

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtk.2020.0037

胡琪,刘少玉,刘鹏飞,,等.阜阳市东南部土壤地球化学特征及土壤质量评价[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(2):144-151. HU Q,LIU S Y,LIU P F,et al. Soil geochemical characteristics and evaluation of soil quality in Southeast of Fuyang City[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2020,18(2):144-151. (in Chinese)

# 阜阳市东南部土壤地球化学特征及土壤质量评价

胡琪<sup>1</sup>,刘少玉<sup>1</sup>,刘鹏飞<sup>1</sup>,张文强<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所,石家庄 050061;2. 山东省地矿工程勘察院,济南 250014)

**摘要:**通过 1:250 000 多目标区域地球化学调查、采样和化验,获得了阜阳市东南部地区表层、深层土壤中 22 项指标的土壤地球化学背景值、基准值等数据,研究其分布特征,并依据相应规范进行土壤质量评价。结果显示,与邻区(淮北-亳州)土壤基准值相比,N、Mn、I、Cr 等 8 种元素(指标)土壤基准值略高,而 P、MgO、S、Cd 等 8 种元素(指标)则低于邻区;N、Corg 和 Mn 土壤背景值高于邻区的土壤背景值;而 P、CaO、MgO、S 等 8 种元素(指标)土壤背景值低于邻区。土壤养分主要处于中等水平、土壤环境质量以清洁为主,仅存在少量轻微污染土壤,影响土壤环境的地球化学指标主要为 Cd。区内土壤质量综合评价以优质等级为主,约占研究区总面积的 76.33%;其次为良好等级,占研究区总面积的 23.67%,就此提出了土地资源分质利用的建议。

**关键词:**阜阳市;土壤地球化学;基准值;背景值;土壤质量评价

中图分类号:S153 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Soil geochemical characteristics and evaluation of soil quality in Southeast of Fuyang City

HU Qi<sup>1</sup>, LIU Shaoyu<sup>1</sup>, LIU Pengfei<sup>1</sup>, ZHANG Wenqiang<sup>2</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China;

2. Shandong Province Geology and Mineral Engineering Investigation Institute, Jinan 250014, China)

**Abstract:** Through the geochemical survey and the sampling of 1:250 000 target areas, the soil geochemical background values and reference values of 22 indicators in surface and deep soils were obtained to study the distribution characteristics in the southeastern part of Fuyang City. Soil quality evaluation was calculated according to the corresponding specifications. The results showed that the soil reference values of 8 elements (indicators) such as N, Mn, I and Cr were slightly higher, while 8 elements such as P, MgO, S and Cd (indicators) were lower compared with the soil reference value of the neighboring area (Huabei-Bozhou). The soil background values of N, Corg, and Mn were higher than those of the adjacent area. The soil background values of 8 elements (indicators) such as P, CaO, MgO and S were lower than the adjacent areas. Soil nutrients were mainly at a medium level, while the soil environmental quality was clean and only a small amount of slightly polluted soil existed in the study area. The geochemical index which affecting the soil environment was Cd. The comprehensive evaluation of soil quality in the area was high quality grade, accounting for 76.33% of the total area in the study area, followed by good grade, accounting for 23.67% of the total area of the study area. Therefore, the suggestions on the qualitative utilization of land resources were put forward.

**Key words:** Fuyang City; soil geochemistry; reference values; background values; soil quality evaluation

收稿日期:2019-04-09 修回日期:2019-08-21 网络出版时间:2019-08-28

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190828.0746.002.html>

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20190532)

作者简介:胡琪(1994—),女,河北石家庄人,主要从事地下水可持续开发利用方面研究。E-mail:526041228@qq.com

通信作者:刘少玉(1961—),男(满族),辽宁锦州人,研究员,博士,主要从事地下水可持续开发利用研究。E-mail:344272337@qq.com



表 1 土壤样品分析方法配套方案  
Tab. 1 Soil samples analysis method supporting scheme

分析方法	项数	测定元素或指标
电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)	4	Mn、CaO、MgO、Ni
电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)	4	Cd、Pb、Cu、Zn
X 射线荧光光谱法(XRF)	4	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、K <sub>2</sub> O、Cr、P
原子荧光光谱法(AFS)	3	As、Hg、Se
交流电弧-发射光谱法(ES)	1	B
催化极谱法(POL)	1	Mo
燃烧-碘量法(VOL)	1	S
容量法(VOL)	1	N
容量法(VOL)	1	Corg
离子选择性电极法(ISE)	1	pH
催化分光光度法(COL)	1	I

