

DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2013.06.011

## 安徽宿州地区石灰岩-土壤元素迁移及质量评价\*

陈松<sup>1,2\*\*</sup> 桂和荣<sup>1,2</sup> 孙林华<sup>1,2</sup>

(1. 宿州学院地球科学与工程学院, 宿州, 234000; 2. 安徽省煤矿勘探工程技术研究中心, 宿州, 234000)

**摘要** 通过野外采样及室内分析测试,对宿州石灰岩土壤质量状况、成土作用过程中元素迁移规律及影响因素进行研究.结果表明,宿州地区石灰岩土壤P、Sr较缺乏,K、Ca、Fe、Mn和Cu含量丰富,S、Zn含量适中;在岩石-土壤作用过程中,Ca、Cu和Sr元素亏损,其他元素全部富集;主成分分析提取4个主成分,解释累计总方差77.03%,其中元素Si、Zr、Ca、Ti、Al、K、Mn主要受控于自身化学行为(PC1);Rb、Fe、V、Th、Cr主要受区域环境影响(PC2);PC3和PC4分别对元素Pb、Sr、As和Cu、Zn有较高的贡献,暗示此两种因素为后期人类活动.

**关键词** 元素迁移, 土壤, 评价, 宿州, 主成分分析.

中国石灰岩分布广泛,约占国土面积的五分之一,因此石灰岩土壤十分普遍.在石灰岩的成土作用过程中,化学风化是主要因素,成土过程中岩石的矿物化学组成、生物、气候等因素均对土壤元素组成、迁移、累计有重要影响<sup>[1]</sup>.随着人口-资源-环境之间的矛盾日趋尖锐,土壤质量问题正在不断得到国内外学者的关注.土壤质量与土壤元素含量密切相关,土壤质量状况直接影响农业生产,而土壤元素含量及其分布主要取决于成土母岩和成土作用改造过程.不少学者通过成土母岩及土壤的元素迁移特征进行研究,或对后期人类工农业活动造成的土壤环境质量进行评价,为农业生产和农作物生长提供借鉴<sup>[2-4]</sup>.

为了对宿州市石灰岩土壤质量状况进行评价,并分析土壤成土过程中的元素迁移规律,本次研究对宿州市石灰岩-土壤剖面进行系统取样,对岩石、土壤样品进行主、微量元素测试分析,掌握了宿州市石灰岩土壤的质量状况,分析了岩-土系统中元素的迁移规律,并尝试通过多元统计方法揭示影响不同元素迁移或富集的主要因素.

### 1 样品采集与测试

宿州市境内平原广袤、气候适宜,区内盛产小麦、玉米等粮食作物.根据区域地质地貌条件及耕作方式等因素,用自制采样器采集0—20 cm表层土壤样品,每样品取土1—2 kg,且采样时避免接触铁质等金属器械,土壤均用塑料铲处理.土壤样品共采集16个,分别编号S1—S16,样品置阴凉处自然风干后,手工剔除明显的动植物残片,并在烘箱内(80℃)保温24 h后过200目筛.准确称取4 g然后利用30 t压片机进行压片,送XRF测试.测试在安徽省煤矿勘探工程技术研究中心完成,仪器为Explorer 9000SDD,每测试3个样品后利用仪器自带标样进行校准,重金属元素含量采用国家标准沉积物GBW07307进行监控,误差控制在10%,具体测试流程见文献[5].

岩石样品均采自宿州地区地表出露的新元古代灰岩,且岩石样品采集位置和土壤样品临近,岩石样品编号为Y1—Y6,全岩样品首先用无污染鄂式破碎机及玛瑙碾钵破碎至200目以下,进行主量元素和微量元素分析.样品测定值和推荐值的相对误差小于10%,且绝大部分小于5%,详细的样品制备、分析流程见高剑峰等<sup>[6]</sup>.

2012年8月30日收稿.

\*国家自然科学基金(41173106);安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2013B289);宿州学院科研平台开放课题(2013YKF01, 2011YKF22)资助.

