

# 淮河上游全新世黄土-古土壤序列元素地球化学 特性研究\*

李新艳 黄春长<sup>†</sup> 庞奖励 王利军 何 忠

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

**摘 要** 在野外考察研究的基础上,对河南禹州全新世风成黄土-古土壤剖面系统采样,利用 X-荧光光谱仪测定了常量元素和微量元素的含量及其变化,并与磁化率曲线、粒度变化曲线对比分析发现:常量元素氧化物比值钾钠比、残积系数和以 Rb 为代表的微量元素含量等随剖面层次呈规律性变化,即在古土壤层(S<sub>0</sub>)中含量最高,表土层(MS)中次之,在黄土层(L<sub>1</sub>、L<sub>4</sub>、L<sub>0</sub>)中最低。硅铝率和 Sr 的含量表现出相反的变化规律。表明在全新世古土壤层和表土层形成时期,气候温暖湿润,成壤作用和次生粘化作用较强;在黄土堆积时期,气候比较干旱,沙尘暴频繁,成壤作用微弱。这些化学参数与磁化率曲线可以进行对比,表明成土过程中元素的迁移变化受全新世以来气候变化和成壤环境变化的控制。与黄土高原腹地的洛川剖面相比,淮河上游禹州剖面中绝大多数常量元素的含量较高,而绝大多数微量元素的含量偏低,磁化率也显著偏低,绝对值差别很大,粒度组成当中细沙成分含量很高,这说明淮河上游黄土物质来源与黄土高原地区明显不同。联系全新世时期黄河频繁泛滥、改道、沉积与黄淮平原盛行东北风形成流沙地的事实,认为淮河上游的黄土是黄河泛滥沉积物经过风沙活动改造,由东北风力系统搬运而来的近源粉尘堆积,再经过就地风化或者成土改造而形成。

**关键词** 黄土-古土壤;元素地球化学;磁化率;全新世;淮河上游

**中图分类号** X53 **文献标识码** A

前人对黄土高原的黄土-古土壤进行了大量的研究,取得了丰硕的成果<sup>[1~7]</sup>。这些研究确定了一系列古气候指标,例如磁化率、粒度成分、游离铁/全铁比值<sup>[8]</sup>、Rb/Sr 值<sup>[9,10]</sup>、碳酸盐含量<sup>[11]</sup>、有机碳总量<sup>[11]</sup>和各种成分比率参数<sup>[8,12]</sup>等。利用这些指标可以揭示黄土高原古季风气候与成壤环境的多旋回变化。文启忠等<sup>[13]</sup>编制了黄河中游地区黄土微量元素分布图,表明各元素的含量均自西北向东南逐渐增加,并明显地呈带状分布。但是截至目前,对淮河上游地区黄土-古土壤缺乏深入的研究,仅有的少量研究工作也主要在磁性地层学、农业土壤的肥力和有机碳及工程地质的土层力学性质方面<sup>[14~27]</sup>,对于该区域全新世以来土壤元素含量的动态变化研究较少。本文研究了元素地球化学指标在河南禹州 YPC 黄土-古土壤剖面中的应用及其对古气候的指示意义,并揭示淮河上游地区黄土-古土壤的物质来

源问题。

## 1 研究地点与剖面特征

研究区域位于淮河支流颍河上游地区的禹州市北部黄土丘陵台地。禹州市属暖温带半湿润大陆性季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温为 14.4,最冷月 1 月平均气温 0.2,极端最低气温 -13.9,最热月 7 月均温 27.7,极端最高气温 42.9;生长期 259.2 d,无霜期 218 d;年平均日照 2 422 h;年平均降水量为 680 mm。经过广泛的野外调查研究,选择全新世黄土-古土壤剖面层次清楚、发育完整、人类活动影响很少的 YPC 剖面进行深入细致的研究。并且自地表向下按 2 cm 间距连续取样,共采集样品 118 个。根据野外观察并结合室内分析,对该剖面进行土壤-地层学划分(见表 1)。

\*国家自然科学基金项目(40571154,40471119)和国家社会科学基金项目(04BZS022)资助

<sup>†</sup> 通讯作者:黄春长。E-mail: CChuang@snnu.edu.cn

作者简介:李新艳(1978~),女,山东泰安人,硕士研究生,土地资源开发与环境演变专业。E-mail: li992004@yahoo.com.cn

收稿日期:2005-12-20;收到修改稿日期:2006-06-20

表 1 河南禹州全新世 YPC 黄土-古土壤序列形态特征描述

Table 1 Morphological feature of the Holocene YPC loess-paleosol serial in Yuzhou county, Henan

土壤地层 Pedo-Stratigraphy	深度 Depth (cm)	颜色及结构构造特征 Color and structural features
表土层 (MS)	0 ~ 40	浊橙色, 团块状结构, 粉沙质地, 含有碳酸盐粉霜
全新世黄土层 (L <sub>0</sub> )	40 ~ 86	浊黄橙, 块状结构, 沙质粉沙土质地, 疏松, 含有碳酸盐粉霜
古土壤层 (S <sub>0</sub> )	86 ~ 146	浊棕色, 团状结构, 较坚硬, 其表层偶含个别细小木炭屑
过渡层 (L <sub>1</sub> )	146 ~ 186	浊橙色, 块状结构, 沙质粉沙土质地, 含有细小的钙结核
晚更新世黄土层 (L <sub>1</sub> )	> 186	浊黄色, 沙质粉沙土质地, 均质块状结构, 很疏松, 含有细沙、细小钙结核和个别蜗牛壳, 相当于黄土高原的马兰黄土

