

古土壤地球化学的某些问题

——黄土风化过程中元素的变化

孙福庆 文启忠 刁桂仪 余素华

(中国科学院地球化学研究所)

对黄土中埋藏古土壤的研究有过许多报道^[2,5,8]。但对黄土风化过程中元素的变化讨论则不多。笔者是在近年来对陕西洛川黄土剖面工作的基础上,讨论了不同类型古土壤中元素的含量与分布,古土壤剖面中元素的变化。并将古土壤的化学组成与黄土母质进行比较,进而论述了在古气候变迁的影响下,黄土剖面中元素迁移、积聚的地球化学特征。这对探讨黄土的堆积环境和生物气候条件的演变,以及地层划分等均有十分重要意义。

一、黄土剖面中古土壤的分布概况

黄河中游地区黄土中,广泛分布着若干“红层”或“红色条带”,据研究认为,它们属于古土壤层^[9]。黄土物质成分和动植物化石的研究表明,黄土是在干旱草原生态环境下堆积的^[7],而古土壤是在温暖湿润的森林草原的生物条件下形成的。黄土——古土壤的多次叠复,反映了第四纪地质历史过程中不同生物气候环境的多次交替演变。

本文所研究的陕西洛川黄土剖面,黄土总厚约130米。在该剖面中,不同时期的黄土

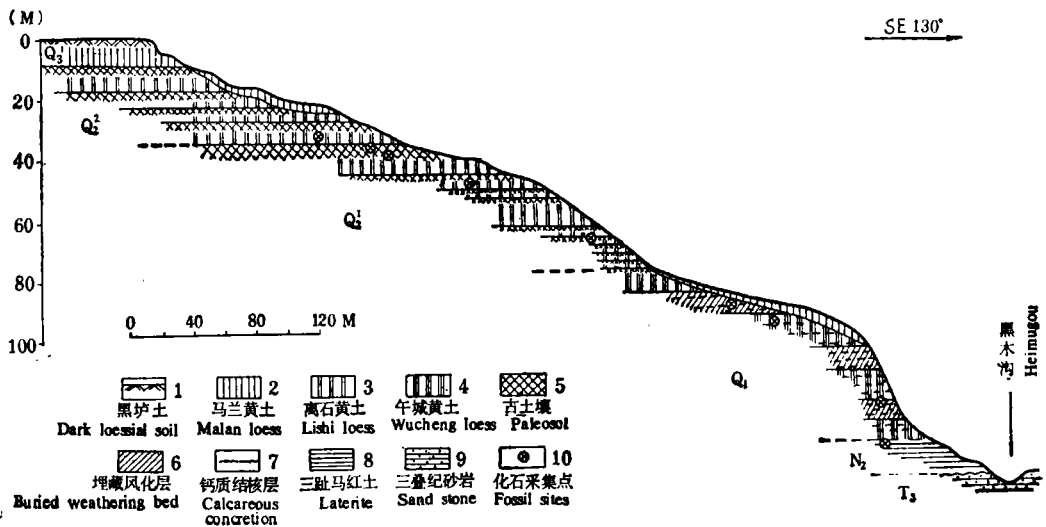


图1 陕西洛川坡头村黄土剖面图

Fig. 1 Loess section of Potou village, Luochuan, Shaanxi Province

中夹有不同类型的埋藏古土壤。其发育程度和分布状况不尽相同(图 1)。

1. 早更新世午城黄土中夹有三组不具土壤结构和发生层次的埋藏风化层。每组风化层乃由四到五个薄的风化层叠复组成,其间夹钙质结核层。据现有资料报道,午城黄土与离石黄土的地层界线和松山倒转极性世与布容正极性世的分界相吻合^[10]。