土壤样品中各元素的分析质量控制采用外部质量控制和内部质量控制相结合的办法,各元素的分析方法、检出限、合格率均满足《调查规范》要求。

### 1.3 数据处理

土壤地球化学基准值(以下简称“土壤基准值”)是指未受人类影响(自然条件下)的土壤原始沉积环境地球化学元素含量,也称为土壤元素本底值,以深层土壤元素含量表征。土壤地球化学背景值(以下简称“土壤背景值”)是指自然应力和人类活动共同作用影响下区域土壤的量值,以表层土壤元素含量表征<sup>[4,9-10]</sup>。基准值的求取首先对数据频率分布形态进行正态检验,服从正态或对数正态分布的,分别用算术平均值和几何平均值代表基准值;不服从正态分布的,则按算术平均值加减 3 倍标准离差反复剔除后,其平均值代表基准值<sup>[4,11]</sup>。表层土壤背景值的求取方法与基准值相同。数据统计和图件绘制借助 Excel、MAPGIS 和 Geochem Studio 软件完成。

### 1.4 评价方法

以获得的表层土壤地球化学调查数据为基础,按照《土地质量地球化学评价规范》<sup>[12]</sup>(以下简称《评价规范》)要求,结合采样密度等方面,以 2 km×2 km 网格作为评价单元进行评价。土壤质量评价内容包括土壤养分地球化学综合等级划分、土壤环境地球化学综合等级划分和土壤质量地球化学综合等级划分。

#### 1.4.1 土壤养分地球化学综合等级划分

根据《评价规范》,在 N、P、K 元素土壤单指标

养分等级划分基础上,按照公式(1)计算评价单元土壤养分地球化学综合得分为

$$f_{\text{养综}} = \sum_{i=1}^n k_i f_i \quad (1)$$

式中: $f_{\text{养综}}$ 为土壤元素 N、P、K 评价总得分; $k_i$ 为 N、P、K 权重系数,分别为 0.4、0.4、0.2; $f_i$ 为 N、P、K 单元素等级得分。单元素评价结果分为一等、二等、三等、四等、五等时,所对应的得分分别为 5、4、3、2、1 分。土壤养分地球化学等级划分见表 2。

表 2 土壤养分地球化学等级

Tab. 2 Comprehensive geochemical hierarchy of soil nutrients

等级	含义	单指标养分分级标准/(g·kg <sup>-1</sup> )			土壤养分综合得分
		N	P	K	$f_{\text{养综}}$
一等	丰富	>2	>1	>25	≥4.5
二等	较丰富	>1.5~2	>0.8~1	>20~25	4.5~3.5
三等	中等	>1~1.5	>0.6~0.8	>15~20	3.5~2.5
四等	较缺乏	>0.75~1	>0.4~0.6	>10~15	2.5~1.5
五等	缺乏	≤0.75	≤0.4	≤10	<1.5

#### 1.4.2 土壤环境地球化学综合等级划分

对 As、Cd、Cr、Pb、Hg、Ni、Cu 和 Zn 共 8 种重金属元素进行单项污染指数  $P_i$  计算,公式为

$$P_i = C_i / S_i \quad (2)$$

式中: $C_i$ 为土壤中  $i$  指标的实测值(mg/kg); $S_i$ 为污染物  $i$  在 GB 15618<sup>[13]</sup>中给出的二级标准值(mg/kg)。在单指标土壤环境地球化学等级(表 3)划分基础上,土壤环境地球化学综合等级等同于单指标划分出的环境等级最差等级。

