

末次冰期-间冰期旋回朝那黄土 颜色特征及古气候意义

王千锁^{1,2}, 宋友桂², 李吉均^{1,3}, 赵志军¹, 荣 培¹

(1. 南京师范大学地理科学学院 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 江苏 南京 210046;

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, 陕西 西安 710061;

3. 兰州大学资源环境学院 西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 对黄土高原中部朝那剖面末次冰期-间冰期旋回黄土-古土壤序列色度指标与磁化率对比研究后发现, 亮度 L^* 值与Hm(赤铁矿)和Gt(针铁矿)的比值相关性较好, 在 S_0 和 L_1 阶段其与Hm和Gt的比值呈正相关, 在 S_1 阶段为负相关。红度 a^* 与Hm和Gt的比值有较强的正相关关系, 反映土壤发育时期的水热条件。而黄度 b^* 与针铁矿的相关性较好, 与低频磁化率 χ_f 使用可以更好地反映土壤的发育程度。色度指标在变化频率和幅度上较磁化率大, 能很好地识别 S_1 阶段弱黄土-古土壤层。

关 键 词: 朝那剖面; 黄土-古土壤; 色度; 末次冰期-间冰期旋回

中图分类号: P593.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2015)11-1489-06

土壤颜色是土壤最明显的特征之一, 是土壤发育程度的重要指示^[1]。色度指标由于用量少和方便快捷等优点逐渐在古气候研究中得到了广泛的应用, 在黄土高原色度作为夏季风强度代用指标揭示出东亚季风千万年尺度特征^[2-8]。黄土-古土壤序列中白度值的变化趋势与第四纪冰期-间冰期旋回的波动特征一致, 很好地反映夏季风环流强度变化^[9,10]。铁氧化物成分和含量对土壤颜色的影响比较明显, 尤其是赤铁矿和针铁矿含量影响土壤的红度与黄度, 指示气候的波动^[5,11,12]。

黄土高原中部朝那剖面黄土-红粘土序列已有诸多古气候代用指标研究^[13-21], 但多集中于晚新近纪以来黄土-红粘土研究, 尤其是红粘土序列的研究, 而朝那剖面末次冰期-间冰期旋回黄土颜色的精细研究还未曾报道。本文在前人研究的基础上对朝那剖面末次间冰期以来黄土-古土壤序列的色度参数 L^* 、 a^* 、 b^* 和特征光谱与磁化率进行详细的对比研究, 揭示黄土颜色的变化规律以及色度指示的古气候意义, 对于理解和重建末次间冰期以来东亚季风的演化具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究材料

朝那剖面(CN)位于黄土高原中部甘肃省灵台县朝那镇南约5 km处的郑家什字村(35°7'N, 107°12'E)(图1)。研究区气候主要受亚洲季风控制, 夏季盛行来自于太平洋的暖湿气流, 冬季受西伯利亚高压冷锋控制^[18], 属暖温带半湿润气候, 年均气温8~9℃, 最热月均温22~24℃, 年降水量350~500 mm^[15,17,19]。剖面顶部海拔高度为1 464 m, 四周切割强烈, 地层出露十分完整。整个黄土-红粘土序列厚300 m, 黄土-古土壤序列厚约175 m, 由33组古土壤和黄土组成, 发育十分典型完整^[18,20]。本文选取朝那剖面黄土-古土壤序列上部10.4 m进行研究, 采样间距为5 cm, 共采得209个样品。剖面自上而下: 全新世古土壤(S_0)为灰褐色黑垆土, 团块结构, 见似棱柱状结构, 有黑色斑点和白色的碳酸钙薄膜; 末次冰期黄土(L_1)呈灰黄色到浅灰褐色, 团块结构, 富含大孔隙, 见碳酸盐薄膜和斑点; 末次间冰期古土壤(S_1)为复合古土壤, 上部为浅褐

收稿日期: 2014-05-20; 修订日期: 2014-10-27

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(41290253)、中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-02)资助。

作者简介: 王千锁(1984-), 男, 河南三门峡人, 博士研究生, 主要从事第四纪地质与矿物学研究。E-mail: wangqiansuo@gmail.com