2. 中更新世离石黄土中,夹厚薄不等的、具有明显的土壤发生层次(粘化层、钙积层和母质层)的 14 层红褐色或红棕色的古土壤层(自上而下依次记为 S_1, S_2, \dots, S_{14})。其中以第 V 层古土壤(S_5)颜色最红、厚度最大,是本区发育最好的一层古土壤,并且此层又可进一步分为二个亚层,为本区标志层。构成离石黄土顶部发育较好的第 I 层古土壤(S_1),在塬边和沟边呈倾斜状分布,与上部马兰黄土呈明显地不整合接触,构成离石黄土与马兰黄土的地层界线。

3. 晚更新世马兰黄土顶部发育有全新世时期形成的黑垆土型古土壤(S_0),据 C^{14} 年龄测定距今 9830 ± 1300 年^[10]。

黄土沉积物中的古土壤过去认为属栗钙土、灰钙土或褐色土^[9,14]。据近年来微形态的研究,结合土壤剖面发育状况,土壤酸碱反应,碳酸盐淋失和淀积,土壤粘化程度以及不稳定矿物的风化程度等特征,可细分为黑垆土、碳酸盐褐土、褐土、淋溶褐土和棕褐土等五种类型古土壤^[3]。棕褐土型古土壤可能接近棕色森林土或称之棕壤^[13]。我们试采用这种分类方法(并结合地球化学指标对个别古土壤作了调整)分析不同性状古土壤的化学成分,并与黄土母质进行对比,研究其元素的变化趋势。

二、古土壤的化学组成特征

我们对该黄土剖面共分析古土壤样品 42 个,做化学元素分析 20 项。其中主要元素和微量元素系用化学分析法和原子吸收光谱法;锶、钡用光谱定量法测定。

表 1 结果得知,古土壤中主要元素硅、铝、铁、钾的平均含量高于黄土中平均含量,而低于土壤丰度值,接近于地壳丰度值;钙、亚铁、钠平均含量则低于黄土中平均含量,也接近于地壳丰度(钠例外)。不同类型古土壤中硅、铝、铁、钾等元素平均含量虽然比较相近,但因所属古土壤类型的不同而有一定差异。黑垆土型古土壤中,硅、铝、铁、钾呈低值,钙、钠呈高值。而在棕褐土型古土壤中,硅、铝、铁、钾其平均含量为最高,钙、钠则最低。其它类型古土壤(碳酸盐褐土、褐土、淋溶褐土以及埋藏风化层)主要元素含量变化均介于这两者之间,并随所属古土壤类型不同而呈规律性变化。这是由于不同类型古土壤成土作用强弱不一,而在含量分布上相应存在差异。

微量元素锌、铜、锰、镍、钛在古土壤中平均含量大于黄土中平均含量;在古土壤中,除锌、铅平均含量大于土壤丰度而低于地壳丰度外,其它元素:锰、镍、磷、钛平均含量低于或接近于土壤或地壳丰度值。并且不同类型古土壤中的钛平均含量均趋近于地壳丰度而高于土壤丰度;铅除了在黑垆土型古土壤中表现异常高值外,在其它各类古土壤中则无显著变化。锌、锰、镍等元素在棕褐土型古土壤中含量相对较高,而在黑垆土型古土壤中含量较低。磷在古土壤中平均含量均低于黄土、地壳、土壤,而不同类型古土壤中磷含量变化也有区别。古土壤中锶平均含量低于黄土,但颇接近于地壳、土壤丰度值。而钡在古土

表 1 洛川黄土剖面中不同类型古土壤的化学成分*
Table 1 Chemical composition of different types of paleosol in Luochuan loess section

