

文章编号: 1009-6248(2010)01-0066-09

陕西蓝田段家坡黄土剖面地球化学元素特征及古气候效应分析

牛彩香^{1,2}, 雒昆利¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100083;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 地球化学元素在剖面上的变化能够反映当时沉积时期的古气候环境。通过对陕西蓝田段家坡剖面的 24 件样品进行系统分析, 段家坡剖面中各元素含量存在一个明显的变化点。0.57~0.37 Ma 的元素含量波动较大, 0.37 Ma 以来的各元素含量变化较小, 反映出不同时期的古气候变化趋势不同。0.57~0.37 Ma 的黄土剖面总体上反映了冷暖间或的古气候特征, 0.37~0.13 Ma 的黄土剖面总体上反映了温暖湿润的古气候环境, 0.13 Ma 以来至马兰黄土沉积结束时期(10ka BP)的气候变得较为干冷。这一变化规律与深海氧同位素、古植被、古气候的变化规律具有较好的一致性, 并且符合米兰科维奇旋回的变化规律。

关键词: 陕西蓝田; 段家坡黄土剖面; 地球化学元素; 古气候

中图分类号: P461⁺.4 **文献标识码:** A

黄土的化学元素组分及其在剖面上的分布特征与古气候环境密切相关。通过对黄土剖面元素组分演化的研究, 可以分析第四纪以来古气候的变化规律, 进而根据波动周期的变化来预测未来气候发展的趋势(刘俊峰等, 1996)。对于这些方面的工作, 前人已经根据大量的典型地质剖面进行了系统的分析, 并取得了一定的研究成果。主要体现在以下两个方面: 一方面系统分析了黄土中的地球化学元素分布规律(Gallet S, Jahn B M, et al, 1996; 文启忠等, 1989; 刘东生, 1985; 顾兆炎, 丁仲礼等, 1999; 顾兆炎, 韩家懋等, 2000), 并对某些敏感元素所指示的古气候意义进行了论述(陈骏等, 1999; 陈骏, 等, 1998; 庞奖励等, 2007); 另一方面利用黄土剖面中现今赋存的地球化学元素的波动来研究古气候

的变化(孙继敏等, 1999; 贾耀锋等, 2005)。位于陕西关中地区著名的段家坡黄土剖面, 前人所做的大量研究工作多集中于磁性地层学研究(岳乐平, 1989), 虽然也有少数学者对微量元素与古植被、古气候(刘俊峰等, 1996)的关系进行了分析, 但由于采集的样品较少, 分析的元素有限, 所以对该剖面上微量元素与古气候变化之间的关系缺乏系统的研究。本次研究对该黄土剖面出露的地层进行了系统的样品采集, 并对采集的样品进行了各种微量元素和氧化物含量分析, 通过分析所得到的数据论述了该剖面所反映的古气候特征。目前, 全球气候的变化已逐渐成为世界共同关注的热点(林海, 2002; 郭正堂等, 2000; 陈宜瑜等, 2002; 李家洋等, 2005)。该剖面的研究, 从侧面反映了元素变化与

收稿日期: 2009-08-28; 修回日期: 2009-10-12

基金项目: 西部重点基金(90202017)和国家高技术研究发展计划(863 计划)(Grant No. 2004AA 601080, 2006AA 06Z380)

作者简介: 牛彩香(1978-), 女, 中科院地理所博士, 现从事环境与地质健康方面的研究。E-mail: niucx.07b@igsrr.ac.cn

全球气候变化的关系。

1 样品采集及试验方法

段家坡剖面位于陕西省蓝田县县城西北约 10 km (图1), 段家村北 (E 34°11'15", N 109°13'58"), 是一套完整的黄土-古土壤序列。剖面自上而下由全新世黑垆土及耕作土、更新世晚期马兰黄土、更新世中期离石黄土和更新世早期午城黄土组成, 总厚度 132 m。其揭示了最近 250 万年以来中国北方古气候相对寒冷湿润和寒冷干燥交替变化的历史 (刘东生, 1985; 岳乐平, 1989; 贾蓉芬等, 1993)。