表3 土壤环境地球化学等级划分标准

Tab. 3 Soil environmental geochemical classification standards

等级	一等	二等	三等	四等	五等
污染指数 P	≤1	1~2	2~3	3~5	>5
土壤环境	清洁	轻微污染	轻度污染	中度污染	重度污染

### 1.4.3 土壤质量地球化学综合等级划分

对土壤养分地球化学综合等级与土壤环境地球化学综合等级划分结果进行叠加,按照表4进行土壤质量地球化学等级综合划分。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤地球化学基准值与背景值特征

研究区及邻区(淮北-亳州)土壤基准值和土壤背景值见表5。

深层土壤中CaO变异系数大于0.50,属不均匀分布;Cd、Hg、I、Mo、Se和Corg这6种元素(指标)变异系数介于0.25~0.50,属较均匀分布;N、P、MgO、As、Cr等其余15种元素(指标)变异系数小

于0.25,属均匀分布。与邻区土壤基准值相比,N、Mn、I、Cr等8种元素(指标)略高,P、MgO、S、Cd等8种元素(指标)低于邻区值,其中CaO和S含量仅为邻区的0.38和0.6倍;K<sub>2</sub>O、Se、Hg等6种元素(指标)与邻区值接近。

表4 土壤质量地球化学综合等级

Tab. 4 Comprehensive geochemical soil quality scale

土壤质量	土壤环境地球化学综合等级					
	清洁	轻微污染	轻度污染	中度污染	重度污染	
丰富	一等	三等	四等	五等	五等	
土壤养分地球化学综合等级	较丰富	一等	三等	四等	五等	五等
	中等	二等	三等	四等	五等	五等
	较缺乏	三等	三等	四等	五等	五等
	缺乏	四等	四等	四等	五等	五等

注:一等为优质;土壤环境清洁,土壤养分丰富至较丰富;二等为良好;土壤环境清洁,土壤养分中等;三等为中等;土壤环境清洁,土壤养分较缺乏或土壤环境轻微污染,土壤养分丰富至较缺乏;四等为差等;土壤环境清洁或轻微污染,土壤养分缺乏或土壤环境轻度污染,土壤养分丰富至缺乏或土壤盐渍化等级为强度;五等为劣等;土壤环境中度和重度污染,土壤养分丰富至缺乏或土壤盐渍化等级为盐土。

表5 土壤基准值和土壤背景值统计

Tab. 5 Soil reference value and background values statistics

指标	深层土壤			淮北-亳州 土壤基准值	表层土壤			淮北-亳州 土壤背景值	背景值/ 基准值
	样本数	基准值	变异系数		样本数	背景值	变异系数		
N	326	313	0.22	296	1 132	1204	0.15	1033	3.84
P	323	383	0.18	440	1 137	663	0.20	828	1.74
K <sub>2</sub> O	326	2.27	0.04	2.25	1 123	2.08	0.11	2.21	0.93
Corg	326	0.2	0.38	0.21	1 126	1.134	0.18	1.04	5.69
CaO	279	1.53	0.65	4.00	867	0.90	0.15	3.53	1.05
MgO	326	1.53	0.14	2.21	1 108	1.27	0.30	1.91	0.86
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	326	5.43	0.09	4.94	1 113	4.70	0.13	4.69	0.88
B	326	52	0.09	48	1 132	54	0.11	51	1.04
Mn	326	727	0.17	706	1 137	621	0.20	568	0.86
Mo	316	0.39	0.26	0.45	1 114	0.42	0.27	0.49	1.10
S	310	61	0.23	101	1 114	166	0.17	208	2.77
Se	306	0.06	0.44	0.05	1 115	0.17	0.19	0.20	2.83
I	326	2.1	0.37	1.54	1 129	1.6	0.23	1.8	0.76
As	326	11.2	0.20	13.0	1 050	8.6	0.30	10.7	0.82
Cd	326	0.072	0.28	0.092	1 115	0.146	0.30	0.166	2.08
Cr	326	82	0.10	76	1 129	74.3	0.09	71	0.91
Cu	326	25.6	0.13	24	1 108	24.4	0.13	26	0.96
Hg	326	0.013	0.27	0.018	1 056	0.030	0.62	0.035	2.69
Ni	326	36.3	0.11	35	1 125	29.9	0.15	31.0	0.83
Pb	326	23.6	0.08	23	1 111	26.0	0.09	25.0	1.10
Zn	326	65.8	0.09	60	1 124	63.4	0.17	66.0	0.97
pH	325	7.88	0.06	8.30	1 141	6.28	0.18	7.31	0.80