通讯作者: 宋友桂, 研究员。E-mail: syg@ieecas.cn

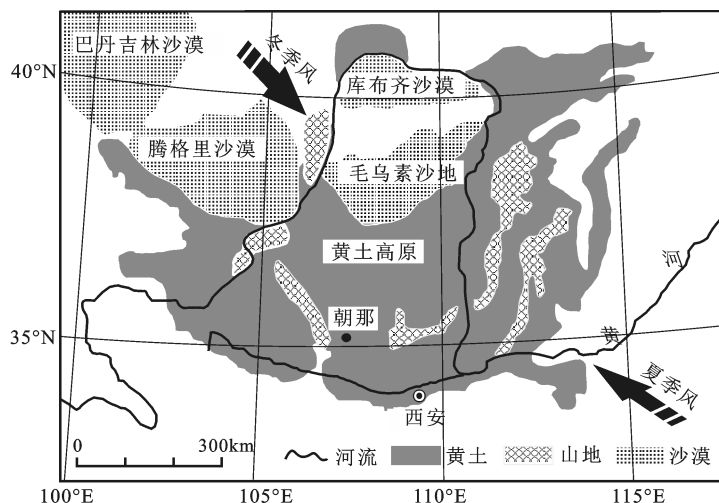


图1 朝那剖面位置

Fig. 1 Location of Chaona section

色弱古土壤,中夹浅黄褐色黄土,下部为典型的淋溶古土壤,团块结构,少量淀积粘粒胶膜,未见碳酸钙结核。为保持 S_1 层的完整性,我们的采样达到 L_2 的上部。

1.2 表色系统及实验方法

CIELAB表色系统是目前主要颜色描述和测量系统之一,该系统中使用 L^* 、 a^* 、 b^* 这3个参量描述任何均匀连续的颜色空间。 L^* 代表亮度,变化于黑(0)与白(100)之间; a^* 代表红绿彩度(也称红度),变化于绿(-60)和红(+60)之间; b^* 代表黄蓝彩度(也称黄度),变化在与蓝(-60)与黄(+60)之间。

取10 g左右放入40℃的烘箱里烘干,然后用玛瑙研钵将样品研磨均匀至200目以下,将待测样品放于Konica Minolta公司生产的CM-700 d分光测色计上进行测试,同一样品在不同区域测量3次取其平均值,使误差小于0.07。其中测试参数为CIED₆₅标准光源(色温为6 500 K),观察视野为10°,孔径为8 mm,色度值的标准差值 ΔE^*_{ab} 小于0.04,仪器测量范围为360~850 nm,扫描间隔为1 nm,使用硫酸钡制作的标准白板,将样品放入模具中压实、抹平,放入仪器进行光谱扫描,得到每个样品的光谱曲线^[22-27]。

各种铁氧化物都有其特征反射光谱^[28]尤其是针铁矿(Gt,文中量符号为 G_{it})和赤铁矿(Hm,文中量符号为 H_{hm}),研究发现赤铁矿只有一个显著的反射峰(位于565~575 nm),当赤铁矿含量增加时,峰高增加并且最大峰向长波长方向移动;而针铁矿有两个反射峰(主峰在535 nm,次峰在435 nm),

最高峰也随着针铁矿含量的增加而向长波长方向移动^[5,29]。我们通过对每个样品的光谱曲线进行一次微分计算,点数设为5,系数为100,赤铁矿读取570 nm峰值,针铁矿读取535 nm峰值,获得样品Hm和Gt的相对含量值以及 H_{hm}/G_{it} 的变化,赤铁矿和针铁矿误差分别为 $\pm 5\%$ 和 $\pm 7\%$ ^[14,16,30]。磁化率测量利用Bartington MS2B型磁化率仪进行,取风干后的全样约10 g,室温下测得低频(0.47 kHz)磁化率和高频(4.7 kHz)磁化率,分别换算成低频和高频质量磁化率(χ_{lf} , χ_{hf}),并计算百分比频率磁化率 $[\chi_{fd}\% = (\chi_{lf} - \chi_{fd})/\chi_{lf} \times 100\%]$ 。