\*\*通讯联系人, E-mail:szxychensong@163.com

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤元素构成

测试结果见表 1. 宿州地区石灰岩土壤样品主要由元素 Si 和 Ca 构成,其含量分别为 40.45% 和 5.39%, 低于区域河流沉积物含量(分别为 72.53% 和 12.09%)<sup>[7]</sup>,说明在长期河流作用中有利于 Si 和 Ca 的富集;另外 Al、Fe 和 K 含量也较高,是土壤主要的构成元素.为进一步揭示宿州地区石灰岩土壤元素的分布特征,将土壤元素含量与中国土壤背景值相比<sup>[8]</sup>.可知,宿州地区石灰岩土壤中,元素 Ca 和 Th 明显富集,比中国土壤背景值高;元素 Al 亏损严重,Ti、V、Cr、Mn、Zn、Rb、Sr、Zr、Pb 基本与区域背景值相当,K、Cu、Fe、As 略高于中国土壤背景值.

岩石样品以 Ca 含量为主,占到 39.35%,其他元素含量均较低.利用区域石灰岩母岩样品对土壤进行标准化可得图 1.由图 1 可知,与母岩相比,土壤样品中仅有元素 Ca、Cu、Sr 含量低于石灰岩母岩含量,在风化成土过程中发生了亏损,其他元素均高于岩石中元素含量.尤其 Si、Rb、Zr、Th 元素产生明显的富集,元素含量为灰岩中元素含量的几十倍甚至上百倍.

表 1 宿州地区石灰岩土壤及石灰岩元素构成

Table 1 Elements concentration in limestone soil and limestone from Suzhou area

样品号	元素构成/%							元素含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )									
	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	V	Cr	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
S1	1.88	36.43	3.59	4.21	0.32	0.073	5.35	87	70	38	70	15	129	129	186	29	11
S2	1.39	30.69	2.51	11.94	0.36	0.063	4.13	67	56	47	59	19	97	128	168	23	27
S3	1.74	38.26	3.24	7.46	0.35	0.076	4.45	81	60	38	65	10	114	212	197	33	24
S4	1.27	27.86	2.60	9.08	0.31	0.080	4.17	69	77	39	70	15	100	225	196	31	31
S5	1.37	39.79	3.79	3.62	0.35	0.073	4.56	83	76	40	60	10	119	113	267	32	23
S6	1.77	36.69	2.90	4.64	0.33	0.083	4.90	80	68	42	64	17	116	134	225	27	20
S7	2.11	41.43	2.65	5.66	0.36	0.075	4.86	85	67	40	69	14	107	107	247	30	23
S8	1.67	44.89	2.28	3.57	0.39	0.072	4.30	85	63	42	60	15	106	124	272	27	23
S9	1.95	40.56	2.11	2.23	0.38	0.096	4.50	82	66	36	62	16	103	105	260	26	18
S10	2.01	48.14	1.67	5.72	0.38	0.093	4.40	82	70	50	86	12	105	136	266	29	24
S11	2.08	45.01	1.44	8.05	0.38	0.086	4.30	73	55	38	68	12	99	202	244	32	22
S12	1.66	42.28	2.08	3.50	0.39	0.074	4.59	81	72	41	60	16	106	126	257	26	18
S13	1.73	47.28	2.50	4.18	0.36	0.081	3.87	81	63	41	58	13	99	128	270	26	27
S14	1.72	45.55	2.58	3.73	0.38	0.081	3.85	78	57	36	64	12	104	133	286	30	25
S15	1.72	43.16	2.25	3.80	0.39	0.077	4.00	80	60	39	66	14	104	204	294	32	34
S16	1.61	39.22	2.03	4.80	0.40	0.091	3.99	80	69	36	61	13	97	119	290	27	15
S 平均值	1.73	40.45	2.51	5.39	0.36	0.08	4.39	79.63	65.56	40.19	65.13	13.94	106.6	145.3	245.3	28.75	22.81
土壤背景值	6.62	33.0	1.86	1.54	0.38	0.058	2.94	82.4	61	22.6	74.2	11.2	111	167	256	26	0.52
Y1	0.23	0.42	0.10	38.77	0.05	0.0047	0.3	5.40	3.45	104	16.8	10.6	5.4	2892	7.0	7.5	0.5
Y2	0.14	0.36	0.06	39.26	0.04	0.0032	0.3	5.88	3.17	301	45.6	10.7	2.3	2480	2.4	23.5	0.2
Y3	0.16	0.42	0.12	39.26	0.04	0.0074	0.3	5.33	5.32	141	20.4	10.4	3.7	522	2.7	9.6	0.3
Y4	0.18	0.28	0.12	39.16	0.05	0.0034	0.4	4.71	5.62	145	19.9	11.5	4.0	714	3.3	11.2	0.5
Y5	0.11	0.16	0.07	39.81	0.04	0.0022	0.2	2.94	3.06	138	28.5	10.0	2.6	2960	3.1	8.7	0.4
Y6	0.03	0.00	0.02	39.82	0.04	0.0038	0.2	4.03	2.07	135	19.0	10.4	1.1	1504	1.1	11.5	0.3
Y 平均值	0.14	0.28	0.08	39.35	0.04	0.0041	0.29	4.72	3.78	161	25.03	10.6	3.16	1845	3.28	12.0	0.4