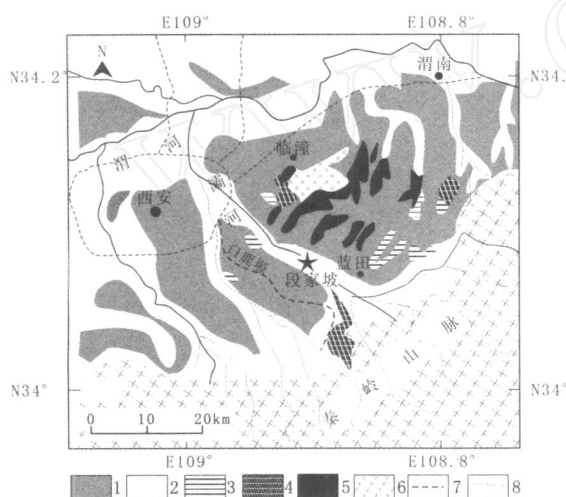


图1 段家坡剖面位置图

(据中国地质图集, 2002)

Fig. 1 Location map of Duanjiapo section (According to China geologic atlas, 2002)

1. 第四纪黄土沉积; 2. 第四纪河流沉积; 3. 上新世沉积; 4. 中新世沉积; 5. 始新世沉积; 6. 秦岭、骊山; 7. 公路; 8. 河流

通过野外观察发现地层序列具有以下特征: 每层黄土与古土壤并非单一的黄土或古土壤层, 而是复合型的黄土或古土壤层。表明在第四纪气候的变化过程中, 并非单一的冷期与暖期交替, 而是每个冷期中间夹有较暖湿的气候特征, 反之亦然。

本次研究的主要地层段为L1-S5段黄土与古土壤, 剖面自上而下共采集样品24件, 主要集中于L1-S5段。样品经风干粉碎后过200目筛, 称样0.1g左右, 采用三酸消化(硝酸、氢氟酸、高氯酸体积比

为3:3:1)的方法将样品完全消化稀释至25 ml, 利用ICP-OES仪器读取各元素含量数据。全部样品由中科院地理科学与资源研究所化验室测试, 测试结果见表1。

2 地球化学元素分布特征

黄土及古土壤中地球化学元素的分布、迁移和富集规律有助于了解黄土物质成分特征, 推断其形成的地球化学环境、古气候演化特征等。相邻层位中各元素含量的变化反映了黄土与古土壤中不同的沉积环境及气候变化(李铮华等, 1998)。地球化学元素的分布特征主要从微量元素及氧化物两方面来加以讨论(图2)。

微量元素: 共计分析了Ba、Co、Cr、Cu、La、Li、V、Sr、Mn、Ni、P、Pb、Sc、Zn 14种元素。其中, P元素的变化趋势与其他13种元素呈现负相关, P元素为高值, 其他13种元素为低值。P元素由低值向高值变化时, 其他13种元素正好由高值向低值转变。L4层以下元素的变化幅度较大, 相邻数值之间的波动范围较大, L4层以上元素的相邻数值变化幅度较小, 波动范围较小, 基本上呈现一条直线。

氧化物: 共计分析了 Al_2O_3 、CaO、 K_2O 、 Fe_2O_3 、MgO、NaO六种。其中, CaO的变化与其他五种元素呈现负相关, CaO为高值, 其他五种元素正好处于低值, 而其他五种元素由低值向高值变化时, CaO正好处于由高值向低值的变化。但六种元素的变化趋势却存在一个共同点, 在剖面上L4层以下曲线的变化幅度较大, 波动范围较大, 而L4层以上曲线的变化趋势相对较小, 波动范围较小。以CaO为例, L4层以上基本上都在1.0%附近波动, 而在L4层以下最大值达到了22.7%, 最小值仅为0.7%(图2)。

总体看来, 各元素的含量在剖面中自下而上逐渐降低。各种元素在古土壤中的含量与相邻黄土中的含量明显不同。P和Li元素在古土壤中含量低, 在黄土中的含量相对较高; Ba、Co、Cr、Cu、La、V、Sr、Mn、Ni、Pb、Sc、Zn却相反, 在古土壤中的含量高, 在黄土中的含量低; CaO在古土壤中的含量低, 在黄土中的含量高, Al_2O_3 、 K_2O 、 Fe_2O_3 、MgO、NaO在古土壤中的含量高, 黄土中的含量低。无论氧化物还是微量元素, 其含量在剖面上随

表1 段家坡剖面微量元素及氧化物含量表
Tab. 1 Content of trace elements and Oxide of Duanjiaopo section