类型 Type	元素含量 (%) Element content										元素含量 (ppm) Element content							古土壤层序 Layer order of paleosol
	Si	Al	Fe ⁺⁺	Ca	Mg	K	Na	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Co	Ni	Pb	Sr	Ba	
黑 炉 土 Dark loessial soil	26.60	6.10	2.32	0.90	1.19	1.68	1.24	0.031	0.35	73	51	530	21	33	40	—	—	So
碳酸盐褐土 Calcareous drab soil	28.55	7.11	3.29	0.73	1.28	2.16	1.14	0.033	0.42	95	24	703	21	43	26	370	1300	S ₉ , S ₁₀ , S ₁₂
褐 土 Drab soil	29.44	7.25	3.32	0.64	1.26	2.28	1.20	0.046	0.44	104	25	747	20	41	31	330	1900	S ₃ , S ₅ , S ₈ , S ₉ , S ₁₁ , S ₁₃ , S ₁₄
淋溶褐土 Luvic drab soil	30.39	7.20	3.41	0.62	1.17	1.90	1.10	0.034	0.43	93	26	734	22	41	30	330	1900	S ₁ , S ₄ , S ₇
棕 褐 土 Drab-brown soil	30.06	7.64	3.76	0.76	1.21	2.01	0.93	0.040	0.45	105	27	825	21	44	32	360	3400	S ₆
埋藏风化层 (O ₂ 第 X 红条) Buried weathering bed	27.58	6.91	3.46	0.47	1.33	2.23	1.00	0.036	0.40	87	29	744	21	46	30	390	1200	
古土壤平均值 Average value of paleosols	28.77	7.04	3.24	0.69	1.24	2.04	1.10	0.037	0.42	93	30	714	21	42	32	330	1900	
黄土平均值 Average value of loess	27.60	6.55	2.84	0.73	1.29	1.93	1.15	0.040	0.39	88	25	651	20	38	29	552	1235	
地壳** Clark value of earth crust	29.00	8.05	4.65	2.96	1.87	2.50	2.50	0.093	0.45	83	47	1000	18	58	16	340	650	
土 壤** Clark value of soil	33.00	7.13	3.80	1.37	0.63	1.36	0.63	0.080	0.46	50	20	850	10	40	10	300	500	

* 系相同类型古土壤均值。
** 据维诺格拉多夫, 1962 (中国科学院地球化学研究所, 1977 《简明地球化学手册》)。

壤中平均含量却高于黄土、地壳和土壤。

微量元素的这些含量分布特征,一定程度上反映了各类古土壤在成土过程中,由于受气候影响,以及所遭受风化作用的不同,而导致微量元素在不同类型古土壤中含量的变化。

三、古土壤剖面中元素的分布

在黄土遭受风化发育形成古土壤的过程中,由于生物气候环境和物理化学条件的变化,元素在古土壤剖面中也发生了一定的分异和再分配。黄土中古土壤剖面一般均可见有明显的三个发生层次,同时各发生层次又可再行细分^[6]。在这里,我们主要以洛川黄土剖面中第V层古土壤为古土壤代表剖面。根据其剖面发育特点,自上而下可分为A层(淋溶层)、B_t层(粘化层又可分为上粘化层 B_{1t}, B_{2t}, 下粘化层 B'_t), B_{ca} (钙淀积层)和C层(黄土母质层)^[7]。

从元素剖面分异来看,棕褐土型古土壤中,其主要元素铁、铝、钾自下而上增加,在上粘化层 B_{1t} 中峰值最大(图2)。相反,亚铁、硅、钠在上粘化层 B_{1t} 中呈低值,并且铁与亚铁、硅与铝、钾与钠等相关元素其含量分布曲线相应对称。钙在上粘化层 B_{1t}, B_{2t} 中含量分布趋于最小,碳酸盐近淋失完全。而在钙积层和黄土母质层中,除亚铁、钠含量趋于增大外,铁、硅、铝、钾等元素含量趋于最小。

微量元素锌、铜、锰、镍、钛等元素在剖面中的分异特点是:在剖面上部的上粘化层 B_{1t} 处呈最大峰值,而在钙积层和黄土母质层中趋于最低值。这些元素含量分布曲线彼此同步。只有磷呈异常分布,自下而上峰值减小。