注:深层土壤样本数初始值为326,表层土壤样本数初始值为1 141;氧化物、Corg(有机碳)单位为%;其它为μg/g;pH值无量纲。

表层土壤中 Hg 变异系数大于 0.50,属不均匀分布;MgO、Mo、As、Cd 和 Ni 变异系数介于 0.25~0.50,属较均匀分布;其余元素(指标)变异系数均小于 0.25,属均匀分布。)N、Corg 和 Mn 土壤背景值高于邻区的土壤背景值;而 P、CaO、MgO、S 以及 As、Cd、Zn 土壤背景值低于邻区值,CaO 含量仅为邻区的 0.25 倍;K<sub>2</sub>O、B、Se、Hg 等 11 种元素(指标)与邻区接近。

### 2.2 表层土壤元素富集与贫化分析

通过土壤背景值与土壤基准值比较(表 5),能够反映元素在表层土壤环境下富集或贫化情况。

结果显示,K<sub>2</sub>O、CaO、B、Mo 等 8 种元素(指标)土壤背景值与基准值比值介于 0.9~1.1,土壤背景值与土壤基准值接近,说明这些元素(指标)在成土过程中受外力作用和人为活动影响较小,基本保持了原始状态。

Cd、Hg、N、P、S、Se 和 Corg 在表层土壤中产生富集(比值>1.1),其中 Hg、N、S、Se、Corg 出现明显富集(比值>2.5)。研究区农业种植规模较大,大量使用的农药化肥是 N、S、P、Corg 等的主要来源;Se 的富集可能主要受土壤酸碱度和有机质的吸附作用影响,pH 较低或有机质含量较高时,对 Se 的吸附作用较强,Se 不易流失<sup>[10,14]</sup>;另外,表层土壤属

于开放系统,煤矿开采、交通运输及大气沉降可能导致了 Cd、Hg 在表层土壤中的积累<sup>[15-17]</sup>。

Mn、I 和 pH 等 7 种元素(指标)在表层环境中出现贫化现象(比值<0.9)。其原因可能是作物生长过程中会吸收 Mn 而使得其含量降低<sup>[18-19]</sup>;土壤中有机的增加会使土壤 pH 降低<sup>[20]</sup>;I 元素在地表环境中具有较强的迁移性,易发生淋溶淋失<sup>[21]</sup>,进而出现贫化现象。

### 2.3 土壤质量评价

#### 2.3.1 土壤养分综合等级

研究区表层土壤 N 元素含量主要处于中等-较缺乏水平,占全区总面积的 93.78%;P 元素含量以中等-较缺乏水平为主,占总面积的 81.77%,集中分布在曹集镇、柴集镇、半岗镇以及耿棚镇等地;K 元素含量总体呈中等-较丰富水平,占全区总面积的 95.79%,高值区沿颍河沿岸的口孜镇、杨楼孜镇、八里河镇、杨湖镇和王岗镇呈带状分布。

土壤养分综合评价结果显示(图 2),全区土壤养分以中等水平为主,占全区总面积的 76.33%,区内分布广泛;其次是养分较缺乏的土壤,占全区面积的 23.58%,主要沿颍河呈条带状分布;养分缺乏土壤仅占全区面积的 0.09%,分布在杨湖镇东部。