2 结果与讨论

朝那剖面色度指标(L^* 、 a^* 、 b^*)和特征光谱(Gt、Hm、 H_{hm}/G_{it})及磁化率指标(χ_{lf} 和 $\chi_{fd}\%$)的结果如图2所示。根据地层特征,末次冰期黄土层(L_1)分为两层黄土(L_{1LL1} 和 L_{1LL2})和一层弱古土壤(L_{1SS}),末次间冰期古土壤层(S_1)分为两层弱古土壤(S_{1SS1} 和 S_{1SS2})夹一层黄土层(S_{1LL})。

2.1 亮度特征及气候意义

图3说明红度、黄度、赤铁矿与针铁矿的比值以及百分频率磁化率和亮度之间无论是正相关还是负相关,但都有较强的相关性,它们是影响亮度的几个主要因素。亮度 L^* 指土壤的明暗程度,随成壤强度的变化而变化,其主要受土壤的湿度、粗糙度、矿物成分等多种因素影响, a^* 和 b^* 对 L^* 也有一定程度的影响^[31-33]。 S_1 以来剖面 L^* 值的范围为

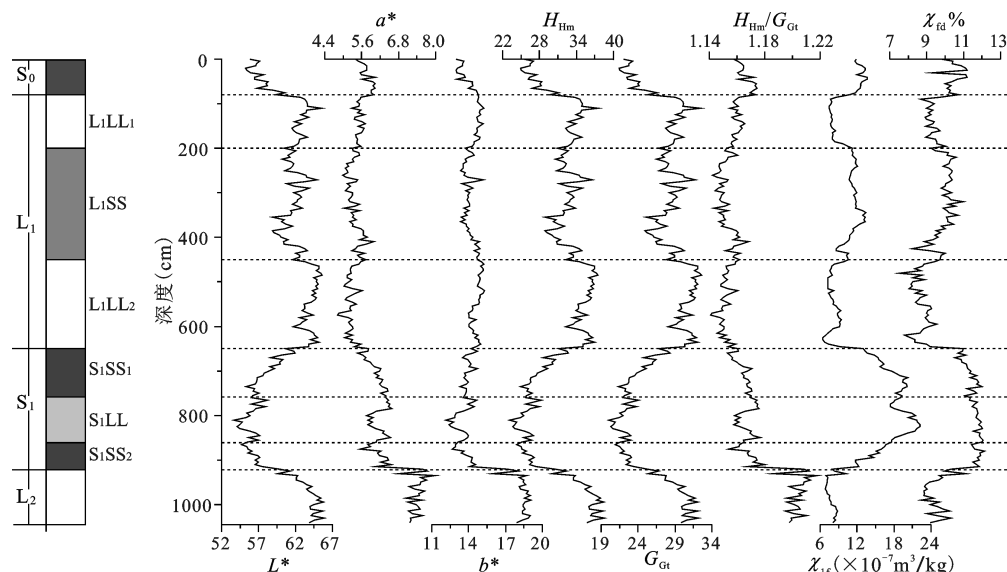


图2 朝那剖面黄土-古土壤序列及色度、磁化率变化特征

Fig. 2 Loess-paleosol sequence, Colors, Magnetic susceptibility in Chaona section

53.68~65.57, 平均值为 60.53, 变化幅度为 22.15%。各层 L^* 平均值的大小顺序依次为 L_1LL_2 (63.99) > L_1LL_1 (62.88) > L_1SS (61.58) > S_0 (57.27) > S_1 (57.13)。线性分析 L^* 与 a^* 之间呈明显的负相关 ($R=-0.777$) (图 3a) 而与 b^* 呈正相关关系 ($R=0.758$) (图 3b), 说明 a^* 、 b^* 的颜色变化是影响 L^* 明亮程度的显著因素之一。

