

# 沿海冲积平原区土壤中元素含量特征及其影响因素研究

朱立新<sup>1,3</sup>, 马生明<sup>2,3</sup>, 王之峰<sup>4</sup>, 喻劲松<sup>3</sup>, 郑立果<sup>5</sup>

(1. 吉林大学, 长春 130026; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 中国地质科学院地球物理地球化学研究所, 廊坊 065000; 4. 河北省区域地质矿产调查研究所, 廊坊 065000; 5. 廊坊师范学院, 廊坊 065000)

**[摘要]**根据沿海冲积平原区地球化学调查方法技术研究试验研究结果,开展了土壤中元素含量变化特征及其影响因素的探索研究。研究表明,元素含量在不同地区和不同深度土壤层中的变化特征,除受土壤成壤母质的源岩影响以外,同时还受成壤母质所经历的风化作用及风化程度和由此所决定的土壤矿物组成特性等因素的影响。

**[关键词]**沿海冲积平原区 元素含量 影响因素

**[中图分类号]**P595 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)01-0045-05

沿海冲积平原区土壤中元素地球化学特征及影响因素研究,涉及福建厦门—漳州(下简称厦门)、山东东营—滨洲(下简称东营)、淄博、天津—河北保定(下简称天津)和河北昌黎5个景观区,依次代表了厦门—漳州平原、黄河三角洲、黄河三角洲之山前平原、海河冲积平原及局部山前冲积平原等微景观单元。通过对上述不同微景观区土壤中元素含量特征的研究,探讨了影响这些地区间以及同一地区的不同沉积韵律层间元素含量和分布特征的因素。本文试图为目前正在开展的冲积平原区多目标地球化学调查成果资料的解释和应用提供思路。

## 1 试验研究方法

本次试验研究在5个景观区共采集34个土壤深度剖面。在每个土壤剖面上使用洛阳铲按20 cm等间距连续采集土壤样品。单样原始重量一般在3 kg。样品经自然风干后人工破碎至最大粒径小于0.5 cm,用20目孔径尼龙筛筛分。取出150 g-20目子样,研磨至-150目(0.1 mm),从中取出100 g用作化学元素全量分析,余下50 g子样再手工研磨至-200目,用作矿物成分定量分析。取-20目样品300 g用水筛筛分,水筛孔径选定为150目,筛上粗粒级组分进一步分选后进行重矿物鉴定。

土壤矿物组成分析由中国地质科学院矿产资源

研究所、重矿物鉴定由河北省区域地质矿产调查研究所协助完成;土壤中化学元素含量数据均由中国地质科学院物化探研究所中心实验室提供。分析和鉴定质量监控结果表明,质量合格。

## 2 土壤中元素含量特征及其影响因素

### 2.1 不同地区土壤中元素含量特征

#### 2.1.1 土壤中常量化学组分含量特征

厦门、淄博、东营、天津和昌黎试验区土壤深度剖面上元素平均含量列于表1中。

从表1中可以看到,与其它常量化学组分相比, $K_2O$ 是各试验区土壤中含量比较稳定的组分之一,最高(厦门)和最低(淄博、东营)含量间相差仅0.32%。另一个含量差异比较小的常量化学组分是 $Fe_2O_3$ ,最高含量4.75%(厦门),最低含量3.92%(淄博、东营)。虽然 $K_2O$ 、 $Fe_2O_3$ 在各试验区土壤中的含量变化幅度不大,但是两者的区域变化却比较明显,而且变化特征相似,表明在一系列外力地质作用过程中,土壤中 $K_2O$ 和 $Fe_2O_3$ 的贫化或富集机制基本一致,并最终导致各自含量的均一化。与 $K_2O$ 和 $Fe_2O_3$ 不同,其它常量化学组分在各试验区内具有不同的含量特征,表现出比较明显的地域差异。

