.09	1.07	1.41	2.47
$L_0$	14.95	20.15	1.99	0.20	1.10	1.28	2.03
$S_0$	11.68	16.52	1.92	0.19	0.99	1.32	1.57
$L_1$	12.37	16.99	1.89	0.20	1.04	1.26	1.76
$L_1$	15.83	22.16	1.97	0.20	1.15	1.23	2.37

图 5b 显示的是 CFC 剖面粒度累积分布曲线, CFC 黄土层 ( $L_0/L_1/L_1$ ) 和古土壤 ( $S_0$ ) 的粒度累积分布曲线均呈现“S”型, 且古土壤比黄土层曲线偏左, 说明在小颗粒部分, 古土壤的累积含量明显增加, 进一步反映了古土壤形成时期粘粒含量增加。古土壤层 ( $S_0$ ) 的斜率最大, 反映出古土壤粒径偏细且分选程度最好, 马兰黄土层 ( $L_1$ ) 的粒度累积分布曲线的斜率较古土壤层小, 说明该层的颗粒偏粗, 分选性较古土壤层偏差。表土层 (MS) 的粒度累积分布曲线的斜率最小, 说明其分选性最差, 与后期人类活动密切相关。

粒度三角图可以对比沉积物的粒度分布特征<sup>[23]</sup>, 如图 6 显示, CFC 剖面粒度变化在很小的范围内, 粉砂含量相当, 同分布在粉质粘土亚粘土区域, 基本属于同一质地。但是黄土层 ( $L_0/L_1/L_1$ ) 和古土壤 ( $S_0$ ) 又不完全在相同的位置, CFC 剖面古土壤 ( $S_0$ ) 比黄土层 ( $L_0/L_1/L_1$ ) 粘粒含量明显增多, 砂粒含量减少, 进一步证实古土壤层比马兰黄土颗粒明显偏细, 正是古土壤层形成时期风化成壤作用较强的结果。表土层 (MS) 较其他各层粗颗粒含量多。

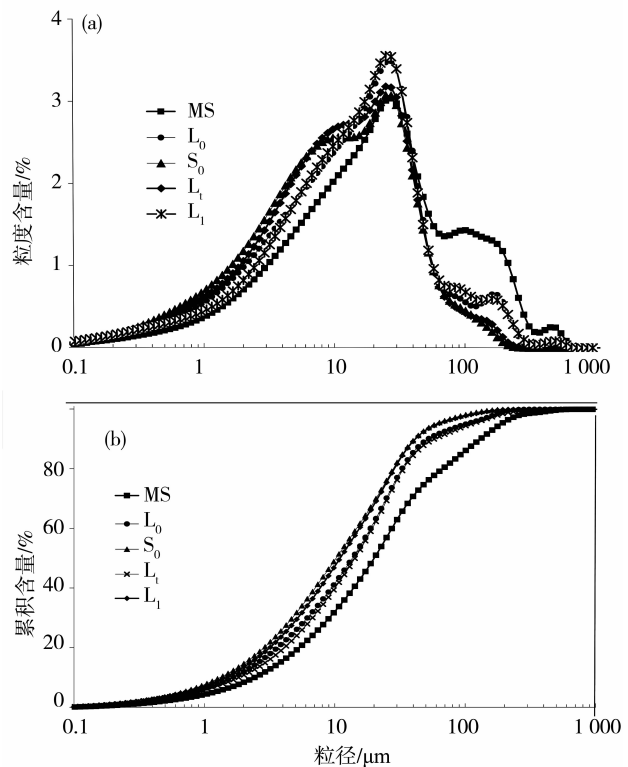


图 5 商丹盆地茶房村黄土-古土壤剖面各层自然频率分布曲线 (a) 和累积分布曲线 (b)

Fig. 5 Grain-size distribution and accumulative frequency curves of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan basin

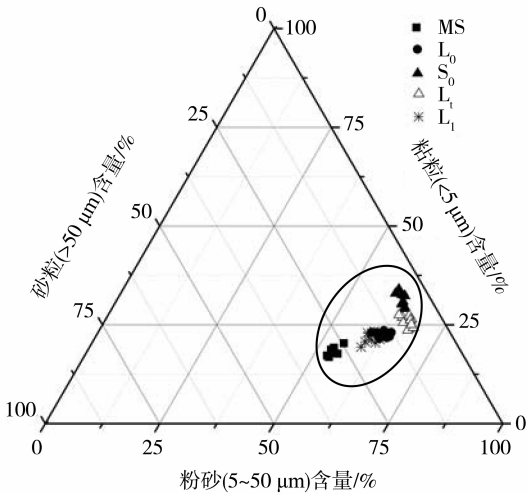


图6 商丹盆地茶房村黄土-古土壤剖面粒度三角图  
Fig. 6 Triangle diagram for grain-size composition of Chafangcun loess-paleosol sequence in Shangdan basin