L^* 可以反映区域降水量的变化^[9,14]。Hm 和 Gt 为土壤和沉积物中的常见矿物, 在较高的年平均温度、相对低的年平均降雨量和干湿季分明的水热条件有利于次生 Hm 形成, 而较低的年平均温度、相对高的年均雨量 Gt 生成较多^[8,11,34]。 H_{tm}/G_{gt} 的大小可以指示气候环境的变化^[5], 即温度和降水量相对大小的变化。当 H_{tm}/G_{gt} 减小时, 温度降低湿度增加; 反之, 温度升高湿度减小。 L^* 与 H_{tm}/G_{gt} 呈负相关 (图 3c), 但在若古土壤 S_1SS_1 阶段 L^* 与 H_{tm}/G_{gt} 变化趋势相反 (图 2), 而在其他黄土-古土壤阶段一致性较高, 虽然 Hm 和 Gt 相对含量较少, 但成壤作用强, 磁化率高, 再加上较高的 H_{tm}/G_{gt} , 使得 L^* 值小颜色较暗。因此土壤中 Hm 和 Gt 的含量以及 H_{tm}/G_{gt} 是气候环境变化的良好指示。

磁化率强度通常与成壤强度有关, 大致反映亚铁磁性矿物总体含量, 尤其百分比频率磁化率 ($\chi_{fd}\%$) 通常用来指示超顺磁性亚铁磁性矿物的相对含量, 进而反映成壤作用的强弱, 指示了以气温降水为代表的夏季风强度的变化^[35-37]。 L^* 与 $\chi_{fd}\%$ 之

间显著的负相关 ($R=-0.865$) (图 3d) 说明反映成壤强度对土壤亮度的影响较为显著。 L^* 在黄土-古土壤序列中呈现明显的峰谷交错变化, 与磁化率的变化正好相反, 与 Hm 和 Gt 含量变化较相似, 其波动很好地记载气候波动信息。

2.2 彩度特征及气候意义

彩度主要包括红度 a^* 和黄度 b^* 。 S_1 以来剖面 a^* 值的范围为 4.82~7.59, 平均值为 5.63, 变化幅度为 57.47%, 各层 a^* 的平均值的大小顺序为 S_1 (6.13) > S_0 (5.79) > L_1LL_1 (5.51) > L_1SS (5.36) > L_1LL_2 (5.26)。 b^* 曲线的波动较 a^* 要小, 平均值为 14.17, 变化幅度为 41.33%, 各层 b^* 的平均值的大小顺序为 L_1LL_1 (14.78) > L_1LL_2 (14.69) > L_1SS (14.02) > S_1 (13.78) > S_0 (13.77)。 a^* 和 b^* 是致色物质在土壤颜色中的主要表现, 在黄土与古土壤中的颜色差异主要受控于铁氧化物尤其是 Gt 和 Hm 含量的相对变化。在气候相对干燥、氧化作用较强的条件下磁性矿物氧化形成 Hm, 从而使土壤呈现红色; 而在潮湿的还原环境下容易形成 Gt 从而使土壤呈现黄色^[5,14,28]。通过分析我们发现, a^* 和 H_{tm} 负相关明显 ($R=-0.770$) (图 4a), 而 a^* 和 H_{tm}/G_{gt} 之间的正相关很强 ($R=0.941$) (图 4b), 说明 H_{tm} 含量对 a^* 的变化影响很大, 温度和水分对 a^* 的影响显著^[5,38]。与磁化率对比上, a^* 与 $\chi_{fd}\%$ 正相关较强 ($R=0.716$) (图 4c), 但是曲线对比中 (图 2) 并不是完全一致的, 在 S_0 和 L_1 中, a^* 与 $\chi_{fd}\%$ 呈现峰谷一致的正相关波动, 而