$SiO_2$ 在昌黎试验区土壤中含量最高(65.48%),在淄博试验区含量最低(48.81%),在其它3个试

[收稿日期]2002-05-09; [修订日期]2002-07-22; [责任编辑]曲丽莉。

[基金项目]国土资源大调查项目(编号:DKD9904006)资助。

[第一作者简介]朱立新(1963年-),男,1982年毕业于长春地质学院,1988年获硕士学位,在读博士生,教授级高工,从事勘查地球化学方法技术研究工作。

验区内含量基本相同(60.00% ±)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的最高含量(23.40%)出现在厦门试验区内,在昌黎(15.03%)、天津(13.73%)、东营(12.06%)、淄博(11.68%)4个试验区内的含量依次明显降低。淄博试验区 MgO 和 CaO 的含量(3.74%, 12.6%)显著高于其它试验区,土壤中 MgO 含量由高到低的试验区依次是淄博、天津、东营、昌黎、厦门, CaO 含量由高到低的试验区依次是淄博、东营、天津、昌黎和厦门。天津试验区土壤中 Na<sub>2</sub>O 含量(3.01%)高于其它试验区,往下依次是东营、昌黎、淄博试验区,厦门试验区土壤中 Na<sub>2</sub>O 含量最低(0.55%)。

表1 各试验区0~ -200 cm(-260 cm)土壤层中元素平均含量

元素	试验区				
	昌黎	天津	东营	淄博	厦门
SiO <sub>2</sub>	65.48	60.21	60.96	48.81	60.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.03	13.73	12.06	11.68	23.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.46	4.47	3.92	3.92	4.75
MgO	1.85	2.75	2.44	3.74	0.71
CaO	1.31	4.48	6.41	12.6	0.48
Na <sub>2</sub> O	1.85	3.01	2.00	1.03	0.55
K <sub>2</sub> O	2.38	2.32	2.19	2.17	2.49
Cd	94	120	117	105	131
Cu	22	24	19	19	15
Pb	22	19	18	17	44
Zn	61	65	54	49	75
Co	11	14	11	12	9
Ni	21	30	27	26	25
Mo	0.43	0.57	0.52	0.75	1.73
W	1.75	1.68	1.60	1.37	3.31
As	7.0	9.0	10.7	8.6	5.0
Sb	0.56	0.67	0.80	0.64	0.48
Bi	0.27	0.27	0.24	0.26	0.73
Se	0.17	0.10	0.09	0.17	0.33
Hg	39	45	14	31	94
F	459	530	470	1141	342
B	41	54	54	87	24
N	504	525	479	566	600
P	480	702	640	545	370
Cr	66	68	63	62	37
Mn	553	678	551	480	649
V	81	82	78	80	78
Ti	4242	4115	4018	3770	4477
Zr	252	229	266	202	243

表中元素含量单位:氧化物 - ω<sub>B</sub>/%; Hg、Cd - ω<sub>B</sub>/10<sup>-9</sup>; 其它元素 - ω<sub>B</sub>/10<sup>-6</sup>。

### 2.1.2 土壤中微量元素含量特征

统计结果表明(表1),厦门试验区土壤中 Cd、Pb、Zn、Mo、W、Bi、Se、Hg、Ti 及 N、Mn 等微量元素的含量明显高于其它试验区,而 Cu、As、Sb、F、B、P、Cr

等微量元素的含量却低于其它试验区。这些微量元素,除淄博、东营试验区内 Zn、Hg、Ti 出现低含量, F、B 出现高含量以外,在其它试验区土壤中的含量大体相同。此外,Co、Ni、V、Zr 等元素的含量在各试验区内基本不变。

从以上元素含量区域分布特征中不难看出,在所有5个试验区中,土壤中化学元素含量差异最大的是厦门和淄博(以及东营)试验区。不同试验区间土壤元素含量上的差异应该是各地区成壤母质源岩特性的体现,同时也是沉积物风化类型及风化程度、水动力条件及流域地质构造条件、主要矿化类型等多种因素的综合反映<sup>[1]</sup>,下面仅从成壤母质源岩特性及其矿物组成和成壤母质所经历的风化条件几个方面来进行探讨。

## 2.2 不同地区土壤中元素含量特征影响因素探讨

### 2.2.1 成壤母质源岩特性及其矿物组成

上述5个试验区位于不同的自然景观条件下,作为成壤母质物源的河流沉积物来自不同的流域,各流域(尤其是黄河流域)间成壤母质源岩特性明显不同,无疑会导致各试验区土壤中元素含量的地区性差异。有研究表明,黄河沉积物的物质组成基本上继承了黄土高原中多数元素的组成特征<sup>[2]</sup>,本次试验研究结果进一步证实了这一结论。通过对各试验区土壤中 CaO 含量变化规律的分析后认为,淄博、东营试验区土壤中 CaO 含量显著高于其它试验区的原因,推测与黄河流域内蒸发岩的含量较高有关。