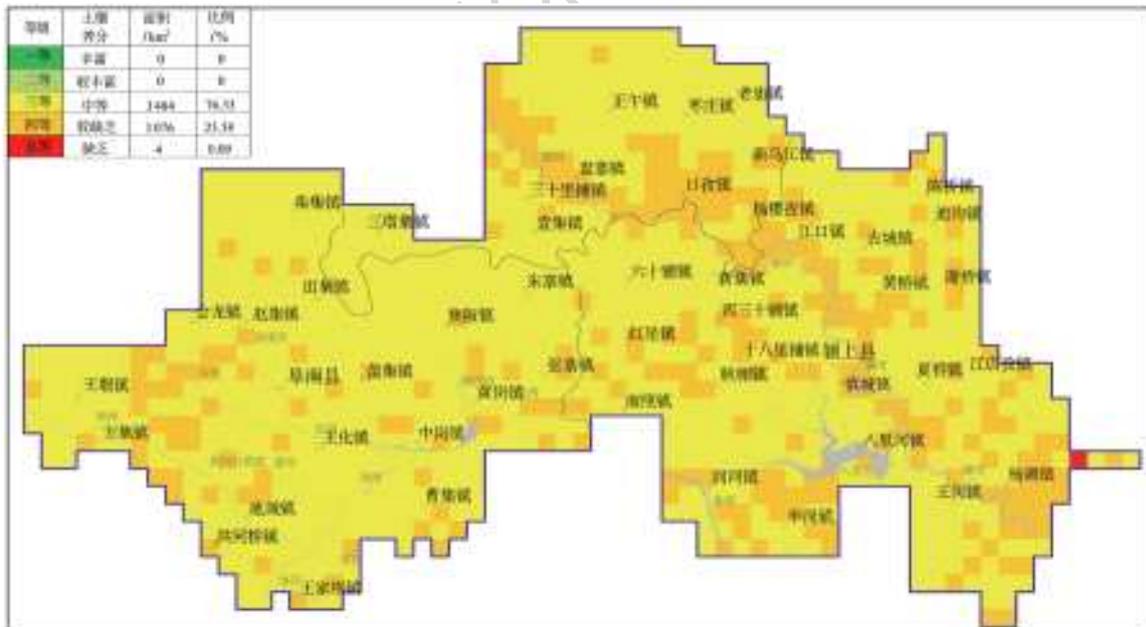


图 2 阜阳地区土壤养分地球化学综合等级

Fig. 2 Comprehensive grade of soil nutrients geochemistry in Fuyang area

#### 2.3.2 土壤环境综合等级

研究区 As、Cr、Cu、Pb、Ni、Hg 和 Zn 7 种单项指标的污染指数均小于 1,土壤环境处于清洁等级。大部分地区土壤 Cd 为清洁等级,局部地区 Cd 处于

轻微污染,影响该区土壤环境质量的地球化学指标主要为 Cd。

根据单指标污染分级结果对研究区土壤环境进行综合评价(图 3),由图可见,全区土壤环境质量以

清洁为主,占研究区总面积的 99.82%;其次是轻微污染土壤,占研究区总面积的 0.18%,分布在古城

镇和黄桥镇两地,为 Cd 污染影响区;全区无轻度、中度和重度污染土壤分布。



图 3 阜阳地区土壤环境地球化学综合等级

Fig. 3 Comprehensive grade of soil environment geochemistry in Fuyang area

### 2.3.3 土壤质量综合等级

结合土壤养分与土壤环境评价结果,得到研究区土壤质量地球化学综合等级图(图 4),可见,区域内土壤质量整体较好,以优质等级为主,在区内广泛

分布,面积达3 484 km<sup>2</sup>;其次为良好土壤,面积为 1 080 km<sup>2</sup>,约占研究区总面积的 23.67%,主要分布在沿颍河的三十里铺、口孜镇、杨楼孜镇、八里河镇、杨湖镇等地;无中等、差等和劣等土壤分布。