#### 4.3 粒度变化与气候演变

沉积物粒度变化特征常被作为东亚冬季风演变的重要替代指标,还可以反映沉积后期成壤环境特征<sup>[25-28]</sup>。CFC剖面粒度的上述变化分析无疑可靠的记录了丹江流域晚更新世以来的气候变化。

晚更新世时期(55 000~11 500 a BP),该时期形成了马兰黄土(L<sub>1</sub>)。马兰黄土(L<sub>1</sub>)以浊黄橙色和疏松为特征,其以粉砂为主,颗粒较粗,粘粒含量低,平均值为21.20%;磁化率值( $145.2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )<sup>[29]</sup>、Rb/Sr值(0.89)在该层也表现出低值,进一步佐证了马兰黄土(L<sub>1</sub>)堆积时期,风化成壤作用较弱,冬季风搬运能力极强,风尘物质主要以堆积作用为主,指示了该时期气候寒冷干燥。全新世早期(11 500~8 500 a BP),这一时期形成了过渡黄土(L<sub>i</sub>),与马兰黄土(L<sub>1</sub>)相比,此粘粒和细粉砂含量明显上升,砂粒组分降低,平均粒径降低,土壤颗粒整体上趋于细小,磁化率值( $220.2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )<sup>[29]</sup>与Rb/Sr值(1.03)较马兰黄土层有所增加,说明在过渡黄土(L<sub>i</sub>)形成时期,风尘堆积速率减弱,有一定程度的风化成壤作用,该时期冬季风逐渐减弱,气温较马兰黄土(L<sub>1</sub>)形成时期趋暖,降水有所增加。全新世中期(8 500~3 100 a BP),此时期发育成强烈的古土壤(S<sub>0</sub>),此时黄土颜色呈浊红棕色,与过渡黄土(L<sub>i</sub>)相比裂隙面有较多的粘土胶膜,粘粒含量迅速上升且处于整个剖面的最高值,粘粉比值达到0.46,颗粒平均粒径仅为16.52 μm,而

砂粒含量在剖面中含量最少,这些特征反映出S<sub>0</sub>颗粒明显偏细,磁化率值( $280.0 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )<sup>[29]</sup>、Rb/Sr值(1.16)在该层达到整个剖面的最高值,反映其发育时期风化成壤作用强烈,指示该时期夏季风强盛,冬季风强度减弱,为全新世大暖期,气温升高,降水明显增多,气候适宜,生物繁茂。全新世晚期(3 100 a BP至今),与下层的古土壤(S<sub>0</sub>)相比,颜色变浅,粘粒含量减少,平均值为17.74%,粗粒含量增加,平均粒径增加,显示此时的黄土颗粒整体变粗,磁化率值( $181.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ )<sup>[29]</sup>与Rb/Sr值(0.87)较古土壤层有所增加,表明在经历了全新世大暖期后,风化成壤作用减弱,沙尘继续开始堆积,主导风向由暖湿的夏季风逐渐转向寒冷的西北冬季风,气温降低,降水减少,气候转凉。

## 5 结论

1) 丹江一级阶地上的沉积物是55 000 a BP以来堆积的风成黄土,其具有MS-L<sub>0</sub>-S<sub>0</sub>-L<sub>1</sub>-L<sub>1</sub>-AD的地层序列,其中剖面底界年龄为55 000 a BP,古土壤(S<sub>0</sub>)的底界和顶界年龄分别为8 500 a BP和3 100 a BP。

2) CFC剖面的粒度组成以粉砂和粘粒为主,属于风成成因,二者总和为86.65%,其中粗粉砂为优势粒组,平均含量达到46.81%,粘粒含量为23.94%;黄土与古土壤具有相似的粒度特征,粒度自然分布曲线呈现单峰正偏态,在粒度三角图中均落在相同的区域。但是古土壤粘粒含量高于黄土层,颗粒平均粒径较小,粘粉比值最大。