注:背景值源于文献[8].

### 2.2 土壤肥力评价

研究表明,植物对 P、K、Ca、S 的吸收主要来自土壤,这些元素都是植物所必须的大量元素;而 Fe、Mn、Cu、Zn 为植物所必须的微量元素,而土壤中微量元素的含量反映了其有效量的供给能力,Sr 为土壤中有有益元素.对土壤中 P、K、Ca、S、Fe、Mn、Cu、Zn、Sr 这些土壤必须元素、微量元素和有益元素进行评价,

均参考 1990 年出版的《中国土壤元素背景》<sup>[8]</sup>中报道的全国土壤 A 层背景值的 25%、50%、75% 和 90% 顺序统计量作为土壤的分级标准,该分级标准具有全国可比性,结果见表 2。

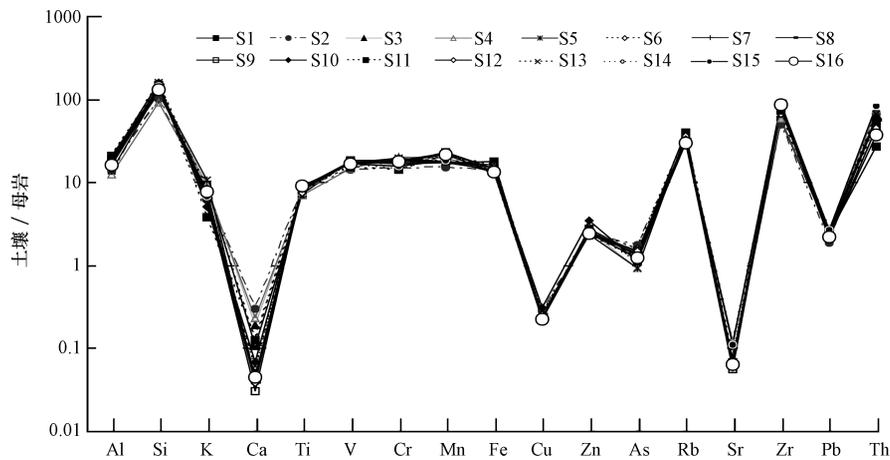


图 1 宿州地区石灰岩土壤母岩标准化图

Fig.1 Source rock value-normalized patterns of limestone soil from Suzhou area

由表 2 可知,宿州地区石灰岩土壤必须元素中,P 丰富-极丰富的样品占 12.5%,极缺乏的占到 81.25%,整体处于极缺乏状态;K 和 Ca 含量丰富,其中丰富比例分别占到 87.5% 和 93.75%;S 含量基本适中. 必须的微量元素中,Fe 处于丰富-极丰富状态;Mn 处于适中-丰富状态;Cu 处于丰富-极丰富状态;Zn 处于适中-缺乏状态;Sr 处于缺乏状态.

表 2 宿州地区石灰岩土壤中有益元素评价

Table 2 Content grading standard of beneficial elements of limestone soil from Suzhou area