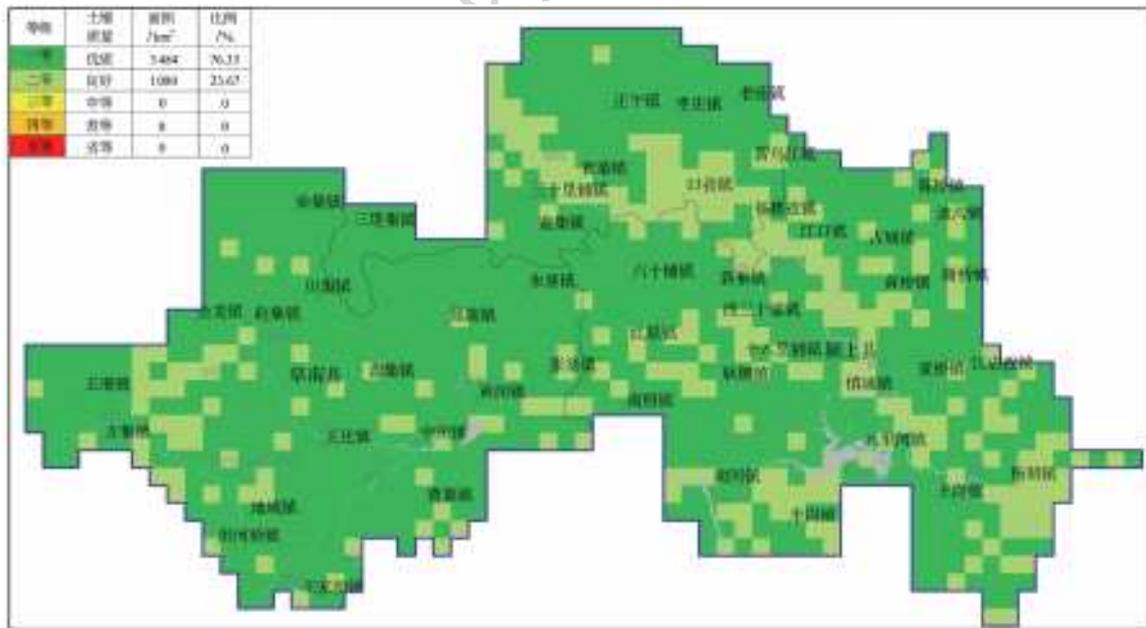


图 4 阜阳地区土壤质量地球化学综合等级

Fig. 4 Comprehensive grade of soil quality and geochemistry in Fuyang area

## 3 结论及建议

(1) 通过将研究区与邻区的土壤基准值与土壤背景值对比发现,与邻区土壤基准值相比,N、Mn、

I、Cr 等 8 种元素(指标)土壤基准值略高,而 P、MgO、S、Cd 等 8 种元素(指标)则低于邻区;N、Corg 和 Mn 土壤背景值高于邻区的土壤背景值;而 P、CaO、MgO、S 等 8 种元素(指标)土壤背景值低于邻

区。N、P、S、Corg、Se、Cd 和 Hg 主要受人为活动的影响,在表生环境中出现富集;Mn、I 等因吸收、淋滤作用的发生而在表生环境下出现贫化。

(2)研究区土壤养分以中等水平为主,在区内广泛分布;其次是较缺乏水平,沿三十里铺镇、口孜镇、杨楼孜镇、黄桥镇、颍上县的颍河带分布的土壤,其养分;养分缺乏的土壤仅局部分布在杨湖乡东部,占全区面积的 0.09%。建议根据元素丰缺情况科学培育地力、合理施肥,提高土壤养分水平,进而实现农业增产增收。区内土壤环境质量总体良好,仅在黄桥镇、古城镇局部受 Cd 单项污染物影响,建议应当加强土壤治理修复与监测工作。

(3)研究区土壤质量以优质等级为主,占总面积的 76.33%,主要分布在阜南县、柴集镇、袁寨镇、颍上县大部分区域,该类土壤是开发绿色和有机农产品的最具优势资源,应当优先开发利用和严格保护;良好等级土壤面积占研究区的 23.67%,主要沿颍河的三十里铺、口孜镇、杨楼孜镇、颍上县、八里河镇、杨湖镇等呈带状分布,可实行选择性特色开发,以促进农业经济多样化发展;区内无中等、差等和劣等土壤分布。