通过观察分析,发现该地区黄土-古土壤层序结构及其反映的气候变化过程均与黄土高原相同,所以根据岩性地层学与气候地层学原理,通过土壤地层对比研究<sup>[3~6]</sup>,发现从 186 cm 深度成壤改造开始出现,故确定为全新世起点,根据目前国际上通用的全新世起始时间<sup>[28]</sup>,确定其年代为 11 500 a BP, 146 cm 开始出现强烈的成壤改造作用,故确定为全新世大暖期的起点,年代为 8 500 a BP, 86 cm 深度古土壤 S<sub>0</sub>成壤终止,气候恶化<sup>[28]</sup>,确定为 3 100 a BP, 40 cm 深度以上为 1 500 a BP 形成的耕作土壤。这样就获得了 YPC 剖面的基本年代框架。

## 2 研究方法

分析测定之前先将采集的样品在室内自然风干。

磁化率的测量<sup>[6,9]</sup>:称取 10 g 样品粗研磨至土粒在 2mm 以下,置于小塑料盒,使用英国 Batington 公司生产的 MS-2B 型磁化率仪,对每个样品进行低频磁化率(0.47 Hz)的测定,连续测量 5 次,取其平均值。

粒度的测量<sup>[6,29]</sup>:取 0.5 g 风干土样置于 250 ml 的烧杯中,加入适量 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10%) 和 HCl (10%) 进行预处理,分别除去有机质和碳酸盐;给烧杯注满蒸馏水后静置 48 h,再抽去蒸馏水,重复几次直至溶液呈中性为止;加入 5 ml 0.05 mol L<sup>-1</sup> (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 进行分散;使用英国 Malvern 公司生产的 Mastersize-S 型激光粒度仪在超声波量为 12.50 单位条件下进行测量,待遮光度稳定在 20% 左右后重复测量 5 次,取最后一次测量值为最后测量结果。

化学元素分析<sup>[10]</sup>:称取并研磨样品 4 g,过 200 目筛后,在压样机上压片编号按顺序放入样杯中,利用荷兰 Panalytical 公司生产的 PW2403 X-射线荧光光谱仪进行测定。主要测定了 Si、Al、Fe、Mg、K、Na

等常量元素和 Zn、V、Rb、Cu、Ni、Co、Ba、Ti、Sr、Zr、Mn、Ca 等微量元素含量。

应用 MS-Excel 软件对磁化率、粒度、化学元素含量及地球化学参数进行统计分析并绘制曲线,应用 SPSS 软件对微量元素进行聚类分析<sup>[30]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 磁化率、粒度、化学参数的实验结果

黄土-古土壤的磁化率通常能反映风化成壤作用的强度,被认为与夏季风控制的降水量变化密切相关<sup>[31~33]</sup>。YPC 剖面中磁化率变化范围在  $44.7 \times 10^{-8} \sim 83.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ,远低于黄土高原地区。其中,晚更新世黄土层 (L<sub>1</sub>) 磁化率最低 ( $44.7 \times 10^{-8} \sim 56.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ),平均值为  $50.3 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ;古土壤层 (S<sub>0</sub>) 磁化率最高 ( $63 \times 10^{-8} \sim 83.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ),平均值为  $73.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ;过渡层 (L<sub>1</sub>)、全新世黄土层 (L<sub>0</sub>) 和表土层 (MS) 介于二者之间。L<sub>1</sub> 和 L<sub>0</sub> 的磁化率大体相当,表土层 (MS) 磁化率略高于前两者 (图 1)。

粗粉沙 (0.05 ~ 0.01 mm) 是风尘物的基本组分<sup>[1,34]</sup>,也能反映沙尘暴的强度<sup>[6,12]</sup>。由于受沉积后成壤作用的影响,土层中 < 0.005 mm 的粘粒可用来反映与夏季风控制的降水量密切相关的成壤作用强度的变化<sup>[6]</sup>。在 YPC 剖面粗粉沙含量变化在 47% ~ 56%,粘粒含量变化在 7.6% ~ 23.4%,而细沙含量高达 10% ~ 30% (图 2),远大于黄土高原地区 (3% ~ 10%)<sup>[1]</sup>。

在土壤和沉积物常量元素研究中,元素氧化物的分子比率常被用来作为风化程度的度量<sup>[35]</sup>。它们包括硅铝率 (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、残积系数 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(CaO + MgO + Na<sub>2</sub>O) 和钾钠比 (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O) 等。