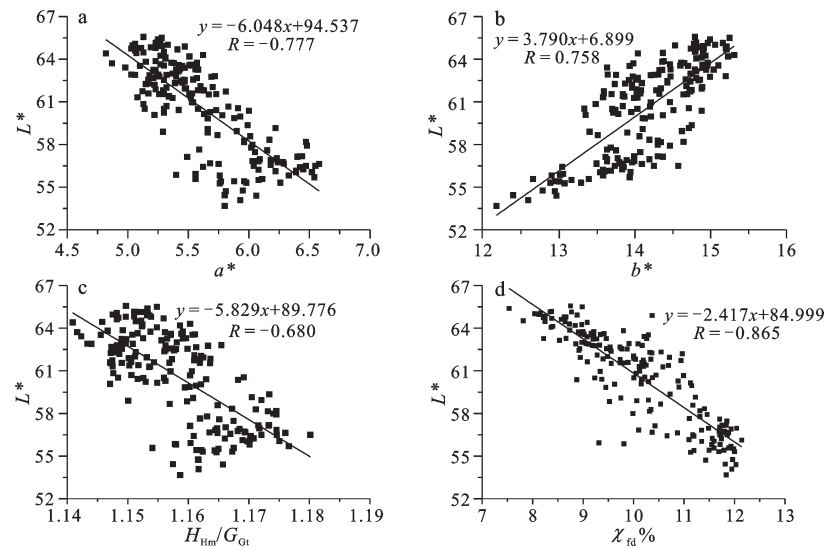


图3 朝那剖面 L^* 、 a^* 、 b^* 、 $H_{\text{Hm}}/G_{\text{Gt}}$ 以及百分比频率磁化率之间的相关关系

Fig. 3 Relationship among L^* , a^* , b^* and the ratio of Hm and Gt, and $\chi_{\text{rd}}\%$ in Chaona section

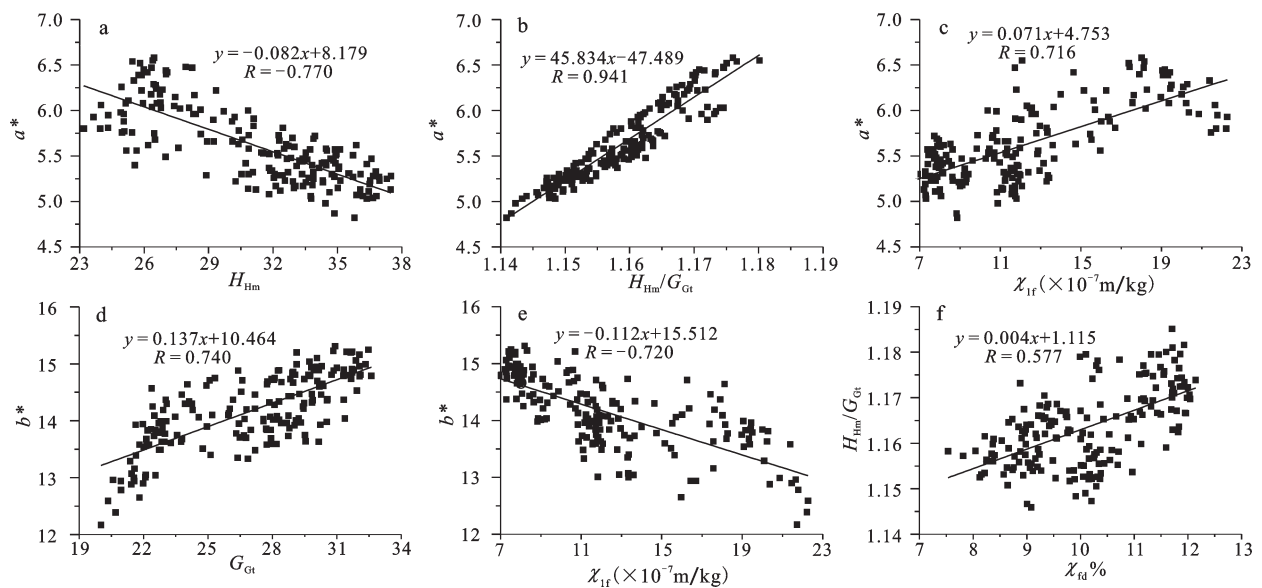


图4 朝那剖面 a^* 、 b^* 与特征光谱及其与磁化率的相关关系

Fig. 4 Relationships between a^* and b^* , Hm, the ratio of Hm and Gt, χ_{ir} in Chaona section