元素含量	一级(极丰富)		二级(丰富)		三级(适中)		四级(缺乏)		五级(极缺乏)	
	分级标准	百分比/%	分级标准	百分比/%	分级标准	百分比/%	分级标准	百分比/%	分级标准	百分比/%
P/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>2000	6.25	1500—2000	6.25	1000—1500	0	750—1000	6.25	≤750	81.25
K/%	>3.0	18.75	2.0—3.0	68.75	1.5—2.0	6.25	1.0—1.5	6.25	≤1.0	0
Ca/%	>5.23	37.5	3.02—5.23	56.25	0.93—3.02	6.25	0.36—0.93	0	≤0.36	0
S/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>248	37.5	186—248	31.25	150—186	6.25	122—150	0	≤122	25
Fe/%	>4.36	50	3.53—4.36	50	2.97—3.53	0	2.42—2.97	0	≤2.42	0
Mn/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>967	6.25	711—967	87.5	540—711	6.25	342—540	0	≤342	0
Cu/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>36.6	81.25	27.3—36.6	18.75	20.7—27.3	0	14.9—20.7	0	≤14.9	0
Zn/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>116	0	89.2—116	0	68.0—89.2	31.25	51.0—68.0	68.75	≤51.0	0
Sr/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>312	0	204—312	18.75	147—204	6.25	78—147	75	≤78	0

### 2.3 元素迁移

自然土壤中元素的主要来源是成土母岩,并且在后期过程中受到成土条件、气候、地域性差异等影响,导致元素不同程度地迁移或富集. 为揭示宿州市石灰岩土壤成土过程中不同元素的迁移性,及成土过程中成土母质、表土层和心土层不同阶段元素的迁移差异,对区域石灰岩土壤 3 个阶段的迁移系数进行计算,计算公式为:

$$K = C_n / C_d$$

其中, $K$  为迁移累积系数, $C_n$  为土壤层元素含量, $C_d$  为母岩元素含量. $K$  值小于 1 表示纯迁移, $K$  值大于 1 时表示相对积累,结果见表 3.

由表 3 可以看出,在元素从成土母岩向土壤转化的过程中,仅仅 Ca、Cu、Sr 3 种元素发生了亏损,其他元素均为富集. 但在这些富集元素当中,在不同的成土阶段,其迁移系数又有所不同. 元素 Si、Ti、Zr、Th 在心土层阶段迁移系数最大,高于成土母质和表土层,反映了在成土过程中,随着过程深入而不断加

大;而 Fe、Cr、As、Rb、Zn 在心土层中最小,暗示在成土初期元素富集强烈,随着成土过程富集系数逐渐变小;元素 Al、V、Cu 和 Zn 在表土层中含量较高,在成土作用过程中可能受到其他外界环境影响,而显示出不太协调的变化规律. 这些不同元素迁移系数在成土作用过程中相似的变化规律,反映了元素具有相似的迁移过程.

表 3 宿州地区石灰岩-土壤元素迁移系数

Table 3 The value of element- movement(*K*) between limestone and soil from Suzhou area

土壤阶段	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	V	Cr	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
成土母质	11.2	124.8	38.8	0.17	8.4	18.2	15.8	16.5	17.9	0.25	2.6	1.35	35.6	0.09	63.0	2.43	56.7
表土层	13.7	156.1	25.5	0.12	9.5	20.2	15.5	17.2	17.3	0.26	2.7	1.34	33.0	0.07	78.6	2.36	53.3
心土层	12.1	156.4	29.3	0.10	9.6	20.1	13.5	16.9	16.5	0.24	2.5	1.23	32.0	0.08	86.9	2.40	63.1
S1	13.4	130.1	44.9	0.11	8.0	17.8	18.4	18.4	18.5	0.24	2.8	1.42	40.8	0.07	56.7	2.42	27.5
S2	9.9	109.6	31.4	0.30	9.0	15.4	14.2	14.2	14.8	0.29	2.4	1.79	30.7	0.07	51.2	1.92	67.5
S3	12.4	136.6	40.5	0.19	8.8	18.5	15.3	17.2	15.9	0.24	2.6	0.94	36.1	0.11	60.1	2.75	60.0
S4	9.1	99.5	32.5	0.23	7.8	19.5	14.4	14.6	20.4	0.24	2.8	1.42	31.6	0.12	59.8	2.58	77.5
S5	9.8	142.1	47.4	0.09	8.8	17.8	15.7	17.6	20.1	0.25	2.4	0.94	37.7	0.06	81.4	2.67	57.5
S6	12.6	131.0	36.3	0.12	8.3	20.2	16.9	16.9	18.0	0.26	2.6	1.60	36.7	0.07	68.6	2.25	50.0
S7	15.1	148.0	33.1	0.14	9.0	18.3	16.8	18.0	17.7	0.25	2.8	1.32	33.9	0.06	75.3	2.50	57.5
S8	11.9	160.3	28.5	0.09	9.8	17.6	14.8	18.0	16.7	0.26	2.4	1.42	33.5	0.07	82.9	2.25	57.5
S9	13.9	144.9	26.4	0.06	9.5	23.4	15.5	17.4	17.5	0.22	2.5	1.51	32.6	0.06	79.3	2.17	45.0
S10	14.4	171.9	20.9	0.15	9.5	22.7	15.2	17.4	18.5	0.31	3.4	1.13	33.2	0.07	81.1	2.42	60.0
S11	14.9	160.8	18.0	0.20	9.5	21.0	14.8	15.5	14.6	0.24	2.7	1.13	31.3	0.11	74.4	2.67	55.0
S12	11.9	151.0	26.0	0.09	9.8	18.0	15.8	17.2	19.0	0.25	2.4	1.51	33.5	0.07	78.4	2.17	45.0
S13	12.4	168.9	31.3	0.11	9.0	19.8	13.3	17.2	16.7	0.25	2.3	1.23	31.3	0.07	82.3	2.17	67.5
S14	12.3	162.7	32.3	0.09	9.5	19.8	13.3	16.5	15.1	0.22	2.6	1.13	32.9	0.07	87.2	2.50	62.5
S15	12.3	154.1	28.1	0.10	9.8	18.8	13.8	16.9	15.9	0.24	2.6	1.32	32.9	0.11	89.6	2.67	85.0
S16	11.5	140.1	25.4	0.12	10.0	22.2	13.8	16.9	18.3	0.22	2.4	1.23	30.7	0.06	88.4	2.25	37.5