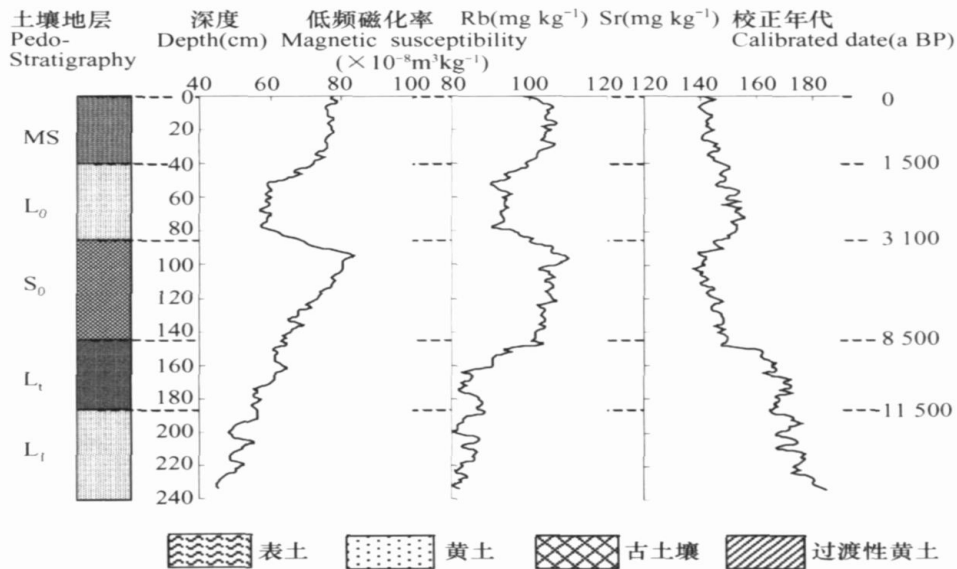


图 1 河南禹州 YPC 黄土-古土壤剖面全新世土壤地层划分、磁化率、Rb 和 Sr 含量曲线图

Fig. 1 Diagrams showing pedo-stratigraphy, magnetic susceptibility and contents of Rb and Sr in the Holocene loess-paleosol profile at the YPC site, Yuzhou County, Henan Province

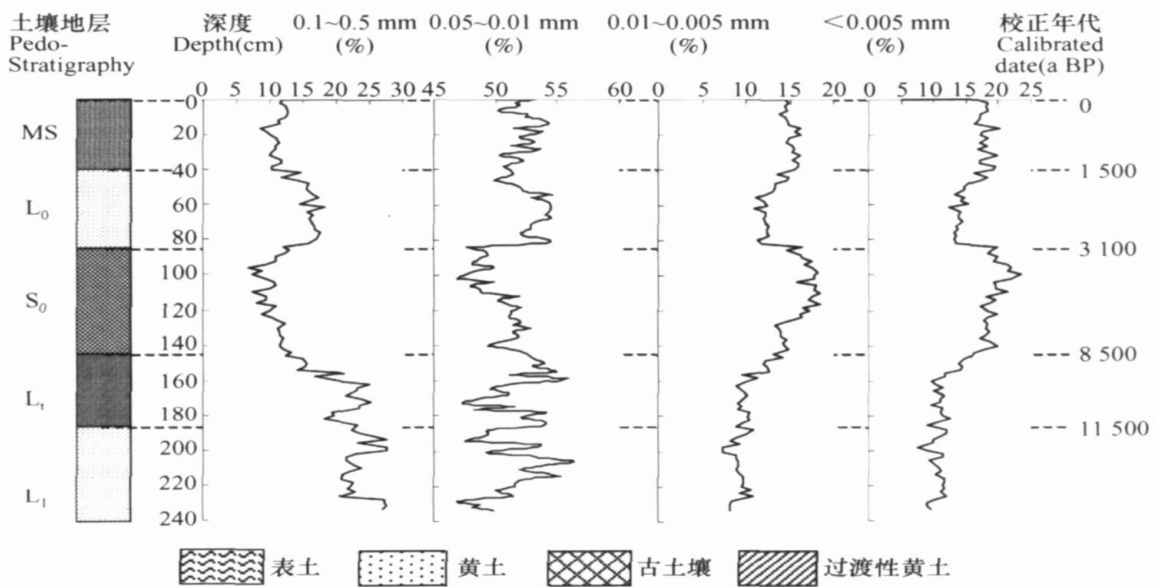


图 2 河南禹州 YPC 黄土-古土壤剖面全新世土壤地层划分和粒度曲线图

Fig. 2 Diagrams showing pedo-stratigraphy and particle-size distribution in the Holocene loess-paleosol profile at the YPC site, Yuzhou County, Henan Province

在 YPC 剖面硅铝率变化在 4.5 ~ 5.7 之间,在晚更新世黄土层(L<sub>1</sub>)中最高,平均为 5.3,在过渡层(L<sub>t</sub>)中有所减少,但幅度不大,平均为 5.1;在古土壤层(S<sub>0</sub>)中,硅铝率最低,平均为 4.8,在 90 ~ 120 cm 层位出现最低值,与磁化率峰值相对应;在全新世黄土层(L<sub>0</sub>)中,硅铝率明显增加,平均为 5.3,与磁化

率低值相对应;在表土层(MS)中,硅铝率明显减少,平均值略低于古土壤层(4.6)。钾钠比变化与硅铝率相反,变化范围为 1.06 ~ 1.98,在古土壤中最高,平均为 1.7,在黄土层中最低,平均为 1.3;残积系数变化在 1.4 ~ 4.1 之间,变化规律与钾钠比相似(图 3)。