样品编号	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Ba	Co	Cr	Cu	La	Li	Mn	Ni	P	Pb	Sc	Sr	V	Zn
L3	12.42	6.633	2.43	4.709	1.971	1.451	503.7	19.51	127.6	20.92	18.29	0	697.4	33.92	608	24.69	6.602	207.4	110	59.07
S4	13.34	0.865	2.776	6.088	1.97	1.35	588.7	24.96	147.3	27.41	15.76	53.15	792.8	46.3	480.3	30.61	7.873	122.9	133.9	89.54
L5	14.87	3.909	2.743	5.726	2.112	1.639	576.4	22.87	205.6	23.51	21.47	5.397	809	41.83	665.7	26.65	9.244	156.7	122.9	80.78
S6	11.91	0.995	2.134	4.791	1.467	1.009	445.5	19.57	134.6	18.44	15.16	41.19	668.4	36.48	415.6	25.07	6.386	104.2	102.6	59.89
L7	15.11	1.084	2.806	6.061	1.994	1.412	572.9	25.14	126.4	25.16	22.35	43.55	865	49.59	717.9	29.18	10.38	133.9	129	84.09
S8	14.61	0.998	2.792	6.322	1.867	1.305	566.5	24.42	98.86	26.14	15.51	44.41	839.8	42.22	706	31.17	8.871	128.9	133.7	99.15
L9	13.91	0.99	2.747	5.597	1.851	1.225	542.5	22.64	128.7	25.13	21.55	40.51	825	41.27	649.2	28.52	9.715	128.8	123.1	89.81
S10	16.8	0.97	3.002	6.95	1.967	0.912	583.4	25.16	124.7	28.52	23.33	49.83	930.1	49.04	558.1	30.61	12.34	121.2	140.8	98.35
L11	14.85	1.076	2.703	5.919	1.924	1.281	562.3	23.85	150.4	25.51	21.9	44.42	846.9	42.9	784.2	30.36	10.27	130.9	126.3	90.05
S12	15.5	0.974	2.733	6.473	2.039	0.993	538.2	23.93	200.8	27.72	22.9	50.31	840	54.87	677.3	30.82	11.21	121.9	134.7	94.03
L13	13.4	0.903	2.975	5.843	2.179	1.345	549.9	25.52	115.3	24.08	14.37	45.29	861.4	42.88	681.3	32.36	9.148	141.2	128.2	90.69
S14	12.63	0.741	2.941	6.123	2.119	1.202	530.4	23.98	133.8	23.91	13.58	47.56	686.6	45.5	605.7	31.83	6.725	117.9	131	92.24
L15	9.639	20.37	1.808	3.391	1.388	0.831	336.2	14.27	62.53	14.8	11.19	0	520.6	26.76	1544	19.11	2.459	123.6	77.88	46.71
S16	12.94	0.792	2.373	5.01	1.634	0.836	475.8	19.42	152.1	21.63	17.74	38.49	716.2	42.82	399.3	23.09	7.402	103.1	105.3	74.31
L17	10.19	17.68	2.002	3.886	1.53	0.986	376.9	14.89	76.71	17.56	10.89	0	559.8	30.58	1225	20.71	3.428	148.5	90.73	51.97
S18	12.81	9.537	2.48	4.97	1.832	1.277	501.5	20.28	197.2	20.85	18.18	0	692.8	38.28	738.4	26.71	7.422	182.5	115.3	68.56
L19	13.03	5.981	2.614	5.19	1.961	1.244	513.6	22.22	132.5	25.86	19.66	0	800.1	45.01	641.4	27.89	7.6	157.8	119	76.58
S20	14.87	1.031	2.819	6.274	1.927	0.933	540.7	23.47	120.7	26.91	12.37	45.75	851.4	47.26	447.8	30.79	9.853	107.3	132.6	100
L21	7.066	14.88	1.417	2.723	1.05	0.585	280.8	10.94	52.98	9.802	5.565	0	417.4	17.79	527.4	14.76	0	96.47	68.96	26.88
S22	14.47	5.583	2.683	5.846	1.907	1.01	529.2	24.16	138.7	26.94	22.8	0	866.8	46.1	589.9	27.24	9.535	122.8	131.1	82.59
L23	9.848	17.99	1.888	4.066	1.436	0.81	379.8	16.19	154.5	19.41	11.12	0	602.1	58.85	926.6	21.57	3.01	121.6	88.74	45.95
S24	14.16	1.302	2.903	6.558	1.855	0.826	565	26.12	162	26.72	13.19	47.83	1002	50.44	390.4	34.18	9.641	112.9	143.8	100.8
L25	11.63	13.6	2.211	4.495	1.739	1.03	446.2	18.68	77.17	20.39	14.89	0	670.3	34.59	955.5	24.06	5.587	163.4	99.11	77.6
S26	14.23	3.219	2.756	5.736	2.128	0.882	532.3	23.84	130.3	26.28	20.12	17.56	817.3	48.81	406	30.55	9.683	143	131.5	89.2