成壤母质源岩特性对土壤中元素含量的控制作用容易理解,因此本文不再做更深入的讨论,这里要探讨的是成壤母质的矿物组成特性对不同地区土壤中元素含量特征的影响。作为土壤物质基础的固相颗粒,绝大多数是从成壤母质中继承下来的原生矿物碎屑和各类次生矿物。在特定的自然地理景观条件下,土壤中化学元素的含量及其分布特征主要取决于土壤对成壤母质中各种矿物成分的继承。同时矿物的某些特性或矿物地球化学研究也可以提供环境演化及环境污染等方面的信息<sup>[3-5]</sup>。

通过对东营、天津和昌黎3个试验区内土壤矿物组成的研究发现(表2),方解石是含量变化最大的一种矿物,最高含量达11.1%(东营),最低含量仅有0.34%(昌黎)。据此推测,土壤中的方解石对 CaO 的含量产生了直接影响。不仅如此,表生环境下大量方解石的存在可能指示了某种成壤环境。其它矿物对土壤中元素含量的直接影响不显著。

表2 东营、天津、昌黎试验区土壤矿物组成  $\omega_B/\%$ 

试验区	石英	长石	伊利石	高岭石	方解石	CaO
东营	20.4	32.1	28.4	4.2	11.1	6.41
天津	29.1	31.5	27.9	4.9	6.1	4.48
昌黎	25.4	34.8	30.5	7.9	0.34	1.31

### 2.2.2 成壤母质风化条件

在不同自然条件下,风化条件(包括风化类型和程度)是控制河流沉积物乃至在其基础上形成的土壤的物质成分的一个重要因素。有研究者利用河流沉积物中元素的比值定量地研究流域的风化条件,取得了预期的结果<sup>[6]</sup>。利用元素间比值研究风化条件的理论基础在于在风化过程中,受元素地球化学性质决定某些元素在化学风化时易于迁移、淋失,如Na、Ca等,而另一些元素则多保存在风化形成的粘土中而聚集,如K、Al以及Fe等。部分元素在母岩风化、剥蚀、搬运、沉积及成岩过程中不易迁移,它们几乎被等量地转移到碎屑沉积物中。有研

究者指出,Fe/Mg、K/Ca、Al/(Al+K+Na+Ca)等比值可以被用作指示化学风化作用强弱的指标,化学风化作用强比值高,化学风化作用弱比值低<sup>[2,6]</sup>。借鉴这一研究思路,根据本次试验研究实际资料探讨了指示成壤母质风化条件的指标,进而对各试验区的风化条件进行了对比研究。试验研究结果发现(表3),成壤母质所经历的风化条件,直接决定了土壤中元素含量的区域分布特征。

从表3中不难发现,本项研究中涉及的5个试验区其成壤母质经历的主导风化类型和风化程度存在显著差异。综合各项指标将各试验区成壤母质经历的化学风化作用由强到弱进行排序,结果是厦门>昌黎>天津>东营>淄博,厦门试验区成壤母质经历的化学风化作用远强于其它试验区,淄博、东营试验区成壤母质经历的化学风化作用最弱。应该说,这一结果与各试验区所在流域的自然气候条件基本吻合,表明研究结果具有一定的可信度。

表3 各试验区土壤层中部分元素平均含量比值

试验区	以往研究者推荐指标 <sup>[1,4]</sup>			本次研究中试验指标								
	Fe/Mg	K/Ca	Al/Al1	Si/Ca	Al/Mg	Al/Ca	Al/K	Fe/Ca	Al/Al2	Fe/Fe1	Fe/Fe2	Ca/Na
厦门	6.69	5.26	0.87	125	33.0	48.8	9.4	9.9	0.85	2.83	2.61	0.87
昌黎	2.41	1.82	0.73	50	8.1	11.5	6.3	3.4	0.67	1.50	1.27	0.71
天津	1.63	1.93	0.58	13	5.0	3.1	5.9	1.0	0.52	0.96	0.81	1.45
东营	1.61	0.52	0.53	10	4.9	1.9	5.5	0.6	0.48	0.83	0.71	3.21
淄博	1.05	0.17	0.42	4	3.1	0.9	5.4	0.3	0.37	0.59	0.50	12.23

表中 Al1 = Al + K + Ca + Na; Al2 = Al + K + Ca + Na + Mg; Fe1 = Fe + K + Ca + Na; Fe2 = Fe + K + Ca + Na + Mg。