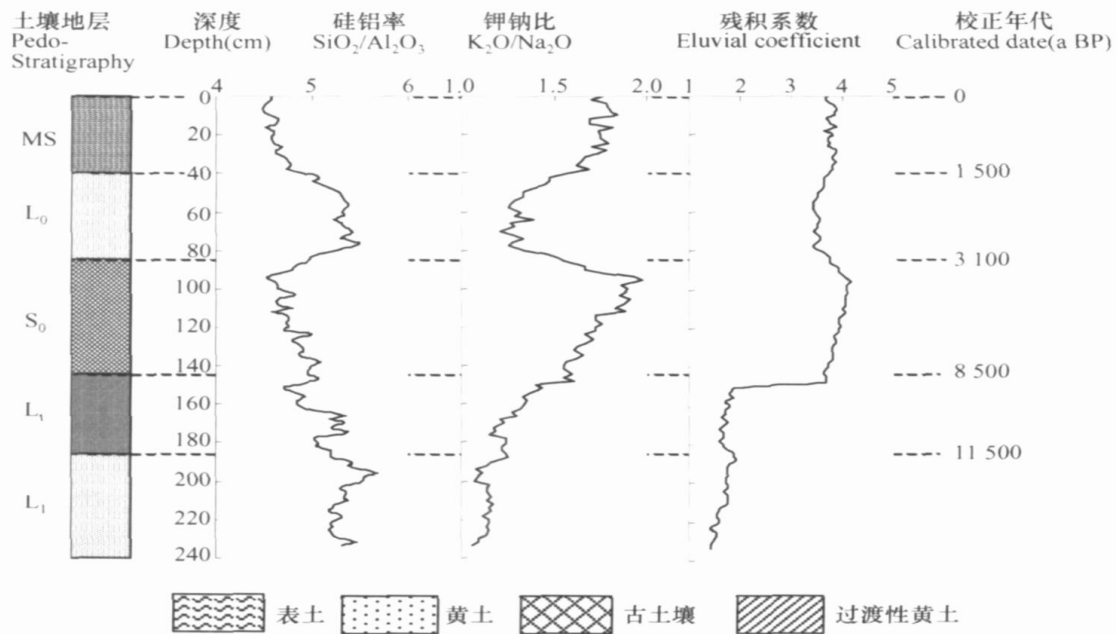


图3 河南禹州 YPC 黄土-古土壤剖面全新世土壤地层划分、硅铝率、钾钠比和残积系数曲线图

Fig. 3 Diagrams showing pedo-stratigraphy,  $SiO_2/Al_2O_3$  ratio,  $K_2O/Na_2O$  ratio and eluvial coefficient in the Holocene loess-paleosol profile at the YPC site, Yuzhou County, Henan Province

应用 SPSS 软件将 YPC 剖面微量元素 Zn、V、Rb、Cu、Ni、Co、Ba、Ti、Sr、Zr、Mn、Ga 进行 R 型层次聚类分析,可以将这些微量元素分成 2 类,Zn、V、Rb、Cu、Ni、Co、Ba、Ti、Zr、Mn、Ga 为一类, Sr 为一类。选择 Rb、Sr 为代表说明。在 YPC 剖面中 Rb 含量变化在  $80 \sim 110 \text{ mg kg}^{-1}$ ,在古土壤层 ( $S_0$ ) 含量最高 ( $101 \sim 110 \text{ mg kg}^{-1}$ ),在黄土层 ( $L_1, L_t, L_0$ ) 含量最低 ( $80 \sim 101 \text{ mg kg}^{-1}$ )。Sr 含量变化在  $137 \sim 185 \text{ mg kg}^{-1}$ ,其平均含量在黄土层 ( $163.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 中显著高于古土壤层和表土层 ( $144 \text{ mg kg}^{-1}$ ),含量变化幅度达 12% (图 1)。

### 3.2 讨论

与黄土高原的典型风成黄土-古土壤相比,淮河上游禹州 YPC 剖面的磁化率显然偏低。将 YPC 剖面与关中盆地西部的扶风 JYC 剖面、位于陇西庄浪的 XJN 剖面作粒度成分对比,可以看出 JYC 剖面 and XJN 剖面分别代表黄土高原的粘性黄土和粉沙质黄土,而禹州 YPC 则属于沙质黄土类型。这在其粒度分布频率曲线图上十分明确 (图 4),三个剖面具有相似的粗、中、细三组分结构,粗粒组分峰型最尖锐,相对含量也最高;细粒组分含量最低,峰型最不明显;中粒组分含量居中,表现为高低峰之间的过渡峰。禹州 YPC 剖面的黄土粒度峰值分布在  $40 \sim 60 \mu\text{m}$  之间,扶风 JYC 剖面黄土粒度峰值分布在  $15 \sim$

$25 \mu\text{m}$  之间,庄浪 XJN 剖面的黄土粒度峰值分布在  $25 \sim 35 \mu\text{m}$  之间。由图 4 可以看出禹州 YPC 的粒度远比黄土高原关中西部 JYC 和庄浪 XJN 的粒度要粗。说明淮河上游地区黄土与黄土高原黄土的物质有着完全不同的来源,属于不同风力系统作用的产物。次生  $Fe_2O_3$  与磁化率呈显著的正相关性 ( $p < 0.01$ ),可指示黄土-古土壤的风化强度<sup>[36]</sup>。与 JYC 剖面 and XJN 剖面相比,YPC 剖面黄土-古土壤物源物质当中  $Fe_2O_3$  含量较低,铁磁性矿物含量比较少,所以其黄土堆积物的磁化率就明显偏低 (表 2)。

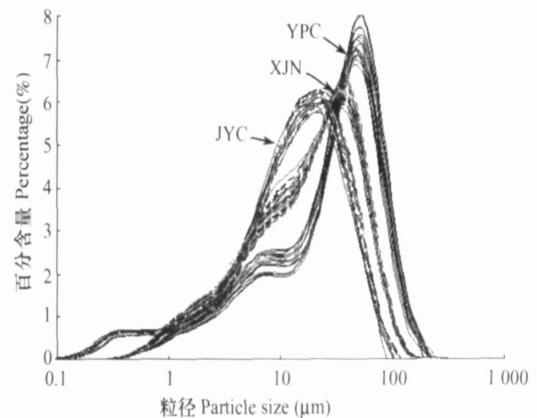


图4 河南禹州 YPC 剖面与扶风 JYC 剖面 and 庄浪 XJN 剖面黄土层粒度分布频率对比

Fig. 4 Particle size distribution of loess in the YPC profile JYC profile, and XJN profile

表 2 河南禹州 YPC 剖面与扶风 JYC 剖面和庄浪 XJN 剖面  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量 (%) 对比Table 2 Contents of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in the YPC profile, JYC profile and XJN profile