着深度的不同呈现周期性的变化。各元素相关性的存在与否,既与元素在碎屑矿物中的存在形式有关,也与元素在表生作用过程中的地球化学性质有关(刁桂仪等,1996)。

3 全球气候变化趋势分析与讨论

沉积环境决定了化学元素的迁移富集特征,而化学元素在古土壤与黄土层中的变化同时反应出沉积环境变化及不同的古气候变化,是古气候波动的标志。氧化物和微量元素含量在古土壤及黄土中的变化波动反应不同的古气候变化特征。目前,从元素地球化学方面探讨沉积物所记录的气候环境信息,已经越来越多的用于全球气候变化的研究。

3.1 地球化学元素变化与气候演化

微量元素含量的多少与气候环境的变迁密切相关,因为气候环境的变化直接决定着植物的繁盛程度。而植物的生长离不开所必须的微量元素Ba、Co、Cu、Zn、Mn等。由于温暖湿润的气候适宜植物生长,大量的微量元素在生长茂密的植物枝叶中富集,随之枝叶在土壤中富集,所以微量元素的波动是气候波动的一种反映(刘俊峰等,1993)。古土壤体现了气候温暖湿润的特征,古黄土反映了气候干旱的特征(刘俊峰等,1993;刘俊峰等,1996),S5~S4层之间各元素存在明显的波动,因而这一时期的气候特征总体上处于寒冷干旱和温暖湿润交替出现的阶段。L4~L2层之间各元素含量变化幅度较小,但总体上在高值上呈现一条直线,总体上反映的是气候温暖湿润的特征。

古土壤是黄土在潮湿气候条件下,经过风化成土作用后形成的。氧化物含量的多少直接与古土壤息息相关。气候越潮湿,成土作用就越强烈,成土母质中岩基遭到淋失,铁、铝等高价氧化物相对富集。纵观整个氧化物的演化剖面,可以清晰看到氧化物含量的多少与古土壤之间的对应关系,也进一步说明了氧化物含量的多少直接反映了当时的古气候环境。另外,在氧化物中氧化钙含量的变化与沉积环境之间具有较好的响应关系。不间断的富含碳酸钙是黄土沉积物的一个重要特征,可以反映气候环境的变迁(李长安等,1995)。间有冷暖、干湿波动的干旱、半干旱气候环境是钙质结核形成的背景条件,温暖湿润的气候有利于碳酸钙成分的溶解,干

冷期蒸发有利于碳酸钙成分的沉淀,形成钙质结核的相对富集(刘俊峰等,1993)。钙质结核的富集反映了气候条件由温湿向干冷气候条件转变的关键时期,证明在地质历史时期曾有一期大的构造运动的发生。L4层向上CaO含量比较低,一般都在1.0%左右,说明这一时期的气候相对温暖潮湿,这与童国榜等人古土壤的孢粉分析结果一致(童国榜等,1998)。孢粉分析结果认为这一时期为含有亚热带成分的落叶阔叶林环境。由于气候温暖湿润,淋溶作用强,使得钙质层远离古土壤黏化层(陈骏,安芷生等,1996),在野外也可以清晰的看到这一段的古土壤的成土作用要明显强于其下层的古土壤。L4层以下CaO含量波动性很大,说明这一时期气候处于干冷潮湿间或出现的波动阶段。S4中的CaO含量较高,达到了17.68%,其主要原因是上层淋滤沉淀的结果。由于气候干湿程度的差异,钙质结核层距离地表的深度也存在一定的差异。一般情况下,气候越湿润,钙质结核层距离地表的深度越大。

3.2 地球化学元素变化与深海氧同位素对比

本剖面与大西洋深海钻孔氧同位素(DSDP607)记录曲线(Williams D. et al, 1988)具有较好的一致性(卢玉东等,2008)。每层古土壤分别对应于氧同位素记录曲线上的一个间冰期阶段,剖面中自下而上S5古土壤对应于间冰期第13阶段,S4古土壤对应于间冰期第11阶段,S3古土壤对应于间冰期第9阶段,S2古土壤对应于间冰期第7阶段,S1古土壤层对应于间冰期第5阶段。这种对比反应大约10万年的周期旋回。剖面中各元素含量变化在间冰期第13阶段、11阶段和间冰期第5阶段变化明显,而在其它间冰期阶段变化不大,表明自0.36~0.13Ma之间的气候变化不大,此阶段各元素的含量较高,说明这一阶段为暖湿气候。微量元素与深海氧同位素对比的一致性,相互印证了它们在推测古气候的演化规律中的精确性,从而为推断未来气候变化趋势提供了一定的基础。