同时,由图2又可见剖面中元素氧化物比值也相应呈现出明显变化。其中 FeO/Fe₂O₃ 值在粘化作用最强的 B_{1t}, B_{2t} 层中为最低值, B'_t 层次之。而在钙淀积层 B_{ca} 中为高值,在黄土母质层中为最大值。由此可见,剖面中自上而下亚铁含量相对减少,铁含量相对增加。这与古土壤成土过程中的土壤酸碱度以及氧化环境有很大关系。SiO₂/Al₂O₃, CaO/MgO, CaO + K₂O + Na₂O/Al₂O₃ 等值也是自下而上逐渐减小,呈相同变化趋势。仅 K₂O/Na₂O 值自下而上增加,在上粘化层 B_{1t} 中峰值最大。铁、铝、钾等元素在粘化层中相对积聚增加,与古土壤形成过程中,由于温湿气候的影响,所受风化成土作用强及次生粘土矿物增加有关。

元素在不同粒级中的分布。由表2可见,古土壤的粘粒部分中,铝、铁和钾的含量明显地高于古土壤土体中含量。而硅、亚铁、钠以及钛的含量则在粘粒部分中的分布较土体中低。粘粒部分中铝、铁含量的增高,硅含量的降低,显然是由于细粒级中石英的减少和伊利石等次生矿物含量增多的结果。同样粘粒中钾含量的增加,除与伊利石的含量有关外,并与长石、云母含量的相对增多相吻合^[16]。由于不同类型古土壤风化成土作用程度不同,因而粘粒部分中元素的含量多寡也有差异。其中以铁、铝和钙的变化尤为明显。粘粒部分中的铁又有相当一部分(三分之一)是以游离状态存在。游离铁存在和含量变化的大小更能清楚反映不同类型古土壤风化成土作用的强度。

表 2 洛川古土壤土体及粘粒部分的化学成分
Table 2 Chemical composition of the solum and clay fraction of paleosol in Luochuan

类型 Paleosol type	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃			FeO		TiO ₂		MnO		CaO		MgO		P ₂ O ₅		K ₂ O		Na ₂ O	
	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	游离 Free state	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay	土体 Solum	粘粒 Clay
淋溶褐土 S ₁ Luvic drab soil	68.99	45.39	13.69	21.99	4.32	9.42	4.05	0.80	0.52	0.69	0.61	0.08	0.14	0.98	0.68	1.76	3.40	0.06	0.24	2.25	3.44	1.66	0.70
淋溶褐土 S ₄ Luvic drab soil	61.94	43.15	12.94	21.88	5.41	9.36	3.94	0.59	0.37	0.67	0.64	0.08	0.11	5.73	2.48	2.15	3.30	0.06	0.21	2.15	3.46	1.33	1.60
棕褐土 S ₂ Brown-drab soil	63.56	44.10	14.68	23.30	5.77	10.17	3.77	0.40	0.30	0.77	0.56	0.10	0.10	0.74	0.92	2.09	3.30	0.09	0.18	2.55	3.42	1.19	0.52
褐土 S ₃ Drab soil	64.95	43.80	13.78	23.56	5.12	9.89	3.49	0.64	0.37	0.74	0.59	0.08	0.08	0.98	0.94	2.17	3.34	0.10	0.18	3.01	3.30	1.68	1.37
碳酸盐褐土 S ₁₀ Calcareous drab soil	60.29	44.50	13.70	21.99	4.92	8.70	3.22	0.74	0.63	0.71	0.56	0.12	0.10	3.12	2.70	2.21	3.36	0.07	0.21	3.36	3.32	1.86	0.51
褐土 S ₁₁ Drab soil	64.05	44.90	13.14	22.64	4.49	9.10	3.25	0.74	0.63	0.69	0.56	0.096	0.11	2.46	1.42	2.07	3.46	0.16	0.17	2.90	3.28	1.67	0.64
上风化层 W ₁₅ Upper weathering bed	—	40.70	—	20.81	—	7.92	2.69	—	0.61	—	0.55	—	0.11	—	6.22	—	3.34	—	0.16	—	3.16	—	0.69
中风化层 W ₁₀ Middle weathering bed	58.70	43.35	12.77	21.20	4.81	8.10	2.71	0.63	0.45	0.68	0.53	0.088	0.09	5.33	3.56	2.22	3.50	0.14	0.18	2.40	3.10	1.00	0.24
下风化层 W _n Lower weathering bed	60.00	41.45	12.73	20.02	4.40	7.32	3.02	0.70	0.43	0.72	0.50	0.084	0.11	4.76	5.92	2.21	3.68	0.08	0.19	2.28	2.74	1.27	0.49