剖面 Profile	样品数 Sample numbers	土壤地层 Pedo-Stratigraphy				
		MS	$L_0$	$S_0$	$L_1$	$L_1$
YPC	118	4.66	4.15	4.67	3.89	3.63
JYC	160	5.30	5.02	5.28	4.82	4.57
XJN	170	4.43	4.38	4.59	4.49	4.55

从禹州 YPC 剖面各种粒度成分的变化来看(图 2), 黄土层细沙和粗粉沙含量最高, 粘土含量最低, 直观地反映出在黄土堆积时期风力作用和沙尘暴活动强烈, 成壤作用微弱; 在古土壤层和表土层细沙和粗粉沙含量最低, 粘土含量最高, 反映出气候条件改善, 风力作用和沙尘暴活动减弱, 成壤作用强烈。在古土壤形成过程中, 硅铝率随风化成土作用加强而渐次减少<sup>[1, 34]</sup>, 而钾钠比值相反成递增趋势<sup>[11]</sup>。在禹州 YPC 剖面, 古土壤硅铝率低, 黄土硅铝率高, 是由于黄土粒径粗、石英沙粒的含量高; 钾易被粘土矿物固定<sup>[37]</sup>,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值在古土壤层高于黄土层, 反映出古土壤层形成时期的水分条件、植被状况均比黄土层形成时期优越, 成壤改造作用强烈, 这也可以从磁化率变化得到进一步的证明。残积系数在黄土层较低, 说明黄土堆积时期风化淋溶作用较弱, 气候干旱; 在古土壤层最高, 说明 Al、Fe 残积较多, 气候暖湿<sup>[38]</sup>。

如表 3 所示, 微量元素 Rb 的含量在古土壤层( $S_0$ ) 最多, 反映出古土壤层的粘化作用强, 粘土矿物较多, 形成时期的气候比较温暖湿润, 成壤作用强。微量元素 Sr 的含量在晚更新世黄土层( $L_1$ ) 中显著

高于古土壤层( $S_0$ ) 和表土层(MS), 反映出在古土壤层和表土层形成时期, 由于气候湿润, 淋溶作用强<sup>[39]</sup>, Sr 以重碳酸盐形式随土壤溶液向下淋溶迁移; 而在晚更新世黄土层形成时期风化成壤改造强度较弱, Sr 元素很少发生淋失。Sr 在晚更新世黄土层( $L_1$ ) 和过渡层( $L_1$ ) 中的平均含量比在全新世黄土层( $L_0$ ) 中大, 说明  $L_1$  堆积时期要比  $L_0$  堆积时期干旱。在  $L_1$  和  $L_1$  中, Rb、Sr 的含量均变化很小, 说明黄土堆积期间微弱的风化作用没有使微量元素发生明显分异, 这一点与洛川剖面马兰黄土层中化学元素的分布规律一致<sup>[40]</sup>。硅铝率在黄土层平均值为 5.2, 低于洛川黄土的硅铝率(8.31)<sup>[11]</sup>, 反映出淮河上游地区黄土形成时期的气候并没有黄土高原地区那样的干旱。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值在晚更新世黄土层( $L_1$ ) 中最低(1.13), 但还是高于洛川剖面马兰黄土(0.91)<sup>[11]</sup>, 也说明了淮河上游地区晚更新世黄土形成时期的气候比黄土高原地区还要好些。残积系数所表现出来的规律与  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 、磁化率相似, 只是在古土壤层和过渡层之间的变化比  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 、磁化率更加明显, 因而可以更加明确的揭示出淮河上游全新世黄土与古土壤形成环境的差异。

表 3 河南禹州 YPC 黄土-古土壤剖面微量元素含量变化

Table 3 Variation of microelement contents in the YPC loess-paleosol profile in Yuzhou County, Henan Province

土壤地层 Pedo-Stratigraphy	Zn	V	Rb	Cu	Ni	Co	Ba	Ti	Sr	Zr	Mn	Ga
MS	59.9	74.2	103	20.6	29.8	11.9	506	4 008	143	308	362	17.5
$L_0$	52.9	65.5	94.4	16.7	25.1	10.9	480	3 817	151	303	350	16.3
$S_0$	60.2	73.8	105	21.2	30.5	12.2	529	3 935	145	292	896	17.4
$L_1$	49.4	64.6	88.1	16.4	24.7	9.79	449	3 803	166	370	465	15.3
$L_1$	46.4	59.9	83.5	15	22.7	9.19	435	3 657	175	335	450	14.8
洛川古土壤 <sup>1)</sup> Holocene paleosol	62	75	108	24	42	14.3	488	6 500	149	220	714	
$S_0$ in Luochuan												
洛川黄土 <sup>1)</sup> Holocene loess	60	82	99	24	38	14.3	489	6 600	188	212	651	
$L_1$ in Luochuan												

1) 洛川数据来源于参考文献[1][9][35] See referenes[1][9][35]

与洛川剖面相比, 禹州 YPC 剖面黄土物质粒度较粗, 含粗粉沙和细沙成分多, 氧化物  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  在全剖面中的含量较高, 而微量元素 Zn、V、Rb、Cu、Ni、Ga、Co、Ti、Sr 在全剖面中的含量较低,

只有 Ba 和 Mn 在古土壤层及 Zr 在全剖面中的含量较高(表 3)。杨一鸣等<sup>[41]</sup>曾经在新郑 PLG 剖面进行研究,结合黄淮平原的优势风力以及黄泛平原风沙活动的规律,证明淮河上游的风成黄土属于近源堆积,认为其物源主要是黄河改道、泛滥、决口沉积的泥沙当中的细沙和粉沙物质。这与本文的研究结论完全一致。淮河上游风成黄土与古土壤当中大多数微量元素含量偏低的主要原因,是由于淮河上游黄土的沉积速率较快,沉积粒径较粗;另外在黄河输送泥沙过程当中,一些矿物和活性较强的化学元素被流水携带到了下游入海,而泛滥平原泥沙沉积物作为淮河上游黄土物源成分与黄土高原黄土及其物源成分本身就有显著的不同。