## 2.4 统计分析

近年来,多元统计分析方法在环境地学中得到广泛应用<sup>[9-10]</sup>,其中因子分析是利用降维的思想,从研究原始变量相关矩阵的内部结构出发,把变量归结为少数几个综合因子的一种多元统计分析方法. 它根据相关性大小将变量分组,每组变量代表一个基本结构,用一个综合变量表示,称为公共因子. 为了进一步揭示元素在迁移过程中的富集与亏损规律,及元素在迁移过程中的相关性,探讨元素迁移过程中的影响因素. 利用 SPSS 软件对迁移系数数据进行相关性分析,结果见表 4.

具有相似化学行为的元素在成土作用过程中必定具有相似的迁移规律,从而在迁移系数上具有较好的相关性. 而从表 4 可以看出, Si、Ti 和 Zr 具有较好的相关性, Si-Ti、Si-Zr、Ti-Zr 相关系数分别为 0.68、0.76 和 0.75, Fe 和 Rb 相关性系数达到 0.80, Al 和 Si 相关性系数为 0.60, 均具有较好的相关性; 另外, Si 和 V 均具有一定的相关性, 这与元素在不同成土阶段的分析结果基本一致. 此外, Ca 和 Zr、V 还具有明显的负相关, 相关系数为 -0.85 和 -0.77, 表明 Ca 具有和 Zr、V 相反的富集和迁移规律; Si 和 Ca、K 还表现为明显的负相关, 其相关系数为 -0.74 和 -0.55, 也暗示了元素的化学行为具有一定差别. 除此之外, Al 和 K, Rb 和 Ti, Fe 和 Th 等相关元素也具有一定的负相关关系.

元素的迁移系数数值主要受控于元素的化学行为, 另外还受环境、外来元素侵染及人类活动影响. 对石灰岩-土壤元素迁移系数进行主成分分析, 共提取了 4 个主成分, 解释的累计总方差为 77.03%, 具体数值见表 5. 其每个元素在主成分的贡献值按照数值绝对值从大到小排列, 可见, 元素 Si、Zr、Ca、Ti、Al、K、Mn 在迁移过程中受到相同的影响因素, 主要受控于 PC1; Rb、Fe、V、Th、Cr 在 PC2 具有较高的数值, 主要受控于 PC2; PC3 对元素 Pb、Sr 和 As 有较高的贡献; PC4 对元素 Cu 和 Zn 有较高的贡献. 一般来讲, 在元素迁移过程中, 元素自身的化学行为为主要影响因素, 其次是外界环境, 包括气候、土壤背景值等; 再次, 是人类现代工农业活动对土壤中元素的影响. 因此, 结合该区主成分对于元素的影响, 推测