四、古土壤形成过程中元素的变化

综上所述,可以看出不同类型古土壤中元素含量和分布存在着一定的差异。为进一步了解古土壤形成过程中元素的变化,我们以马兰黄土为对比标准,与不同类型古土壤进行检验分析^[5]。发现由黄土经风化形成古土壤后,钙、铝、铁、钾、硅、钛、锰、锌、镍等元素较黄土母质有显著性变化,而铅、钡等元素无显著性变化。

随风化成土作用的增强或减弱,其不同类型古土壤中相对应的元素氧化物比值也呈现规律性变化。由表 3 可以看出 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO/MgO , $\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 等值均随风化成土作用的加强而渐次减小。在棕褐土型古土壤中呈最低值,并均低于黄土母质;而 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值相反呈递增趋势。在黑垆土型古土壤中,这些氧化物比值均高于其它类型古土壤。并且除 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值低于黄土母质外,其它氧化物比值均高于黄土母质。其碳酸盐含量为最高(17.48%)。这可能与黑垆土型古土壤形成时期受凉湿气

表 3 洛川黄土剖面中各类古土壤氧化物比值*

Table 3 Ratio values of oxides (and elements) in paleosol of different types in Luochuan loess section

类 型 Paleosol type	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{FeO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{CaO}}{\text{MgO}}$	$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Sr}}{\text{Ba}}$	$\frac{\text{F}}{\text{Cl}}$	$\text{CaCO}_3\%$	古土壤层序 Layer order of paleosol
黑 垆 土 Dark loessial soil	8.39	0.78	3.19	0.88	1.81	—	—	17.48	S ₀
碳酸盐褐土 Calcareous drab soil	7.78	0.50	1.39	1.21	0.86	0.29	0.37	7.01	S ₉ , S ₁₀ , S ₁₂
褐 土 Drab soil	7.70	0.51	0.78	1.26	0.73	0.20	0.32	3.38	S ₂ , S ₆ , S ₈ S ₉ , S ₁₁ , S ₁₃ , S ₁₄
淋溶褐土 Luvic drab soil	8.11	0.39	0.75	1.16	0.79	0.18	0.44	1.14	S ₁ , S ₄ , S ₇
棕 褐 土 Brown-drab soil	7.57	0.22	0.36	1.41	0.48	0.10	0.75	0.71	S ₃
埋藏风化层 (O ₁ 第X红条) Buried weathering bed	7.40	0.31	1.03	1.37	0.81	—	—	5.64	
黄土母质 (马兰黄土) Loess parent material	8.21	0.80	2.71	0.96	1.58	—	0.19	12.93	

* 系同类型古土壤分析结果均值。

表4 洛川剖面不同类型古土壤中元素(氧化物)相对淋溶、积累值

Table 4 Relative values of leaching and accumulation of elements (oxides) in paleosol of different types in Luochuan loess section

土壤类型 Paleosol type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Zn	Cu	Mn	Co	Ni	Pb	P	Ti	古土壤层序 Layer order of paleosol
黑垆土 Dark loessial soil	-7.80	-3.11	-6.23	-8.66	+13.00	-3.88	+2.88	+12.08	-7.43	+57.94	-13.10	-4.55	-10.11	+33.33	-34.04	-5.41	S ₆
碳酸盐褐土 Calcareous drab soil	+3.11	+7.71	+13.24	-	-32.22	-9.71	-3.24	-13.57	-2.87	+11.36	+5.91	+2.44	+10.67	0	+62.5	+7.69	S ₅
褐土 Drab soil	+1.70	+11.57	+26.38	-17.98	-40.82	-0.98	+9.52	-15.26	+1.25	+18.13	+11.60	+5.56	+15.85	+15.38	+26.07	+7.09	S ₁₄
淋溶褐土 Luvic drab soil	+13.43	+17.37	+26.08	-17.81	-77.62	-8.54	+1.75	-7.83	+0.78	+17.16	+18.57	+20.93	+14.81	0	+7.45	+16.22	S ₁
棕褐土 Brown-drab soil	+9.29	+16.75	+28.47	-33.77	-85.14	+0.50	+14.93	-4.55	+14.12	+21.62	+29.90	+1.90	+21.11	+6.67	+4.71	+17.71	S ₅
埋藏风化层 (Q ₁ 第I红层) Buried weathering bed	+2.84	+6.75	+12.53	-12.82	-29.45	-2.20	+0.34	-14.35	+6.54	+4.69	+4.22	+1.59	+1.52	+11.11	+2.94	+5.65	