## 4 结 论

1) 淮河上游禹州地区全新世黄土-古土壤物质的粒度成分与黄土高原显著不同,其中细沙和粗粉沙含量很高,说明淮河上游地区的风成黄土物质来源比较近,属于近源堆积物,而且搬运堆积过程当中风力作用与沙尘暴活动强劲。

2) 淮河上游黄土-古土壤序列钾钠比、残积系数和以 Rb 为代表的微量元素含量等随剖面层次呈规律性变化:即在古土壤层(S<sub>0</sub>)中含量最高,表土层(MS)中次之,在晚更新世与全新世黄土层(L<sub>1</sub>、L<sub>t</sub>、L<sub>0</sub>)中最低。硅铝率和 Sr 的含量表现出相反的变化规律。这些化学参数与磁化率曲线可以进行对比,表明成土过程中元素的迁移变化受全新世以来气候变化和成壤环境变化的控制。

3) 与黄土高原腹地的洛川剖面相比,淮河上游黄土-古土壤剖面中绝大多数常量元素的含量较高,而绝大多数微量元素的含量偏低,磁化率也显著偏低,绝对值差别很大。这说明淮河上游黄土-古土壤物质来源与黄土高原地区明显不同。淮河上游黄土的物源不是远源风尘物,而是来自黄河下游泛滥沉积物质,经过风沙活动改造,由东北方向的风力系统搬运沉积,在不同时段经过就地风化或者成壤改造而形成。

## 参 考 文 献

[1] 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 1~412. Liu D S. Loess and Environment (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 1~412

[2] 黄春长. 环境变迁. 北京: 科学出版社, 1998. 121~151.

Huang C C. Environmental Changes (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998. 121~151

- [3] 黄春长. 渭河流域 3100 年前资源退化与入地关系演变. 地理科学, 2001, 21(2): 30~35. Huang C C. The deterioration of land resources and the change in human-earth relationships in the Weihe River Basin at 3100 a BP (In Chinese). Geographic Science, 2001, 21(2): 30~35
- [4] 黄春长, 庞奖励, 陈宝群, 等. 渭河流域先周-西周时代环境和水土资源退化及其社会影响. 第四纪研究, 2003, 23(4): 404~414. Huang C C, Pang J L, Chen B Q, et al. Land degradation and its social impact in the Weihe River Drainage Basin during the Pre-dynastic Zhou-Western Zhou Dynasty (In Chinese). Quaternary Sciences, 2003, 23(4): 404~414
- [5] Huang C C, Pang J L, Chen S E, et al. Holocene dust accumulation and the formation of poly-cyclic cinnamon soils in the Chinese Loess Plateau. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28(12): 1259~1270
- [6] Huang C C, Pang J L, Zhou Q Y, et al. Holocene pedogenic change and the emergence and decline of rain-fed cereal agriculture on the Chinese Loess Plateau. Quaternary Science Reviews, 23(2004): 2525~2535
- [7] 庞奖励, 黄春长, 张占平, 等. 陕西岐山黄土剖面 Rb、Sr 组成与高分辨率气候变化. 沉积学报, 2001, 19(4): 638~641. Pang J L, Huang C C, Zhang Z P, et al. Rb, Sr elements and high resolution climatic records in the loess-paleosol profile at Qishan, Shanxi (In Chinese). Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 638~641
- [8] Guo Z T, Liu T S, Gao J, et al. High frequency pulses of East Asian monsoon climate in the last two glaciations: Link with the North Atlantic. Climate Dynamics, 1996, 12: 701~709
- [9] 陈骏, 汪永进, 季峻峰, 等. 陕西洛川黄土剖面的 Rb/Sr 值及其气候地层学意义. 第四纪研究, 1999, 7(4): 350~356. Chen J, Wang Y J, Ji J F, et al. Rb/Sr variations and its climatic stratigraphical significance of a loess-paleosol profile from Luochuan, Shaanxi Province (In Chinese). Quaternary Sciences, 1999, 7(4): 350~356
- [10] 陈骏, 安芷生, 汪永进, 等. 最近 800 ka 洛川黄土剖面中 Rb、Sr 分布和古季风变迁. 中国科学(D 辑), 1998, 128(6): 498~504. Chen J, An Z S, Wang Y J, et al. Distribution of Rb and Sr in the Luochuan loess-paleosol sequence of China during the last 800 ka-implications for paleomonsoon variations (In Chinese). Science in China (Series D), 1998, 128(6): 498~504
- [11] 文启忠, 刁桂仪, 贾蓉芬, 等. 末次间冰期以来渭南黄土剖面地球化学指标所反映的古气候变化. 地球化学, 1996, 25(6): 529~535. Wen Q Z, Diao G Y, Jia R F, et al. Geochemical indicators and their significance in paleoclimatic changes in Weinan loess section since the last interglacial (In Chinese). Geochimica, 1996, 25(6): 529~535
- [12] Liu T S, Guo Z T, Liu J Q, et al. Variation of eastern Asian monsoon over the last 140 000 years. Bulletin Socié Geologique France, 1995, 166: 221~229
- [13] 文启忠, 刁桂仪, 余素华, 等. 黄河中游地区马兰黄土微量元素