PC1 指示元素自身化学行为的影响,且所有元素在 PC1 中均具有相对较高的数值,即所有元素在一定程度上受到该因素的影响;PC2 可能暗示了区域地表环境对元素迁移过程的影响,说明元素 Rb、Fe、V、Th、Cr 等在区域环境中容易受到影响;PC3 和 PC4 主要对元素 Pb、As、Cu 和 Zn 有较高的贡献值,这几种均为重金属元素,容易在后期人类活动中积累和富集,这反映了元素在成土作用过程中或后期,受到了各种人类活动的影响。

表 4 宿州地区石灰岩-土壤元素迁移系数相关性分析

Table 4 Correlation matrix of K between limestone and soil from Suzhou area

	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Pb	Th
Al	1.00																
Si	0.60 *	1.00															
K	-0.62 **	-0.55 *	1.00														
Ca	-0.42	-0.74 **	0.19	1.00													
Ti	0.29	0.68 **	-0.58 *	-0.55 *	1.00												
V	0.47	0.52 *	0.14	-0.77 **	0.16	1.00											
Cr	-0.30	-0.29	0.47	-0.20	-0.39	0.27	1.00										
Mn	0.44	0.35	-0.37	-0.38	0.31	0.11	0.12	1.00									
Fe	0.34	-0.22	0.29	-0.05	-0.48	0.49	0.41	-0.16	1.00								
Cu	-0.04	0.05	-0.21	0.28	0.00	-0.15	0.04	-0.21	0.03	1.00							
Zn	0.44	0.15	-0.31	0.04	-0.12	0.08	0.19	0.37	0.25	0.39	1.00						
As	-0.15	-0.47	-0.09	0.32	-0.11	-0.30	-0.02	-0.25	0.18	0.26	-0.23	1.00					
Rb	0.10	-0.11	0.62 *	-0.12	-0.51 *	0.60 *	0.36	-0.28	0.80 **	-0.09	0.13	-0.16	1.00				
Sr	-0.15	-0.24	-0.02	0.48	-0.27	-0.48	-0.19	-0.01	-0.25	-0.15	0.25	-0.24	-0.14	1.00			
Zr	0.22	0.76 **	-0.33	-0.85 **	0.75 **	0.41	-0.01	0.45	-0.43	-0.21	-0.08	-0.38	-0.28	-0.26	1.00		
Pb	0.13	0.10	0.14	-0.07	-0.21	0.12	0.05	0.06	0.06	-0.35	0.38	-0.75 **	0.30	0.62 *	0.10	1.00	
Th	-0.33	-0.02	-0.15	0.29	-0.01	-0.48	-0.25	-0.20	-0.62 *	0.25	0.05	-0.08	-0.45	0.54 *	0.08	0.27	1.00

注: \*\* 在 0.01 水平相关, \* 在 0.05 水平相关。

表 5 宿州地区石灰岩-土壤元素迁移系数主成分分析

Table 5 Score of principal component factors of K between limestone and soil from Suzhou area

元素	PC1	PC2	PC3	PC4
Si	0.92	-0.03	0.06	0.05
Zr	0.87	-0.11	0.02	-0.38
Ca	-0.85	-0.37	0.08	0.27
Ti	0.78	-0.37	-0.27	-0.11
Al	0.64	0.23	0.08	0.60
K	-0.58	0.50	0.10	-0.54
Mn	0.57	-0.03	0.16	0.18
Rb	-0.21	0.89	0.18	0.00
Fe	-0.22	0.86	-0.07	0.38
V	0.53	0.76	-0.03	-0.09
Th	-0.15	-0.69	0.38	-0.08
Cr	-0.19	0.57	0.03	-0.14
Pb	0.07	0.14	0.95	-0.09
Sr	-0.32	-0.40	0.75	0.08
As	-0.40	-0.13	-0.73	0.25
Zn	0.14	0.13	0.47	0.74
Cu	-0.14	-0.17	-0.26	0.56
方差/%	27.78	21.94	15.35	11.97
累计方差/%	27.78	49.72	65.06	77.03

### 3 结论

宿州石灰岩土壤主要由元素 Si 和 Ca 构成, Al、Fe 和 K 含量也较高, 是土壤主要的组成元素. 与中国土壤背景值相比, 元素 Ca 和 Th 呈现明显的富集趋势, 元素 Al 亏损严重, Ti、V、Cr、Mn、Zn、Rb、Sr、Zr、Pb 基本与背景值相当, K、Cu、Fe、As 略高于中国土壤背景值;