3) 商丹盆地气候的变化特征为:55 000~11 500 a BP时期,冬季风强盛,气候寒冷干燥;全新世早期(11 500~8 500 a BP),气温趋于变暖,降水有所增加;全新世中期(8 500~3 100 a BP),夏季风强盛,气候温暖湿润;全新世晚期(3 100 a BP至今),气温下降,降水减少。

#### 参考文献:

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 1-348.  
LIU D S. Loess and environment [M]. Beijing: Science Press, 1985: 1-348.
- [2] 赵军, 鹿化煜, 王晓勇, 等. 东秦岭地区黄土堆积的岩石磁学特征及磁化率增强机制探索[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 1052-1062.  
ZHAO J, LU H Y, WANG X Y, et al. Magnetic properties of loess deposit in eastern Qinling Mountains and an

- investigation on the magnetic susceptibility enhancement [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(6): 1052 - 1062.
- [3] 孙建中. 黄土学[M]. 香港: 香港考古学出版社, 2005: 19 - 186.  
SUN J Z. Loessology[M]. Hongkong: Hong Kong Archaeological Society, 2005: 19 - 186.
- [4] HUANG C C, JIA Y F, PANG J L, et al. Holocene colluviation and its implications for tracing human-induced soil erosion and redeposition on the piedmont loess lands of the Qinling Mountains, northern China[J]. *Geoderma*, 2006, 136: 838 - 851.
- [5] THORP J, DYE D S. The Chengdu clays-deposits of possible loessial origin in western northwestern, Szechuan Basin[J]. *Bulletin of the Geological Society of China*, 1936, 15: 225 - 246.
- [6] 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:地球科学)*, 1997, 27(6): 531 - 536.  
CHEN J, JI J F, QIU G, et al. Geochemical studies on chemical weathering degree of Luochuan Loess, Shaanxi Province[J]. *Science in China(Series D)*, 1997, 27(6): 531 - 536.
- [7] 鹿化煜, 安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. *科学通报*, 1997, 42(1): 66 - 69.  
LU H Y, AN Z S. Paleoclimatic significance of grain size of loess-paleosol deposit in Chinese Loess Plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(1): 66 - 69.
- [8] 唐克丽, 贺秀斌. 黄土高原全新世黄土 - 古土壤演替及气候演变的再研讨[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 129 - 139.  
TANG K L, HE X B. Re-discussion on loess-paleosol evolution and climatic change on the loess plateau during the Holocene[J]. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(2): 129 - 139.
- [9] 庞奖励, 黄春长, 周亚利, 等. 汉江上游谷地全新世风成黄土及其成壤改造特征[J]. *地理学报*, 2011, 66(11): 1562 - 1573.  
PANG J L, HUANG C C, ZHOU Y L, et al. Holocene Aeolian loess and its pedogenic modification in the upper Hanjiang River valley, China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1562 - 1573.
- [10] 李长安, 张玉芬, 袁胜元, 等. “巫山黄土”粒度特征及其对成因的指示[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2010, 35(5): 879 - 884.  
LI C A, ZHANG Y F, YUAN S Y, et al. Grain size characteristics and origin of the “Wushan Loess” at Wushan area[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35(5): 879 - 884.
- [11] 王建明, 王勇, 王建力. 巫山第四纪沉积物粒度特征研究[J]. *人民长江*, 2009, 40(13): 13 - 15 + 104.  
WANG J M, WANG Y, WANG J L. Research on granular characteristics of Quaternary deposit in Wushan County[J]. *Yangtze River*, 2009, 40(13): 13 - 15 + 104.
- [12] 邵家骥. 长江下游第四纪下蜀黄土的成因探讨[J]. *中国区域地质*, 1988(4): 312 - 319.  
SHAO J J. The Origin of the Xiashu loess in the lower reaches of the Yangzi River[J]. *Regional Geology of China*, 1988(4): 312 - 319.
- [13] 李徐生, 杨达源, 鹿化煜. 镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(1): 25 - 32.  
LI X S, YANG D Y, LU HUAYU. Grain-size features and genesis of the Xiashu loess in Zhenjiang[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 25 - 32.
- [14] 雷祥义. 秦岭黄土的粒度分析及其成因初步探讨[J]. *地质学报*, 1998, 72(2): 178 - 188.  
LEI X Y. Grain-size analysis and genesis of loess in the Qinling Mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(2): 178 - 188.
- [15] 王社江, 鹿化煜, 张红艳, 等. 东秦岭南洛河中游地区发现的旧石器和黄土堆积[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(6): 988 - 999.  
WANG S J, LU H Y, ZHANG H Y, et al. A preliminary survey of palaeolithic artifacts and Loess deposit in the middle South Luohe River, Eastern Qinling Mountains, central China[J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(6): 988 - 999.
- [16] 雷祥义. 商州黄土记录的最近六十年来东秦岭古环境变迁[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1999, 19(1): 63 - 73.  
LEI X Y. Paleoenvironmental changes recorded by Shangzhou Loess-Paleosol sequences on the Eastern Qinling MTS during the last 0.6 Ma [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1999, 19(1): 63 - 73.
- [17] 鹿化煜, 张红艳, 王社江, 等. 东秦岭南洛河上游黄土地层年代的初步研究及其在旧石器考古中的意义[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 559 - 567.  
LU H Y, ZHANG H Y, WANG S J, et al. A preliminary survey on loess deposit in Eastern Qinling Mountains (Central China) and its implication for estimating age of the Pleistocene Lithic Artifacts [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(4): 559 - 567.
- [18] LU H Y, YI S G, LIU Z Y, et al. Variation of East Asian monsoon precipitation during the past 21 k. y. and potential CO<sub>2</sub> forcing[J]. *Geology*, 2013, 41(9): 1023