4 微量元素变化与古植被古气候的关系

黄土地层微量元素含量与古植被古气候密切相关(吴立等,2008),它是在不同生物气候条件下经

成土、生物循环等共同作用再分配的结果。因此, 黄土地层中微量元素的含量可为推断古气候古土壤类型提供依据。

通过对植被气候曲线的变化规律分析可以得知, 处于古土壤中的高含量微量元素代表暖湿气候, 而黄土层中的低含量微量元素代表冷干气候。植被气候曲线上所反应出的植被在冷干期为针叶落叶阔叶混交林, 暖湿期在 马兰黄土 以下为含常绿树种落叶阔叶林, 从 马兰黄土 落叶阔叶混交林, 而地表为含常绿树种落叶阔叶林。马兰黄土 中植被的变化反映出了“冷期向暖期的气候转变具有一定的突变性, 暖期向冷期的转变具有渐变性”这样的气候转换特征。而微量元素的变化特征在 马兰黄土 以下的地层中表现出明显不同的两个阶段, 剖面 25 m 以下的部分表现出气候明显的波动, 25~6 m 这一部分气候基本趋于一致。即在大的尺度上(每个不同的地层时代), 植被反应出的气候变化不明显, 微量元素的变化却更为精细; 在微观的尺度上(每个具体的黄土古土壤层), 植被却能反应的更为精细, 微量元素的变化却并不十分明显。由于在微观时间尺度上沉积时间短, 相邻地层的沉积厚度较小, 微量元素在相邻的地层中迁移转化特征区别不大, 而随着的气候变化, 植被却发生了明显的变化; 但在大的尺度上来说, 如果总体气候变化不大, 植被就不会表现出特别的变化趋势, 但随着沉积厚度的增加, 微量元素在不同的表生作用下却发生了明显的变化。植被随着气候的变化而发生变化的同时, 也影响了微量元素的富集与分布, 微量元素与植被的变化特征可相互厘定古气候演化的规律。

中国第四纪学界认为第四纪气候在震荡的同时具有越来越干旱的总体趋势(刘东生等, 1990), 并将这种干旱化的趋势归因于青藏高原的不断隆起。从微量元素和植被气候变化的特征来看, 在整个剖面中以 马兰黄土 为界, 第四纪的气候有向干冷变化的趋势, 但在地表又进入了暖湿的气候。段家坡黄土剖面地球化学元素变化规律反映了第四纪以来古气候的变化特征。从这一变化规律来看, 在地质历史时期气候的演化趋势具有明显的波动性, 而且存在明显的规律性, 即大约 10 万年的周期旋回。这一波动性究竟是地球自转的影响因素较大, 还是人为因素起着主要的原因, 不同的专家有不同的见解。但通过具体资料分析可以发现, 其研究的尺度存在着

明显的差异, 认为地球自转影响因素较大的专家, 其尺度多集中于万年的尺度(董光荣等, 1998; 安芷生等, 1990), 而认为人为因素影响较大的专家其研究尺度多集中于几十年的历史(水利部应对气候变化研究中心, 2008)。

5 结论

通过对段家坡黄土剖面地球化学元素的系统分析, 得出以下结论:

(1) 段家坡黄土剖面中各元素含量存在一个明显的变化点, 0.57~0.37 Ma 元素含量波动较大, 0.37 Ma 以来各元素含量变化不大, 反映出不同时期的古气候变化趋势不同; 0.57~0.37 Ma 之间的黄土剖面总体上反映了冷暖间的古气候特征, 0.37~0.13 Ma 黄土剖面总体上反映了温暖湿润的古气候环境, 0.13 Ma 来至 马兰黄土 沉积结束时期(10ka BP)的气候变得较为干冷。

(2) 微量元素的富集与迁移特征变化从地质时代上反映了不同地层形成时的表生作用不同, 沉积环境不同, 当时的古气候条件也不相同。整体上反映了第四纪气候震荡变化, 并越来越干冷的气候。

(3) 深海氧同位素、古植被、古气候与微量元素的变化具有很好的一致性, 并且反映出了米兰科维奇受地球轨道偏心率影响的 10 万年的周期性旋回。

参考文献 (References):