由此分析,各试验区土壤中元素含量的区域性差异除反映成壤母质源岩特性外,还受到成壤母质经历的风化条件的控制。相比其它试验区而言,厦门试验区温暖而湿润,降雨量大,以强化学风化作用为主,因此淋溶作用强,使得CaO、MgO和Na<sub>2</sub>O等组分大量流失,而Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等组分残留下来。试验区土壤中微量元素含量普遍比较高,可能与流域内的地质背景和矿化发育程度有关。与此相反,黄河流域气候寒冷干燥,土壤松散,植被稀疏,降雨量小,以物理风化作用为主。物理风化使得碱、碱土金属淋失少,造成淄博及东营试验区土壤中CaO等的高含量。化学风化作用介于厦门和淄博、东营之间的天津、昌黎试验区,土壤中化学元素的含量也表现出过渡的特点。

### 3 不同深度土壤层中元素含量特征及其影响因素

以往众多试验研究结果均证实,即便是在相同的试验区内,土壤中元素的含量特征也会因地因时

而异。因地制宜容易理解,因时而异是指在不同深度土壤层(形成时代不同的沉积韵律层)间元素的含量出现较大幅度的变异。对这种存在于不同深度土壤层中元素含量的变异及其控制因素的研究,对解释和利用覆盖区多目标地球化学调查资料尤为重要。有关这方面的研究资料积累比较多,本文仅以东营试验区DY1剖面为例进行讨论。

DY1剖面位于滨州市区北镇,属黄河三角洲冲积平原地貌单元。土壤机械组成分析表明,剖面上细砂粒级以上的粗粒级组分从4%~0.3%,总体来说在土壤中所占的比例不大,而且在各个深度层中的差异也不太明显。

#### 3.1 DY1剖面土壤元素含量与矿物组成相关性研究

前文已经述及,成壤母质的矿物组成特性是控制土壤中化学元素含量地域分布差异的直接因素。DY1深度剖面试验研究结果表明(图1),这一结论同样可用来解释不同深度土壤层间元素含量的差异。从图1上可以清楚地看到,DY1剖面不同深度土壤层中常量化学组分含量的分布规律明显,SiO<sub>2</sub>

和  $\text{Na}_2\text{O}$  呈拉长的“S”型,而  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  则正好相反,呈拉长的反“S”型,这两组组分含量变化的深度恰好吻合。 $\text{CaO}$  的含量分布特征具有其特