对土壤元素进行评价可知, 元素 P 整体处于缺乏状态, Fe、Cu、K 和 Ca 含量极丰富, S 含量基本适中, Mn 处于适中-丰富状态, Zn 处于适中-缺乏状态; Sr 处于缺乏状态; 元素从成土母岩向土壤转化的过程中, 仅仅 Ca、Cu、Sr 元素发生了亏损, 其他元素均为富集, 但这些富集元素又各有差异;

对元素迁移系数进行多元统计分析, 其中 Si、Ti 和 Zr, Fe 和 Rb, Al 和 Si 等具有较好的相关性, 暗示了元素之间相似的化学行为. Si 和 Ca、K, Ca 和 Zr, V 具有明显的负相关, 其富集和迁移规律相反; 提取了 4 个主成分, 解释的累计总方差为 77.03%, 其中元素 Si、Zr、Ca、Ti、Al、K、Mn 主要受控于元素本身的化学行为(PC1); Rb、Fe、V、Th、Cr 主要受控于区域地表环境(PC2); PC3 和 PC4 分别对元素 Pb、Sr、As 和元素 Cu、Zn 有较高的贡献, 这其中有多种重金属元素, 暗示了成土过程或后期人类活动的影响.

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 温琰茂, 曾水泉, 潘树荣, 等. 中国东部石灰岩土壤元素含量分异规律研究[J]. 地理科学, 1994, 14(1): 16-21
- [ 2 ] 徐小磊, 戴圣潜, 刘家云, 等. 安徽宁国地区岩-土系统元素迁移及其农业地质效应[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2005, 30(2): 168-176
- [ 3 ] 倪善芹, 侯泉林, 据宜文, 等. 北京下古生界碳酸盐岩地层中微量元素迁移富集规律[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(4): 488-496
- [ 4 ] 袁新田, 张春丽, 孙倩, 等. 宿州市煤矿区农田土壤重金属含量特征[J]. 环境化学, 2011, 30(8): 1451-1455
- [ 5 ] 度先国, 腾彦国, 徐争启, 等. X 射线荧光方法在矿区环境地球化学研究中的应用[J]. 地球科学—中国地质大学学报[J], 2003, 28(6): 702-706
- [ 6 ] 高剑峰, 陆建军, 赖明远, 等. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2003, 39(6): 844-850
- [ 7 ] 陈松, 黄淑玲, 孙林华, 等. 安徽宿州市沱河底泥中重金属元素地球化学特征[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 331-337
- [ 8 ] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 330-382
- [ 9 ] 路玉林, 戴圣潜, 李运怀, 等. 安徽宁国市山核桃农业地质环境的因子分析研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1203-1206
- [ 10 ] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中重金属环境风险测度与源解析[J]. 地球化学, 2006, 35(1): 88-94

## Evaluation and movement of elements in limestone-soil from Suzhou area, Anhui Province

CHEN Song<sup>1,2</sup> GUI Herong<sup>1,2</sup> SUN Linhua<sup>1,2</sup>

(1. School of Earth Science and Engineering, Suzhou University, Suzhou, 234000, China;

2. Engineering Research Center of Coal Mining Exploration, Suzhou, 234000, China)

#### ABSTRACT

Based on field sample collection and laboratory analysis, the characteristics of soil quality, as well as the movement of elements between limestone and soil and its characteristics were investigated. The results showed that the elements which indicated soil fertility in limestone soils can be divided into three types: P and Sr are lacking, K, Ca, Fe, Mn and Cu are rich, and S and Zn are average; Ca, Cu and Sr are deficient in the movement from source rock to soil. However, the other elements are enriched. Four components accounted for 77.03% of the total variance, which showed that Si, Zr, Ca, Ti, Al, K and Mn were dictated by the chemistry behavior(PC1), while Rb, Fe, V, Th and Cr were clearly influenced by the region-environment (PC2). The third(PC3) and fourth factors(PC4) had significant contribution to elements Pb, Sr, As and the Cu, Zn, respectively, suggesting PC3 and PC4 were related to human activities.

**Keywords:** movement of element, soil, evaluation, Suzhou area, principle component analysis.