在 S_1 中变化趋势相反,主要是因为是在干旱温暖的氧化环境下,Hm生成多,成壤作用弱,磁性矿物产生少,故而 a^* 值高, χ_{ir} 低;潮湿的环境下Hm生成少,成壤作用强,磁性矿物产生多, χ_{ir} 值高, a^* 较低。

同时, b^* 和 G_{Gt} 之间正相关关系较强($R=0.740$)(图4d),说明 G_{Gt} 是 b^* 变化的主要因素之一。同时 b^* 与 χ_{ir} 显著的负相关性($R=-0.720$)(图4e)在 $S_0\sim S_1$ 间有较好的一致性,说明成壤作用强度与 b^* 是此消彼长关系。同时 a^* 、 b^* 以及 $H_{\text{Hm}}/G_{\text{Gt}}$ 很好地指示

了末次间冰期古土壤(S_1)的发育程度(图2),在曲线波动的频率和幅度上也较 χ_{ir} 和 $\chi_{\text{rd}}\%$ 好,因此朝那剖面的色度指标能够更好地记录末次间冰期以来的成壤过程和气候演化,而且更为灵敏。

3 结 论

通过对黄土高原朝那剖面末次间冰期以来的色度指标和特征光谱及其与磁化率的对比表明, L^* 、 a^* 、 b^* 都可以在不同程度上反映气候变化特

征。亮度 L^* 与 $H_{\text{hm}}/G_{\text{Gt}}$ 相关性较好,在 S_0 和 L_1 阶段与 $H_{\text{hm}}/G_{\text{Gt}}$ 呈正相关,而在 S_1 阶段为负相关。红度 a^* 与 $H_{\text{hm}}/G_{\text{Gt}}$ 有较强的正相关,反映土壤发育时期的水热条件。黄度 b^* 与针铁矿的相关性较好,与 χ_{ir} 一起使用可以更好地反映土壤的发育程度。相对于磁化率而言,色度指标变化有较高的频率和幅度,能更敏感地反映气候变化特征。

参考文献:

- [1] 柯夫达 B A.土壤学原理(上)[M]//陆宝树,周礼恺,吴珊眉,译.北京:科学出版社,1981:19~20.
- [2] 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985:1~481.
- [3] Kukla G, An Z S. Loess stratigraphy in central China[J]. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1989, **72**: 203-225.
- [4] An Z S, Liu T S, Lu Y C et al. The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess-Paleosol sequence in central China [J]. *Quaternary International*, 1990, **7-8**: 91-95.
- [5] 季峻峰,陈 骏, W Balsam. 黄土剖面中赤铁矿和针铁矿的定量分析与气候干湿变化研究[J]. *第四纪研究*, 2007, **27**(2): 221~229.
- [6] 刘 策,宋少华,孔祥辉. 西峰蔡家咀黄土剖面记录的末次盛冰期到全新世最佳期气候变化[J]. *地理科学*, 2011, **31**(4): 508~512.
- [7] 胡春生,潘保田,苏 怀. 黄土高原0.8 Ma以来地面抬升的时空特征研究[J]. *地理科学*, 2012, **32**(9): 1131~1135.
- [8] 杨胜利,方小敏,李吉均,等. 表土颜色和气候定性至半定量关系研究[J]. *中国科学(D辑)*, 2001, **31**(增刊): 175~181.
- [9] 陈 旻,陈 骏,季峻峰,等. 陕西洛川黄土剖面的白度参数及其古气候意义[J]. *地质论评*, 2002, **48**(1): 38~43.
- [10] 丁 敏,庞奖励,黄春长,等. 全新世黄土古土壤序列色度特征及气候意义[J]. *陕西师范大学学报*, 2010, **38**(5): 92~97.
- [11] 石培宏,杨太保,田庆春. 靖远黄土-古土壤色度变化特征分析及古气候意义[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2012, **48**(2): 15~23.
- [12] 何 柳,孙有斌,安芷生. 中国黄土颜色变化的控制因素和气候意义[J]. *地球化学*, 2010, **39**(5): 448~455.
- [13] 宋友桂,方小敏,李吉均,等. 六盘山东麓朝那剖面红粘土年代及其构造意义[J]. *第四纪研究*, 2000, **20**(5): 457~463.
- [14] 宋友桂,方小敏,石川尚人,等. 1.5 Ma以来黄土高原风尘堆积的岩石磁学记录与中更新世气候转型[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, **25**(3): 43~51.
- [15] Song Y G, Fang X M, Torii M et al. Late Neogene rock magnetic record of climatic variation from Chinese eolian sediments related to uplift of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, **30**: 324-332.
- [16] Song Y G, Fang X M, King J W et al. Magnetic parameter variations in the Chaona loess/paleosol sequences in the central hinese Loess Plateau, and their significance for the middle Pleistocene climate transition[J]. *Quaternary Research*, 2014, **81**: 433-444.
- [17] Wu F L, Fang X M, Ma Y Z. Plio-Quaternary stepwise drying of Asia: Evidence from a 3Ma pollen record from the Chinese Loess Plateau[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, **257**: 160-169.
- [18] Bai Y, Fang X M, Nie J S et al. A preliminary reconstruction of the paleoecological and paleoclimatic history of the Chinese Loess Plateau from the application of biomarkers[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2009, **271**: 161-169.
- [19] 吕连清,方小敏, Mason J A, 等. 8.1 Ma以来朝那黄土-红黏土剖面粒度揭示的冬季风与北半球高纬气候的耦合演化[J]. *中国科学(D辑)*, 2001, **31**(增刊): 149~154.
- [20] 马玉贞,吴福莉,方小敏,等. 黄土高原陇东盆地朝那红黏土 8.1~2.6 Ma的孢粉记录[J]. *科学通报*, 2005, **50**(15): 1627~1635.
- [21] 李香钰,方小敏,杨一博,等. 3 Ma以来黄土高原朝那黄土-红粘土序列赤铁矿记录及其古气候意义[J]. *第四纪研究*, 2012, **32**(4): 700~708.
- [22] Barrett L R. Spectrophotometric color measurement in situ in well drained sandy soils[J]. *Geoderma*, 2002, **108**: 49-77.
- [23] Giosan L, Flood R D, Aller R C. Paleooceanographic significance of sediment color on western North Atlantic drifts: I. Origin of color[J]. *Marine Geology*, 2002, **189**: 25-41.
- [24] Helmke J P, Schulz M, Bauch H A. Sediment-color record from the northeast Atlantic reveals patterns of millennial-scale climate variability during the past 500 000 years[J]. *Quaternary Research*, 2002, **57**: 49-57.
- [25] Miao X D, Mason J A, Johnson W C et al. High-resolution proxy record of Holocene climate from a loess section in Southwestern Nebraska, USA[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, **245**: 368-381.
- [26] Sánchez-Marañón M, Ortega R, Miralles I et al. Estimating the mass wetness of Spanish arid soils from lightness measurements [J]. *Geoderma*, 2007, **141**: 397-406.
- [27] Sun Y B, He L, Liang L J et al. Changing color of Chinese loess: Geochemical constraint and paleoclimatic significance[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, **40**: 1131-1138.
- [28] Sherman D M, Waite T D. Electronic spectra of Fe^{3+} oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV[J]. *American Mineralogist*, 1985, **70**: 1262-1269.
- [29] Li X, Hu X M, Cai Y F. Quantitative analysis of iron oxide concentrations within Aptain-Albian cyclic oceanic red beds in ODP Hole 1049C, North Atlantic[J]. *Sedimentary Geology*, 2011, **235**: 91-99.
- [30] Liu Q S, Torrent J, Barron V. Quantification of hematite from the visible diffuse reflectance spectrum: effects of aluminium substitution and grain morphology[J]. *Clay Minerals*, 2011, **46**: 137-147.
- [31] Ji J F, Balsam W, Chen J. Mineralogic and Climatic Interpretations of the Luochuan Loess Section (China) based on diffuse reflectance spectrophotometry[J]. *Quaternary Research*, 2001, **56**: 23-30.
- [32] Chen J, Ji J F, Balsam W et al. Characterization of the Chinese loess-paleosol stratigraphy by whiteness measurement[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, **183**: 287-297.
- [33] Yang S L, Ding Z L. Color reflectance of Chinese loess and its implications for climate gradient changes during the last two glacial-interglacial cycles[J]. *Geophysical research letters*, 2003,