表5 洛川黄土剖面中各类古土壤之风化系数及能量

Table 5 Weathering coefficient and energy of different types of paleosol in Luochuan loess section

类型 Paleosol type	淋溶系数 Leaching coefficient $\frac{SiO_2}{RO + R_2O}$	硅铁系数 Si-ferruginous coefficient $\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	铝化系数 Aluminization coefficient $\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + (马兰黄土)}$	铁化系数 Ferruginization coefficient $\frac{Fe_2O_3}{Fe_2O_3 + (马兰黄土)}$	残积系数 Illuviation coefficient $\frac{R_2O_3}{RO + R_2O}$	总内能 ($\Sigma M_i \mu_i$ kcal/g) Total internal energy
黑垆土 Dark loessial soil	3.62	17.19	0.97	0.94	0.94	35.68
碳酸盐褐土 Calcareous drab soil	5.94	12.64	1.14	1.38	1.78	38.33
褐土 Drab soil	6.44	13.35	1.15	1.34	1.88	39.22
淋溶褐土 Luvic drab soil	7.01	12.76	1.12	1.44	2.00	39.76
棕褐土 Brown-drab soil	8.79	12.0	1.21	1.52	2.70	39.82
马兰黄土 Malan loess	3.94	16.3	1	1	1.06	36.21

候条件的影响,以及风化成土作用相对减弱,而使其元素的迁移不及其它类型古土壤中明显。

在不同类型古土壤中,碳酸盐含量则随风化成土作用增强而降低。在棕褐土型古土壤中,碳酸盐已基本淋失殆尽,显微镜下不见原生方解石^[3]。可见该成壤期由于遭受风化成土作用最强,一、二价盐类、易溶组分被淋失。碳酸盐淋失并在其底部淀积层中以钙质结核形式存在。同时粘土化作用增强,粘粒部分随之增高,反映了棕褐土型古土壤是在温暖湿润的森林—草原生物气候环境形成的。作为黄土沉积中主要的地球化学特征——碳酸钙含量变化,不仅可以反映古土壤形成时风化成土作用强弱程度,还可以反映黄土遭受风化过程中发育古土壤的生物气候环境^[4]。

同时,我们又以各层古土壤下伏的黄土为母质,计算了不同类型古土壤中元素氧化物的淋溶、积聚值(表4)。结果再次证明,在黄土风化形成古土壤过程中, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O 等相对积聚,其强度顺序是: $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2 > \text{MgO}$ 。这种铁、铝移动和积聚现象在古土壤微形态的分析中也得到证实。这是因为在古土壤形成期间,由于温暖的气候及森林植被的影响,促使铁、铝以胶体状态移动,并在古土壤粘化层中形成胶膜而积聚^[11]。至于古土壤中硅含量的增高,是因碳酸盐的强烈淋溶而显示相对富集,并非是硅的真实移动。除上述氧化物显示相对积聚外,而钙、钠相对淋溶。同时,亚铁因部分被氧化生成铁而其含量相对降低。其淋溶强度顺序是: $\text{CaO} > \text{FeO} > \text{Na}_2\text{O}$ 。并随古土壤成土作用的增强, CaO 淋失越强, Fe_2O_3 积聚则越大,二者成正相关关系^[1]。