- 1026.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所 & 中国科学院西安光学精密机械研究所. 中国标准土壤色卡[M]. 南京: 南京出版社, 1989.  
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences & Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. New standard: soil colour charts [M]. Nanjing: Nanjing Press, 1989.
- [20] 王蕾彬. 汉江上游一级阶地风成黄土光释光测年研究及意义[D]. 西安: 陕西师范大学, 2015.  
WANG L B. Research and significance on OSL dating of sediment stratigraphy on the first river terrace in Hanjiang River Vally [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2015.
- [21] 葛本伟. 黄河中游全新世沉积物光释光测年研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2010.  
GE B W. Study on OSL dating of Holocene sediments in the middle reaches of the Yellow River [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2010.
- [22] 庞奖励, 黄春长, 周亚利, 等. 郿县盆地风成黄土 - 古土壤与汉江 I 级阶地形成年龄研究[J]. 地理学报, 2015, 70(1): 63 - 72.  
PANG J L, HUANG C C, ZHOU Y L, et al. Eolian loess-paleosol sequence and OSL age of the first terraces within the Yunxian basin along the upper Hanjiang River [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(1): 63 - 72.
- [23] 任明达, 王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 8 - 16.  
REN M D, WANG N L. Introduction to modern sedimentation environment [M]. Beijing: Science Press, 1981: 8 - 16.
- [24] 王学佳. 秦岭南侧郿县弥陀寺剖面黄土地层地层序列及其风化成壤特征研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2015.  
WANG X J. Stratigraphic sequence and Chemical weathering characteristics of Mituosi's Loess-paleosol profile in the first terrace of the upper Hanjiang River vally in Yunxian [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2015.
- [25] XIAO J L, ZHENG H B, ZHAO H. Variation of winter monsoon intensity on the Loess plateau, central China during the last 130,000 years evidence from grain size distribution[J]. The Quaternary Research, 1992, 31: 13 - 19
- [26] XIAO J L, PORTER S C, AN Z S, et al. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Loess Plateau of central China during the last 130,000yr [J]. The Quaternary Research, 1995, 43(1): 22 - 29
- [27] 孙东怀, 鹿化煜, REA D, 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 327 - 335.  
SUN D H, LU H Y, REA D, et al. Bimode grain-size distribution of Chinese loess and its paleoclimate implication [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 327 - 335.
- [28] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比 - 红粘土风成成因的新证据[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 226 - 232.  
LU H Y, AN Z S. Comparison of grain-size distribution of red clay and loess-paleosol deposits in Chinese loess plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 226 - 232.
- [29] 高鹏坤, 庞奖励, 黄春长, 等. 陕西省丹凤县茶房村黄土 - 古土壤剖面风化程度及对气候变化的响应[J]. 中国沙漠, 2014, 34(5): 1248 - 1253.  
GAO P K, PANG J L, HUANG C C, et al. Weathering intensity of the Chafangcun loess-paleosol profile in Shaanxi, China and its response to climate change [J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(5): 1248 - 1253.