- 安芷生, 吴锡浩, 卢演侑, 等. 最近 2 万年中国环境变迁的初步研究 [C]. 见: 刘东生. 黄土·第四纪地质·全球变化论 (第二集). 北京: 科学出版社, 1990, 1-26.
- An Zhisheng, Wu Xihao, Lu Yanchou, et al. A preliminary study on the paleoenvironment change of China during the last 20000 years. In: Liu Tungsheng. Loess, Quaternary Geology and Global Change (Part II). Science Press, Beijing, 1990, 1-26.
- 陈骏, 安芷生, 汪永进, 等. 最近 800ka 洛川黄土剖面中 Rb/Sr 分布和古季风变迁 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28 (6): 498-504.
- Chen Jun, An Zhisheng, Wang Yongjin, et al. Distribution of Rb and Sr in the Luochuan loess-paleosol sequence

- of China during the last 800ka-implications for paleomonsoon variations [J]. Science in China (series D), 1999, 42 (3): 225-232.
- 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[J]. 第四纪研究, 1999, (4): 350-356.
- 陈骏, 安芷生, 王洪涛, 等. 黄土高原中部S1古土壤次生碳酸盐岩稳定同位素组成与成因探讨[J]. 科学通报, 1996, 41 (14): 1297-1299.
- Chen Jun, An Zhisheng, Wang Hongtao, et al. An isotopic study of the S1 paleosol carbonates from the central Loess plateau of North China [J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41 (18): 1542-1545.
- 陈宜瑜, 陈泮勤, 葛全胜, 等. 全球变化研究进展与展望[J]. 地学前缘, 2002, 9 (1): 11-18.
- Chen Yiyu, Chen Panqin, Ge Quansheng, et al. Global change research: progress and prospect [J]. Earth science Frontiers, 2002, 9 (1): 11-18.
- 刁桂仪, 文启忠, 吴明清, 等. 黄河中游马兰黄土中若干微量元素的平均含量及相关性研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16 (2): 85-92.
- Diao Guiyi, Wen Qizhong, Wu Mingqing, et al. Study on the advance contents and correlativity of trace elements in Ma Lan loess from the middle reaches of the Yellow River [J]. Marine geology & Quaternary geology, 1996, 16 (2): 85-92.
- 董光荣, 靳鹤龄, 陈惠忠, 等. 中国北方半干旱和半湿润地区沙漠化的成因[J]. 第四纪研究, 1998, (2): 136-144.
- Dong Guangrong, Jin Heling, Chen Huizhong, et al. Geneses of desertification in semiarid and subhumid regions of northern China [J]. Quaternary Sciences, 1998, (2): 136-144.
- 顾兆炎, 丁仲礼, 熊尚发, 等. 灵台红黏土和黄土-古土壤序列的地球化学演化[J]. 第四纪研究, 1999, (4): 357-365.
- Gu Zhaoyan, Ding Zhongli, Xiong Shangfa, et al. A seven million geochemical record from Chinese red-clay and loess-paleosol sequence: weathering and erosion in northwestern china [J]. Quaternary Sciences, 1999, (4): 357-365.
- 顾兆炎, 韩家懋, 刘东生. 中国第四纪黄土地球化学研究进展[J]. 第四纪研究, 2000, 20 (1): 41-55.
- Gu Zhaoyan, Han Jiamao, Liu Tungsheng. Progress in geochemical research on the loess and other quaternary deposits in china [J]. Quaternary Sciences, 2000, 20 (1): 41-55.
- 郭正堂, 刘东生. 中国黄土古土壤序列与古全球变化研究[J]. 中国科学基金, 2000, (2): 81-85.
- Guo Zhengtang, Liu Tungsheng. The loess-paleosol sequences in northern China and past global environmental change [J]. Science Foundation of China, 2000, (2): 81-85.
- 贾蓉芬, 刘东生, 林本海. 陕西蓝田段家坡黄土剖面有机质磁性的初步研究[J]. 地球化学, 1993, (3): 234-241.
- Jia Rongfen, Liu Dongsheng, Lin Benhai. A preliminary study on magnetism of organic matter in Duanjiapo loess section (Q₂-Q₃) at Lantian, Shaanxi province, China [J]. Geochimica, 1993, (3): 234-241.
- 贾耀锋, 黄春长, 庞奖励, 等. 全新世黄土剖面Li/Ba值变化及其古气候意义[J]. 第四纪研究, 2005, 25 (6): 770-776.
- Jia Yaofeng, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Variations of Li/Ba ratios and its paleoclimatic significance in the Holocene soil profile [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25 (6): 770-776.
- 林海. 中国全球变化研究的回顾与展望[J]. 地学前缘, 2002, 9 (1): 19-25.
- Lin Hai. Review and prospect of global change research in China [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9 (1): 19-25.
- 李长安, 吴金平, 曹江雄. 冀西北黄土钙质结核的形态及其成因动力学特征与地层环境意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20 (5): 511-514.
- Li Chang'an, Wu Jinping, Cao Jiangxiong. Form and genetic dynamics characteristics of calcareous concretion in the loess of northwestern Hebei province and its stratigraphy significance [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1995, 20 (5): 511-514.
- 李家洋, 陈泮勤, 葛全胜等. 全球变化与人类活动的相互作用——我国下阶段全球变化研究工作的重点[J]. 地球科学进展, 2005, 20 (4): 371-377.
- Li Jiayang, Chen Panqin, Ge Quansheng, et al. Global change and human activities: priorities of the global change research in next phase in China [J]. Advances in Earth Science, 2005, 20 (4): 371-377.