殊性,大体呈拉长的“L”型。除 Zn 以外,其它微量元素如 As、Cu、Pb、Cr 等的含量分布形态与  $\text{CaO}$  更相似。

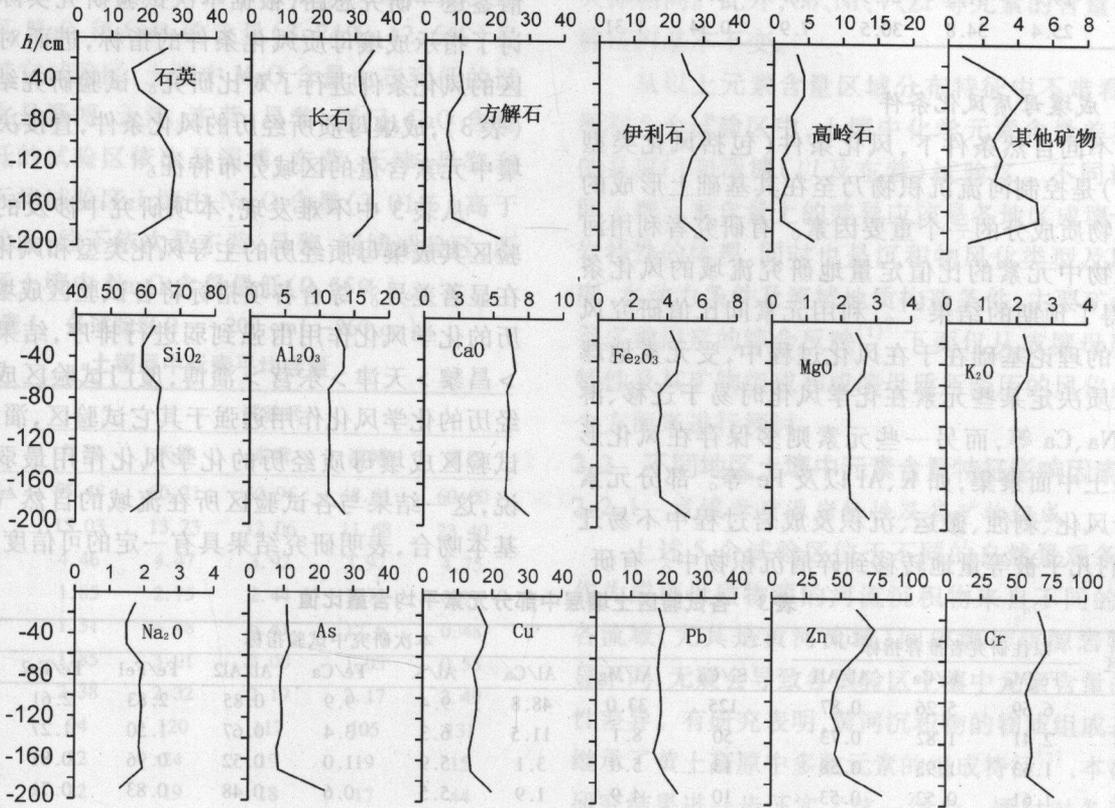


图1 东营试验区 DY1 剖面土壤元素含量与矿物组成图示

单位:As、Cu、Pb、Zn、Cr 为  $\omega_B/10^{-6}$ ,其余为  $\omega_B/\%$

进一步对比分析发现,剖面上土壤中化学元素的含量与土壤的矿物组成具有基本一致的分布特征。 $\text{SiO}_2$ 和  $\text{Na}_2\text{O}$  的分布形态与石英、长石等常见矿物的分布形态很相近, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  却恰好与其相反,总体上粘土矿物伊利石、高岭石的分布特征大同小异。 $\text{CaO}$  的含量与方解石的含量密切相关。虽然 As、Cu、Pb、Cr 等微量元素的含量分布形态与  $\text{CaO}$  相似,但综合分析后认为,这些元素的含量分布特征可能与剖面上粘土矿物的含量变化关系更为密切。剖面上不同深度土壤层中常见矿物与粘土矿物组成的变化,反映出成壤母质所经历的风化作用以及风化程度的差异。相应的地球化学示踪指标也清楚地显示出这种差异。

### 3.2 DY1 剖面土壤元素含量与成壤母质风化条件的关系

不同沉积韵律层(深度)上成壤母质经历的风化条件及风化程度,基本上已经通过剖面上成壤母质的矿物组成反映出来,但是为了对这一问题进行

更系统的对比分析,仍采用地球化学示踪方法对此进行了进一步的探讨,结果如图2所示。可以看到,除个别比值以外,图中多数元素比值的变化基本与剖面上土壤矿物组成和化学元素含量的变化规律一致,表明风化作用和风化程度的改变即影响了成壤母质的矿物组成,又进而影响了其化学元素含量。综合图1、图2分析, -20 ~ -60cm 土壤层中,成壤母质经历了更强的化学风化作用,粘土矿物含量增高,导致  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  及部分微量元素在该层位中含量增高,而  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  含量降低。

## 4 结论与建议

综上所述可以认为,除流域内成壤母质源岩特性外,成壤母质经历的风化作用和风化程度以及矿物组成对土壤中化学元素含量的分布特征具有直接影响。但是我们知道,从源岩—河流沉积物(成壤母质)—土壤,需要经历一系列外力地质作用,因此,控制土壤中化学元素含量分布特征的因素绝不