- 30(20):2058.
- [34] 刘彩彩,邓成龙.南方红土的磁性矿物组成及其区域性差异[J].第四纪研究,2012,32(4):626~634.
- [35] An Z S,Kukla G J,Porter S C.Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of Central China during the last 130 000 years[J].Quaternary Research,1991,36:29-36.
- [36] Liu X M,Shaw J,Liu T S,et al.Magnetic mineralogy of Chinese loess and its significance[J].Geophysical Journal International, 1992,108:301-308.
- [37] An Z S.The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate[J].Quaternary Science Reviews,2000,19:171-187.
- [38] Ji J F,Balsam W,Chen J.Mineralogic and Climatic Interpretations of the Luochuan Loess Section(China) Based on Diffuse Reflectance Spectrophotometry[J].Quaternary Research,2001, 56:23-30.

Characteristics of Color in Chaona Section and Its Paleoclimatic Significance During the Last Glacial-interglacial Cycle

WANG Qian-suo^{1,2}, SONG You-gui², LI Ji-jun^{1,3}, ZHAO Zhi-jun¹, RONG Pei¹

(1. Key Laboratory of Environmental Evolution and Ecological Construct of Jiangsu Province, College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth and Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 3. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education of China, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The loess-paleosol sequences on the Chinese Loess Plateau (CLP) record the evolution of East Asian Monsoon. Soil color, a sensitive proxy of paleoclimate, has long been used for soil identification and qualitative determination of soil characteristics. Meanwhile it is also used as an indicator of field soil physics, chemical and biological properties as well as of occurrence of soil process. Here we focus on the characteristics and significance of soil color of Chaona loess-paleosol Sequence in CLP since the last Interglacial period. The study area is located near the town of Chaona (35°7'N, 107°12'E) in the central CLP. The loess deposit of sequence is 175 m thick and contains 33 paleosol units. The paleosol within the loess is brownish or reddish with substantial clay skins developed and carbonate nodules are scattered commonly below the soils. Our attention has been given to studies of the last glacial-interglacial cycle and the overlying Holocene paleosol (S_0). The last glacial loess (L_1) consists of two primary loess units (L_{1LL1} and L_{1LL2}), separated by a weak soil complex (L_1SS). And the last interglacial paleosol (S_1) can be further divided into three subunits, including two moderate developed paleosol complexes (S_1SS_1 and S_1SS_2) and a loess horizon (S_1LL). We compared chromatic indexes with magnetic susceptibility. The results indicated that lightness L^* can be good correlation with the ratio of Hm and Gt that reflects the precipitation. Lightness L^* has a positive correlation with the ratio of Hm and Gt in since the last glacial period, but there is obvious negative correlation between lightness L^* and the ratio of Hm and Gt during the last interglacial period. Meanwhile we find that a positive correlation exists between a^* and the ratio of Hm and Gt in the section, which reflects hydrothermal conditions in the soil development period. The value of b^* primarily influenced by the content of Gt can be used together with χ_{if} in order to reproduce the development degree of the soil. In contrast to magnetic susceptibility, chroma indexes from S_1 paleosol are characterized by high-frequency and high-amplitude variations, which also documents the weak loess-paleosol sequences during the last interglacial period (S_1). Furthermore, a^* and b^* are the major factors that influences L^* value significantly. Therefore, Chroma index, a proxy that documents the sensitive and great evidence of climate variations, can be used to develop the complementary study with magnetic susceptibility, which can reconstruct the process of paleoclimate reasonably and reliably.

Key words: Chaona section; loess-paleosol sequence; soil color; the last glacial-interglacial cycle