- 李铮华, 王玉海. 黄土沉积的地球化学记录与古气候演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18 (2): 41-47.
- Li Zhenghua, Wang Yuhai. The geochemical record of loess deposit and paleoclimatic evolution [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18 (2): 41-47.
- 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版, 1985: 1-481.
- Liu Dongsheng. Loess and environment [M]. Science press, Beijing, 1985.
- 刘东生, 丁仲礼. 中国黄土研究新进展 (二) 古气候与全球变化 [J]. 第四纪研究, 1990, (1): 1-9.
- Liu Dongsheng. Progresses of loess research in China (part 2): Paleoclimatology and global change [J]. Quaternary Sciences, 1990, (1): 1-9.
- 刘俊峰, 苏英. 黄土地层中微量元素含量与古植被古气候的关系 [J]. 咸阳师专学报, 1996, 11 (6): 21-29.
- Liu Junfeng, Su Ying. Correlation between content of trace element and paleoclimate and paleovegetation [J]. Journal of Xian Yang teachers College, 1996, 11 (6): 21-29.
- 刘俊峰, 滕志宏. 黄土地层钙质结核的孢粉组合及其意义 [J]. 西北大学学报, 1993, 23 (2): 159-167.
- Liu Junfeng, Teng Zhihong. The spore-pollen assemblages and their significance of calcareous concretions in the loess strata [J]. Journal of Northwest University, 1993, 23 (2): 159-167.
- 卢玉东, 孙建中, 李佩成. 用洛川黄土中碳同位素重建 140 万年来古气候 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22 (1): 60-63.
- Lu Yudong, Sun Jianzhong, Li Peicheng. Predicting Paleoclimate since 140Ma B.P. by experiment of carbon isotope in loess [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22 (1): 60-63.
- 庞奖励, 黄春长, 刘安娜, 等. 黄土高原南部全新世黄土-古土壤序列若干元素分布特征及意义 [J]. 第四纪研究, 2007, (3): 357-364.
- Pang Jiangli, Huang Chunchang, Liu Anna, et al. Ba/Sr and Rb/Sr Ratio of Holocene Loess-Paleosol Sequences and its Significance in South Loess Plateau, China [J]. Quaternary Sciences 2007, (3): 357-364.
- 孙继敏, 刁桂仪, 文启忠, 等. 用黄土地球化学参数进行古气候定量估算的初步尝试 [J]. 地球化学, 1999, 28 (3): 265-272.
- Sun Jinmin, Diao Guiyi, Wen Qinzhong, et al. A preliminary study on quantitative estimate of Palaeoclimate by using geochemical transfer function in the loess plateau [J]. Geochimica, 1999, 28 (3): 265-272.
- 童国榜, 羊向东, 王苏民, 等. 第四纪气候事件的孢粉记录 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18 (3): 13-22.
- Tong Guobang, Yang Xiangdong, Wang Sumin, et al. Sporopollen Records from Quaternary climatic events [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18 (3): 13-22.
- 文启忠, 等. 中国黄土地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-285.
- Wen Qizhong, et al. Loess and geochemical in China [M]. Science press, Beijing, 1989.
- 吴立, 王新源, 张广胜, 等. 安徽巢湖湖泊沉积物孢粉—碳屑组合记录的全新世以来植被与气候演变 [J]. 古地理学报, 2008, 10 (2): 183-192.
- Wu Li, Wang Xinyuan, Zhang Guangsheng, et al. Vegetation evolution and climate change since the Holocene recorded by pollen-charcoal assemblages from lacustrine sediments of Chaohu Lake in Anhui Province [J]. Journal of Palaeogeographic, 2008, 10 (2): 183-192.
- 岳乐平. 蓝田段家坡黄土剖面磁性地层学研究 [J]. 地质论评, 1989, 35 (5): 479-488.
- Yue Leping. Magnetostratigraphical study of the loess section at Duanjiapo, Lantian, Shaanxi [J]. Geological Review, 1989, 35 (5): 479-488.
- 张建云, 王国庆, 刘九夫, 等. 气候变化权威报告——IPCC 报告 [J]. 中国水利, 2008, (2): 38-40.
- Zhang Jianyun, Wang Guoqing, Liu Jiufu, et al. Introduction of IPCC Reports [J]. China Water Resources, 2008, (2): 38-40.
- Gallet S, Jahn B M, Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications [J]. Chemical Geology, 1996, 133 (1): 67-88.
- Williams D. F., Thunell R.C., Tappa E., et al. Chronology of the Pleistocene oxygen isotope record: 0 ~ 1.88m. y. BP [J]. Palaeogeogr. Palaeodimato. l, 1988, 64: 221-240.