#### 参考文献(References):

- [1] 黄昌勇,徐建明. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:4-7 (HUANG C Y, XU J M. Soil Science[M]. Beijing:China Agriculture Press,2000:4-7. (in Chinese))
- [2] 郑琦,王海江,吕新,等. 新疆棉田土壤质量综合评价方法[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1291-1301. (ZHENG Q, WANG H J, LU X, et al. Comprehensive evaluation method of soil quality in cotton fields in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1291-1301. (in Chinese)) DOI:10.13287/j.1001-9332.201804.029.
- [3] 何邵麟,陈武,刘应忠,等. 贵阳市土壤地球化学背景与生态环境分析[J]. 地球与环境, 2015, 43(6): 642-652. (HE S L, CHEN W, LIU Y Z, et al. Analysis of soil geochemical background and ecological environment in Guiyang City[J]. Earth and Environment, 2015, 43(6): 642-652. (in Chinese)) DOI: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2015.06.007.
- [4] 代杰瑞,庞绪贵,宋建华,等. 山东淄博城市和近郊土壤元素地球化学特征及生态风险研究[J]. 中国地质, 2018, 45(3): 617-627. (DAI J R, PANG X G, SONG J H, et al. Geochemical characteristics and ecological risk of soil elements in Zibo city and suburbs of Shandong Province[J]. Chinese Geology, 2018, 45(3): 617-627. (in Chinese)) DOI:10.12029/gc20180314.
- [5] 范薇,曾妍妍,周金龙,等. 新疆若羌县土壤质量地球化学评价[J]. 环境化学, 2019, 38(5): 1190-1196. (FAN W, ZENG W, ZHOU J L, et al. Geochemical evaluation of soil quality in Ruoqiang County, Xinjiang [J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(5): 1190-1196. (in Chinese)) DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2018071604.
- [6] 陈毛华,肖莉,黄伟,等. 阜阳市近郊耕地养分状况分析[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(4): 34-35, 45. (CHEB M H, XIAO L, HUANG W, et al. Analysis of nutrient status of cultivated land in the suburbs of Puyang City[J]. Jilin Agricultural Sciences, 2010, 35(4): 34-35, 45. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1003-8701.2010.04.009.
- [7] 马宗新. 阜阳市蔬菜产区重金属等有害物质的检测与分析[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(1): 87-88, 94. (MA Z X. Detection and analysis of heavy metals and other harmful substances in vegetable production areas in Puyang City [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 25(1): 87-88, 94. (in Chinese)) DOI: 10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2019.01.034.
- [8] 陈毛华,刘明广,郭斌,等. 阜阳市城郊菜地重金属污染调查与评价[J]. 地球与环境, 2017, 45(3): 322-328. (CHEN M H, LIU M G, GUO B, et al. Investigation and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Vegetable Fields in Suburbs of Fuyang City [J]. Earth and Environment, 2017, 45(3): 322-328. (in Chinese)) DOI:10.14050/j.cnki.1672-9250.2017.03.010.
- [9] DZ/T 0258-2014. 多目标区域地球化学调查规范(1:250000) [S]. (DZ/T 0258-2014. Multi-target regional geochemical survey specification (1:250000) [S]. (in Chinese))
- [10] 鲍丽然,龚媛媛,严明书,等. 渝西经济区土壤地球化学基准值与背景值及元素分布特征[J]. 地球与环境, 2015, 43(1): 31-40. (BAO L R, GONG Y Y, YAN M S, et al. Soil Geochemical baseline value and background value and element distribution characteristics in western economic zone of SiChuan. [J]. Earth and Environment, 2015, 43(1): 31-40. (in Chinese)) DOI: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2015.01.005.
- [11] 庞绪贵,代杰瑞,陈磊,等. 山东省 17 市土壤地球化学背景值[J]. 山东国土资源, 2019, 35(1): 46-56. (PANG X G, DAI J R, CHEN L, et al. Soil geochemical background values of 17 cities in Shandong Province [J]. Shandong Land Resources, 2019, 35(1): 46-56. (in Chinese)) DOI: 10.12128/j.issn.1672-6979.2019.01.008.
- [12] 中华人民共和国国土资源部. 土地质量地球化学评价规范[S]. 2016. (China Geological Survey. Land quality geochemical evaluation specification[S]. 2016.)