- 素分布图. 地球化学, 1986(4): 364~373. Wen Q Z, Diao G Y, Yu S H, *et al.* Maps of trace element distribution in the Malan loess from the middle reaches of the Yellow River (In Chinese). *Geochimica*, 1986(4): 364~373
- [14] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 郑州邙山桃花峪高分辨率晚更新世黄土地层. 地质力学学报, 1997, 3(2): 11~17. Jiang F C, Wu X H, Xiao H G, *et al.* The high resolution late Pleistocene loess stratigraphy in Taohuayu, Mangshan, Zhengzhou (In Chinese). *Journal of Geomechanics*, 1997, 3(2): 11~17
- [15] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 邙山黄土及三门峡贯通的时代. 见: 安芷生主编. 黄土·黄河·黄河文化. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 13~19. Jiang F C, Wu X H, Xiao H G, *et al.* The loess in Mangshan and the era of Sanmen Gorge transfixion. In: An Z S. ed. Loess, the Yellow River and Culture of the Yellow River (In Chinese). Zhengzhou: Yellow River and Water Conservancy Press, 1998. 13~19
- [16] 吴锡浩, 蒋复初, 王苏民, 等. 关于黄河贯通三门峡东流入海问题. 第四纪研究, 1998, 5(2): 118. Wu X H, Jiang F C, Wang S M, *et al.* On problem of the Yellow River passing through the Sanmen Gorge and flowing east into sea (In Chinese). *Quaternary Sciences*, 1998, 5(2): 118
- [17] 蒋复初, 吴锡浩, 孙东怀, 等. 中原邙山黄土地层. 地质力学学报, 1998, 4(4): 12~18. Jiang F C, Wu X H, Sun D H, *et al.* On Mangshan loess stratigraphy in China Central Plains (In Chinese). *Journal of Geomechanics*, 1998, 4(4): 12~18
- [18] 吴锡浩, 蒋复初, 肖华国, 等. 中原邙山黄土及最近 200 ka 构造运动与气候变化. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1): 75~81. Wu X H, Jiang F C, Xiao H G, *et al.* Mangshan loess in China Central Plains and constructional campaign and climatic change in recent 200 ka (In Chinese). *Science in China (Series D)*, 1999, 29(1): 75~81
- [19] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 中原邙山黄土及构造与气候耦合作用. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 45~51. Jiang F C, Wu X H, Xiao H G, *et al.* Mangshan loess in China Central Plains and the coupling effect between tectonics and climate (In Chinese). *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1999, 19(1): 45~51
- [20] 赵志中, 吴锡浩, 蒋复初, 等. 三门峡地区黄土与古季风. 地质力学学报, 2000, 6(4): 19~26. Zhao Z Z, Wu X H, Jiang F C, *et al.* Loess in Sanmen Gorge area and paleo-monsoon (In Chinese). *Journal of Geological Mechanics*, 2000, 6(4): 19~26
- [21] 雷全奎, 杨小兰, 郭建秋, 等. 豫西耕地土壤速效钾现况与冬小麦施钾效果. 土壤通报, 2003, 34(2): 158~159. Lei Q K, Yang X L, Gao J Q, *et al.* The state of available potassium and effect of applying K on winter wheat in western Henan (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(2): 158~159
- [22] 岳乐平. 陕县张汭源黄土剖面的古地磁研究. 西北大学学报(自然科学版), 1984(4): 79~85. Yue L P. A study on Paleomagnetic stratigraphy of the loess profile in Zhang Bian Yuan, Shaan Xian, Henan Province (In Chinese). *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 1984(4): 79~85
- [23] 滕志宏. 豫西两个黄土剖面及其地层划分. 地层学杂志, 1998, 12(4): 209~297. Teng Z H. Two loess stratum and two loess profiles in west Henan Province (In Chinese). *Journal of Stratigraphy*, 1998, 12(4): 209~297
- [24] 肖华国, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 三门峡地区的黄土地层. 见: 安芷生主编. 黄土·黄河·黄河文化. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 1~7. Xiao H G, Jiang F C, Wu X H, *et al.* Loess stratigraphy in Sanmen Gorge area. In: An Z S. ed. Loess, the Yellow River and Culture of the Yellow River (In Chinese). Zhengzhou: Yellow River and Water Conservancy Press, 1998. 1~7
- [25] 滕志宏. 郑州至洛阳间黄河南岸黄土地层及更新世环境分析. 见: 安芷生主编. 黄土·黄河·黄河文化. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 8~12. Teng Z H. An analysis on the loess stratum and Pleistocene environment in south bank of the Yellow River between Zhengzhou and Luoyang. In: An Z S. ed. Loess, the Yellow River and Culture of the Yellow River (In Chinese). Zhengzhou: Yellow River and Water Conservancy Press, 1998. 8~12
- [26] 谢封春, 姜泽泛. 豫西黄土的基本特征. 河南地质, 1987, 5(3): 42~48. Xie F C, Jiang Z F. Basic features of the loess in western Henan (In Chinese). *Geology in Henan*, 1987, 5(3): 42~48
- [27] 李永乐. 豫西黄土的基本特征及其工程性质研究. 华北水利水电学院学报, 1995, 16(2): 42~49. Li Y L. Research on basic features and geotechnical engineering properties of west Henan's loess (In Chinese). *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 1995, 16(2): 42~49
- [28] Mayewskia P A, Rohlingb E E, Stagerc J C, *et al.* Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 2004, 62: 243~255
- [29] 庞奖励, 黄春长, 贾耀峰. 关中东部地区全新世土壤发育及记录的水文事件. 土壤学报, 2005, 42(2): 187~193. Pang J L, Huang C C, Jia Y F. Hydrological events recorded in the Holocene soil in Guanzhong area, China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 187~193
- [30] 陈加兵, 曾从盛. 主成分分析、聚类分析在土地评价中的应用. 土壤, 2001, 33(5): 243~256. Chen J B, Ceng C S. Application of main component and clustering analysis in land evaluation (In Chinese). *Soils*, 2001, 33(5): 243~256
- [31] Huang C C, Pang J L, Zhao J B. Chinese loess and the evolution of the East Asia monsoon. *Progress in Physical Geography*, 2000, 24: 75~96
- [32] Han J M, L H Y, Wu N Q, *et al.* Magnetic susceptibility of modern soils in China and climate conditions. *Studio Geophysica et Geodetica*, 1996, 40: 262~275
- [33] Maher B A. Magnetic properties of modern soil and Quaternary loessic paleosols: Palaeoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 137: 25~54
- [34] Hu X F, Gong Z T. A "Yellow Cap" on Quaternary red clay in Jiurjiang, Jiangxi Province. *Pedosphere*, 1999, 9(4): 311~318
- [35] 叶玮, Yabuki S, Kanayama S. 中国西凤区黄土常量元素地球化学行为与古环境. 干旱区地理, 2003, 26(1): 23~29. Ye W, Yabuki S, Kanayama S. Geochemical behavior of major element of loess in westerly area of China and Paleoclimatic implications (In Chinese). *Arid Land Geography*, 2003, 26(1): 23~29