此外,我们又把古土壤视为黄土层中的古风化壳,与马兰黄土相比。通过风化系数变化的比较(表5),可以看出,随风化成土作用的增强,其淋溶系数、铁化系数、铝化系数及残积系数随之增加,并除黑垆土型古土壤外,均高于马兰黄土;而硅铁系数则随之减小,并低于马兰黄土。由此可见,一、二价化合物相对于 SiO_2 和二、三氧化物而逐渐减少, Fe_2O_3 相对于 SiO_2 则逐渐增加。而古土壤中 Al_2O_3 含量相对马兰黄土来看,呈增加趋势,是与其粘土化作用逐渐增强的趋势一致。

在由黄土发育形成古土壤过程中,由于温湿气候条件及生物作用影响,原生矿物遭受强烈风化,次生矿物相对增加,土壤中能量也发生转变和交换。一些氧化物相应发生了价态的改变,伴之释放出大量热量。如低价铁、锰在受氧化作用变为高价态时,分别释放出热量 131.8 卡和 58 卡。并且作为参与成土作用的能量均以次生矿物、有机质形态所贮存。B. P. 沃洛布耶夫(1964)曾把土壤矿物能量看作是组成矿物氧化物能量之和。因此,我们把黄土、古土壤视为矿物元素集合体,分别计算了不同类型古土壤和黄土母质的晶格能^[12]。由表5可见,古土壤中总内能大于黄土母质,并且由于土壤类型不同而变化。其能量随风化成土作用的逐渐增强而呈递增趋势。探讨古土壤能量的变化,可以了解元素在不同风化成土过程中的迁移、积聚特征。

五、结 语

1. 黄土性沉积物中的古土壤,是以黄土为母质,在气候由干冷转变为温湿的间冰期或间冰阶的气候条件下形成的。它的主要化学组成为 SiO_2 , Al_2O_3 和 Fe_2O_3 , 三者含量达 80%

以上。其次为 K_2O , MgO 和 CaO 等。与黄土母质相比较,古土壤中元素铝、铁和钾的平均含量较黄土为高。而钙、亚铁和钠则低于黄土。

2. 古土壤剖面中元素的分布是: 铝、铁、钾的含量自下而上增加,在上粘化层 (B_{1t}) 中峰值最大,在钙淀积层和黄土母质层中峰值最小。相反碳酸钙含量在粘化层中最低,而在钙淀积层、黄土母质层显著富集。微量元素锌、铜、锰、钛、镍、钴的含量均较黄土母质为高。这些元素在剖面中的分布,也是以粘化层 B_{1t} 中含量最高。

3. 不同性状的古土壤,反映风化成土作用强度不同。随古土壤成土作用的增强, Sr/Ba 值和各氧化物比值(除 K_2O/Na_2O 值外)渐次降低;而 F/Cl 值和游离 Fe_2O_3 , 则相反呈递增趋势。这些地球化学特征反映了各类古土壤成土时的生物气候环境的差异。

4. 在黄土风化形成古土壤过程中,碳酸盐强烈淋失,而 Fe_2O_3 , Al_2O_3 明显积聚。其 Fe_2O_3 的积聚和 CaO 的淋失呈正相关关系。风化淋溶、积聚程度的差异也反映了黄土堆积演化过程中各个温湿成壤期古气候波动幅度的差异。并且随着风化成土作用的增强,古土壤中内能发生变化,并呈递增趋势。