Characteristics of Geochemical Element and Paleoclimate Effect -A Case Studying of Duanjiapo Section During Late Neogene and Quaternary, in Lantian, Shaanxi

NIU Cai-xiang^{1,2}, LUO Kun-li¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100083, China;

2. Graduate School of Chinese Academy Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The variation of geochemical element in section can reflect the paleoclimate circumstance in the course of sedimentary. Through systematically analyzing 30 pieces of samples collected from Duanjiapo section, we conclude that there is an obvious catastrophe point for every kinds of elements. Content of element has a great change from 0.5Ma to 0.3Ma B.P., but keep unchanged around 0.3Ma. Paleoclimate have changed from the cold-warm fluctuation and total warm and moist to dry-cold climate from 0.5Ma to 0.3Ma B.P. and from 0.3Ma to 0.13Ma B.P. and 0.13Ma to 0.01Ma B.P., the change suggests that the variation trend of paleoclimate is from one geologic era to another. The result from element is not only identical to those from deep sea oxygen isotope, ancient vegetation, and paleoclimate but also consistent with MISCHTCH period.

Key words: Lantian, Shaanxi; Duanjiapo loess section; geochemical element; paleoclimate

《岩浆硫化物矿床》译著简介

《岩浆硫化物矿床的地质、地球化学和勘查》一书的作者A. J. Naldret 是加拿大多伦多大学的终身教授，加拿大皇家科学院院士，一生致力于岩浆铜镍硫化物矿床的研究。这本书对全世界重要的岩浆铜镍硫化物矿床和铂族金属矿床进行了阐释，并对该类矿床的研究进展进行了全面讨论，是一本非常重要的参考书。该书主要从岩浆铜镍铂族金属矿床成矿的视角，对该类矿床的成矿特征和成矿机制进行了卓有成效的探讨，全书共分为10章。第1章概述了岩浆硫化物矿床的分类和对矿床成因的认识；第2章是理论研究，特别评述了近10年来在岩浆铜镍硫化物矿床成因研究中，硅酸岩熔融体中硫的溶解度的概念和影响因素；第3章至第8章分别介绍了与科马提岩有关的矿床、与溢流玄武岩火山作用有关的矿床、俄罗斯贝辰加地区矿床、加拿大沃尔斯贝矿床、中国的金川矿床、加拿大的萨德伯里矿区矿床等6类典型矿床的特征及其成因认识；第9章介绍了铂族元素矿床；第10章总结了对岩浆铜镍及铂族金属矿床的成因认识。此外，译著中还附加了“诺里尔斯克-塔尔纳克Cu-Ni-PGE 矿床构造模式的重塑”、“阿尔泰造山拼贴构造与矿床背景的修正模式”和“古地幔柱的识别”三篇译文，欢迎广大科技工作者参考。

《岩浆硫化物矿床》译著由中国地质调查局西安地质调查中心翻译，《西北地质》编辑部编辑印制。全书共106万字，插图325幅，印刷精美。需要的单位和个人可通过以下方式联系获取：

710054，西安市友谊东路438号，中国地质调查局西安地质调查中心，《西北地质》编辑部

电话：029-87821951；E-mail: xbdzjb@163.com

《西北地质》编辑部