- [36] 胡雪峰. “黄土-古土壤”序列中氧化铁和有机质对磁化率的影响. 土壤学报, 2004, 41(1): 7~12. Hu X F. Influence of iron oxides and organic matter on magnetic susceptibility in the Loess-paleosol sequence (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 7~12
- [37] 李俊波, 华珞, 蔡典雄. 降雨强度与坡度对径流中七种阳离子流失量的影响. 土壤, 2005, 37(4): 426~432. Li J B, Hua L, Cai D X. Effects of rainfall intensity and slope on losses of cations with runoff (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(4): 426~432
- [38] 赵锦慧, 王丹, 樊宝生, 等. 延安地区黄土堆积的地球化学特征与最近13万年东亚夏季风气候的波动. 地球化学, 2004, 33(5): 495~500. Zhao J H, Wang D, Fan B S, *et al.* Geochemical characteristics of the loess deposit at Yan'an and its implication to changes of East Asia summer monsoon during the past 130 ka (In Chinese). *Geochimica*, 2004, 33(5): 495~500
- [39] Sun B, Zhang T L, Zhao Q G. Leaching and redistribution of nutrients in surface layer of red soils in southeast China. *Pedosphere*, 2000, 10(2): 135~142
- [40] 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. 中国科学(D辑), 1997, 27(6): 531~536. Chen J, Ji J F, Qiu G, *et al.* Geochemistry of chemical weathering of the loess in Luochuan, Shaanxi Province (In Chinese). *Science in China (Series D)*, 1997, 27(6): 531~536
- [41] 杨一鸣, 黄春长, 庞奖励. 淮河上游全新世风成黄土-土壤物质来源研究. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 43~46. Yang Y M, Huang C C, Pang J L. Source of the Holocene aeolian loess-soil in the upper reaches of the Huaihe River (In Chinese). *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(1): 43~46

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ELEMENTS IN HOLOCENE LOESS-PALEOSOL PROFILE IN THE UPPER REACHES OF THE HUAIHE RIVER BASIN

Li Xinyan Huang Chunchang<sup>†</sup> Pang Jiangli Wang Lijun He Zhong

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract** Based on field surveys, soil samples were collected systematically at the YPC loess-paleosol site, Yuzhou County, Henan Province for analysis of contents of macro- and micro-elements and their variations with XRF and comparison with the curves of magnetic susceptibility and particle-size distribution. It was found that  $K_2O/Na_2O$  ratio, eluvial coefficient and contents of micro-elements with Rb as an indicator varied regularly with the layers of the Holocene aeolian loess-paleosol profile, i. e. they peaked in the paleosol ( $S_0$ ), and were lower in the modern topsoil (MS) and the lowest in the loess ( $L_0, L_t, L_1$ ), Whereas  $SiO_2/Al_2O_3$  ratio and content of Sr went the other way in the profile, showing that during the stage of  $S_0$  and MS formation, the climate was warm and humid, and pedogenesis and secondary clayification were stronger; and during the stage of loess accumulation, the climate turned very dry and with frequent dust storms and pedogenesis was weakened. Comparison of these chemical parameters with magnetic susceptibility showed that transference of these elements was mainly controlled by the Holocene climate. The contents of most macro-elements were much higher, the contents of most micro-elements were much lower, and the magnetic susceptibility was much lower too, and the content of most fine sands in the particle-size composition was much higher in the YPC loess-paleosol profile than in the Luochuan profile which is located in the hinterland of the Loess Plateau, which suggested that the sources of Holocene loess-paleosol in the upper-reaches of the Huaihe River Basin evidently differed from that of the Loess Plateau. Considering the fact that the Yellow River overflowed and changed route frequently, leading to deposition during the Holocene and the prevailing North-East wind in the Huang-Huai plains caused formation of flowing sands, it can be concluded that the loess in the Huaihe River Basin was deposition of Aeolian sands from nearby sources, i. e. the Yellow River alluvial deposition, which was weathered and conveyed by North-East wind. Then aeolian sand deposited, accumulated and weathered on the spot to form loess-paleosol.

**Key words** Loess-paleosol; Elemental geochemistry; Magnetic susceptibility; Holocene; Upper reaches of the Huaihe River