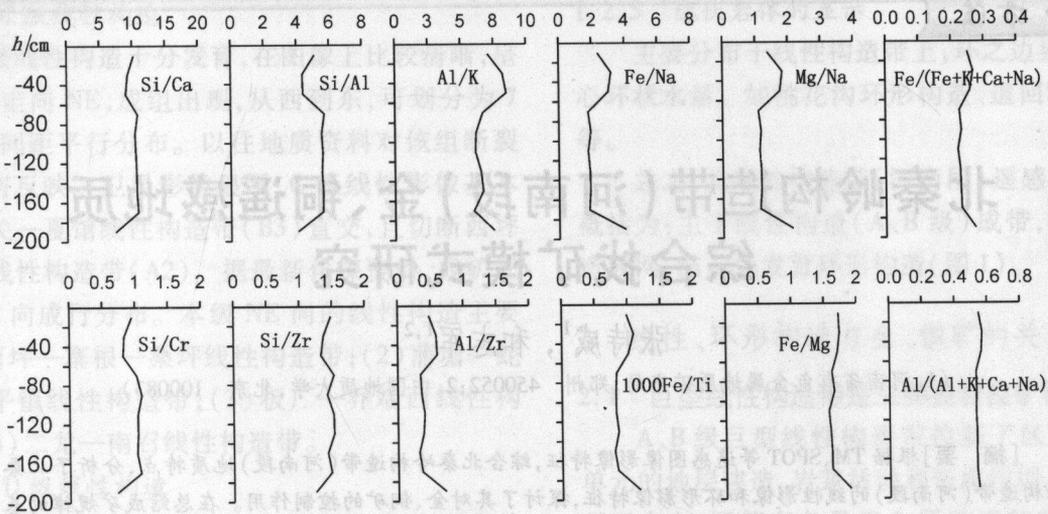


图2 东营试验区 DY1 剖面成壤母质风化条件示踪指标图示

仅仅是上述两种,而是多种多样的,每一个控制因素又要与其它诸多因素联合才能起作用,从而也就造就了各种各样的土壤类型及其元素组成特征。就文中论及的两个控制因素而言,实际上也很难将它们截然分开,之所以单独进行叙述只是出于讨论问题的需要。源岩的特性和流域的自然地理气候条件首先决定了成壤母质经历的主导风化作用和程度,进而影响着成壤母质的矿物组成特性,最后通过土壤中化学元素的含量表现出来。

覆盖区多目标地球化学调查是一项基础性、公益性基础地质调查工作,其调查结果将为国民经济的可持续发展提供基础地球化学资料,并可在资源潜力评价、环境保护、农业生产、人体健康和基础地质研究等领域发挥重要作用。但是正如本项试验研究所证实的那样,冲积平原区土壤中元素含量的分布特征并不是某个控制因素独立作用的结果,而是几个甚至多个因素联合作用的产物。因此,无论哪一个领域在应用覆盖区多目标地球化学调查成果资

料时,都要避免误入“单一控制因素”的歧途。事实上,只有在全面、系统的基础研究基础上,才能真正推进覆盖区多目标地球化学调查成果资料的应用进程,拓展其应用领域。

[参考文献]

[1] Nechaev V P, Isphording W C. Heavy assemblages of continental margins as indicators of plate - tectonic environments[J]. *J of Sed. Petrology*, 1993,63(6):1110 ~ 1117  
 [2] 杨守业,李从先. 长江与黄河现代表层沉积物元素组成及其示踪作用[J]. *自然科学进展*. 1999,9(10):930 ~ 937  
 [3] 王立本,黄蕴慧,鲁安怀. 国际环境矿物学研究新进展[J]. *岩石矿物学杂志*. 1999,18(4): 377 ~ 383  
 [4] 贾建业,汤艳杰. 环境演变的矿物标识研究新进展[J]. *岩石矿物学杂志*. 2001,20(4): 419 ~ 427  
 [5] 杨守业,李从先,朱金初,等. 长江与黄河沉积物中磁铁矿成分标型意义[J]. *地球化学*. 2000,29(5):480 ~ 484  
 [6] 孟宪伟,杜德文,陈志华. 长江、黄河流域泛滥平原细粒沉积物<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 空间变异的制约因素及其物源示踪意义[J]. *地球化学*. 2000,29(6):562 ~ 570.  
 [7] 朱立新,马生明,周国华,等. 冲积平原区土壤元素组成特征及其示踪作用[J]. *地质与勘探*,2002,38(4):56 ~ 59.

ELEMENT CONTENT CHARACTER AND ITS INFLUENCING FACTORS IN SOIL IN INSHORE ALLUVIAL PLAIN

ZHU Li - xin<sup>1,3</sup>, MA Sheng - ming<sup>2,3</sup>, WANG Zhi - feng<sup>4</sup>, YU Jin - song<sup>3</sup>, ZHENG Li - guo<sup>5</sup>

(1. Jilin University, Changchun 130026; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000; 4. Hebei Regional Geology and Mineral Resources Survey, Langfang 065000; 5. Langfang teachers college, Langfang 065000)

**Abstract:** The characters of element contents and influencing factors in soils have been studied that based on the geochemical investigating results in some inshore alluvial plain. The results indicate that the characters of element content in different region or different depth of soils in alluvial plain are affected by weathering process, weathering extent of soil original material and mineral compositions, addition to the character of parent rock of soil original material.

**Key words:** inshore alluvial plain, element content, influencing factors