- [13] GB 15618-1995,土壤环境质量标准[S]. (GB 15618-1995, National Standard for Soil Environmental Quality[S]. (in Chinese))
- [14] 许永东,寇莹. 土壤及植物中硒形态的迁移规律[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(11): 63-65. (XU Y D, YAN Y. The migration law of selenium forms in soils and plants[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(11): 63-65. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-3601. 2017. 11. 017.
- [15] 宋玉婷,雷泞菲. 我国土壤镉污染的现状与修复措施[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2018, 32(3): 79-83. (SONG Y T, LEI Y F. Current status and remediation measures of soil cadmium pollution in China [J]. Journal of Xichang College(Natural Science Edition), 2018, 32(3): 79-83. (in Chinese)) DOI: 10. 16104/j. issn. 1673-1891. 2018. 03. 018.
- [16] 崔东,闫俊杰,王楠,等. 伊犁河谷煤矿开采对土壤重金属污染、养分及酶活性的影响[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2018, 52(3): 416-423. (CUI D, YAN J J, WANG N, et al. Effects of mining in Yili River Valley on heavy metal pollution, nutrient and enzyme activities in soil[J]. Journal of Central China Normal University(Natural Science), 2018, 52(3): 416-423. (in Chinese)) DOI: 10. 19603/j. cnki. 1000-1190. 2018. 03. 019.
- [17] 徐玉霞,汪庆华,彭围凯,等. 宝鸡市麟游县煤矿区周边农田土壤重金属污染安全评价[J]. 环境保护科学, 2017, 43(3): 145-150. (XU Y X, WANG Q H, PENG Y K, et al. Safety assessment of heavy metal pollution in farmland soil around Linyou County, Baoji City[J]. Environmental Protection Science, 2017, 43(3): 145-150. (in Chinese)) DOI: 10. 16803/j. cnki. issn. 1004-6216. 2017. 03. 026.
- [18] 郑海峰. 土壤中的锰及其在土壤-蔬菜系统中转移的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010. (ZHENG H F. Manganese in soil and its transfer in soil-vegetable system[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. (in Chinese))
- [19] 张丹,陈红,高庭艳,等. 山区生态果园建设对土壤铁锰铜锌含量的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(02): 385-388. (ZHANG D, CHEN H, GAO T Y, et al. Effects of ecological orchard construction on iron, manganese, copper and zinc contents in mountainous areas[J]. Southwest Agricultural Journal, 2009, 22(02): 385-388. (in Chinese)) DOI: 10. 16213/j. cnki. scjas. 2009. 02. 054.
- [20] 李刚. 黄河下峪口段表层土壤 pH、Eh 分布及其主要影响因素[J]. 土壤科学, 2018, 6(1): 27-33. (LI G. The Distribution of pH and Eh in the Surface Soil of the Lower Yellow River and Its Main Influencing Factors [J]. Soil Science, 2018, 6(1): 27-33 (in Chinese)) DOI: 10. 12677/hjss. 2018. 61004.
- [21] 李春亮. 甘肃省武威地区多目标区域地球化学特征及土壤环境质量评估[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013. (LI C L. Multi-target regional geochemical characteristics and soil environmental quality assessment in wuwei, gansu province[D]. Beijing: China university of geosciences (Beijing), 2013. (in Chinese))

(上接第 143 页)

- [17] 三峡大学(湖北省岩崩滑坡研究所). 三峡库区秭归县地质灾害监测预警工程专业监测年报(2003-2018) [R]. 宜昌: 三峡大学(湖北省岩崩滑坡研究所), 20019. (Research Institute of Collapses and Landslide in Hubei Province. Specialized monitor bulletin of geodisaster warning project in the Three Gorges Reservoir region(2003-2005)[R]. Yichang: Research Institute of Collapses and Landslide in Hubei Province, 2018. (in Chinese))
- [18] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理[M]. 3版,北京:地质出版社,2009:367-380. (ZHANG Z Y, WANG S T, WANG L S, et al. Principles of engineering geology[M]. 3rd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 367-380. (in Chinese))
- [19] 许强,汤明高,徐开祥,等. 滑坡时空演化规律及预警预报研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(6): 1104-1112. (XU Q, TANG M G, XU K X, et al. Research on space-time evolution laws and early warning-prediction of landslides [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(6): 1104-1112. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1000-6915. 2008. 06. 003.
- [20] 彭令,牛瑞卿. 三峡库区白家包滑坡变形特征与影响因素分析. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(4): 1-7. (PENG L, NIU R Q. Deformation Characteristics and Influencing factors of Baijiabao landslide in the Three Gorges Reservoir Area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(4): 1-7. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-8035. 2011. 04. 001.