参 考 文 献

- [1] 文启忠等, 1981: 黄土剖面中氧化物的比值和相对淋溶、积聚值在地质上的意义。地球化学, 第4期, 381—387页。
- [2] 王振权、冯秀美, 1958: 西北褐色耕种土壤及古土壤的基本性质的研究。土壤学报, 第32号。
- [3] 卢滨涛、安芷生, 1979: 约70万年以来黄土高原自然环境变化系列探讨。科学通报, 第24卷, 第5期, 221—224页。
- [4] 卢滨涛, 1981: 黄土地层中 $CaCO_3$ 含量变化与更新世气候旋迴。地质科学, 第2期, 122—125页。
- [5] 刘东生等, 1966: 黄土的物质成分和结构。科学出版社。
- [6] 刘东生等, 1978: 中国黄土的地质环境。科学通报, 第23卷, 第1期, 1—9页。
- [7] 刘东生等, 1962: 气候标志及中国第四纪地层的划分。中国地质, 第6期, 1—9页。
- [8] 朱显谟, 1965: 我国黄土性沉积物中的古土壤。中国第四纪研究, 第4卷, 第1期, 9—19页。
- [9] 朱显谟, 1958: 关于黄土层中红层问题的讨论。中国第四纪研究, 第1卷, 第1期。
- [10] 安芷生、王俊达、李华梅, 1977: 洛川黄土剖面的古地磁研究。地球化学, 第4期, 239—249页。
- [11] 安芷生、魏兰英, 1980: 离石黄土中的第五层古土壤及其古气候的意义。土壤学报, 第17卷, 1期, 1—9页。
- [12] 南京大学地质学系, 1979: 晶格能及晶体化学第二定律。地球化学, 152—156页, 科学出版社。
- [13] 唐克丽, 1981: 武功黄土沉积物中埋藏古土壤的微形态及其发生学。科学通报, 第3期, 177—179页。
- [14] B. A. 柯夫达等, 1960: 中国之土壤与自然条件概论。科学出版社。
- [15] Wen Oizhong et al., 1982: The evolution of chemical elements in loess of China and paleoclimatic conditions during loess deposition. «Quaternary Geology and Environment of China», p53—58, Ocean Press Beijing.
- [16] Лукашев, К. И., Добровольская, И. А., 1962: Поглощительные свойства лессовых пород Белоруссии. Доклады Академии Наук БССР, Том 6, №. 8, 507—509.

ON THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PALEOSOL —THE CHANGE OF CHEMICAL ELEMENTS IN LOESS DURING WEATHERING PROCESS

Sun Fuqing, Wen Qizhong, Diao Guiyi and Yu Suhua

(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica*)

Summary

This paper deals mainly with the content and distribution of chemical elements in different types of paleosol in loessial section of Luochuan, and the geochemical characteristics of elements in their translocation or accumulation process during process of soil formation from loess to paleosol.

Comparing with parent material (loess), the average contents of Al, Fe^{3+} and K of the paleosol are higher than those of loess; whereas the average contents of Ca, Fe^{2+} and Na are lower than those of loess. The contents of Al, Fe^{3+} , K in paleosol profile increase from bottom upward, and the highest value appears in the argillic layer, but the $CaCO_3$ content is lowest and caliche horizon is evident.

It is found by t test that the contents of Ca, Al, Fe^{3+} , K, Si, Ti, Mn, Zn, etc. were changed markedly, but the contents of Pb, Co, Ba were not changed evidently after the genetic process from loess to paleosol. In addition, it can be found from the analysis of relative values of eluviation and illuviation of oxides that the Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , etc. were accumulating, but CaO, Na_2O were leaching relatively in pedogenetic process. The accumulation of Fe_2O_3 and leaching of CaO are most obvious. At the same time, the contents of Zn, Cu, Mn, Ti, Ni, etc. in paleosol are higher than those in loessial parent material, and the content of Co in paleosol is lower than loessial parent material. The distribution of these elements in the profiles are also different. It is considered that with strengthening of the intensity of pedogenesis progressively the Sr/Ba value was decreasing, whereas the F/Cl value and leaching coefficient ($SiO_2/RO+R_2O$) and aluminization coefficient (Al_2O_3/Al_2O_3 (Malan loess)) etc. were increasing.

The different types of paleosol reflect their difference in the intensity of weathering process in pedogenesis, which they had undergone and the difference of leaching and accumulation degree of elements also reflects the marks of paleoclimatic fluctuation for each warm-humid pedogenetic stages during loess deposition and evolution.