

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.01.08

引用格式: 左健扬,方璐,刘晓慧.宁夏固原地区土壤地球化学背景值分析[J].中国地质调查,2023,10(1):76-82.(Zuo J Y, Fang L, Liu X H. Analysis of soil geochemical background value in Guyuan area of Ningxia[J]. Geological Survey of China, 2023,10(1):76-82.)

宁夏固原地区土壤地球化学背景值分析

左健扬¹, 方璐², 刘晓慧¹

(1. 宁夏回族自治区国土整治修复中心, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏回族自治区国土资源调查监测院, 宁夏 银川 750002)

摘要: 土壤背景值反映了一定范围内自然环境与人类活动作用下元素指标含量的本底值。依据宁夏固原地区1:25万土地质量地球化学调查取得的2638件土壤样品,利用遍历循环迭代剔除和统计分析方法,得到了研究区表层土壤中53项元素的地球化学背景值和特征参数。通过与中国表层土壤丰度对比,发现研究区Cd、S含量明显高于全国表层土壤丰度,但处于安全限值内;不同地貌类型下的元素含量差异不仅受成土母质、成壤环境等外部自然条件的影响,也反映了人类活动对土壤环境的扰动。研究可为农业可持续开发与合理利用提供较为可靠的数据支撑。

关键词: 土地质量; 地球化学; 背景值

中图分类号: P595

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2023)01-0076-07

0 引言

土地质量地球化学调查是为全面了解土地质量状况,以地球化学为主要手段的地质调查工作,通过调查土壤中的养分元素、重金属污染、生命健康元素等化学指标及其生态效应,辅以农作物、灌溉水、大气降尘等多要素的综合调查评价,是一项服务于国土资源管理、土壤污染防治、区域经济发展的基础调查工作,也是自然资源系统积极践行绿色发展理念的重要举措^[1-5]。土壤背景值反映了一定范围内土壤的地球化学特征,也代表了成土过程与其环境要素之间物质能量交换达到动态平衡时的元素含量^[6-7],即土壤在外部环境因素影响下在一定时期区域内元素的相对丰度^[8-9]。本文依托宁夏固原地区1:25万土地质量地球化学调查,通过采集、组合和测试分析网格化土壤样品,涉及调查面积10552 km²,系统摸清了研究区土壤地球化学

状况。本文以0~20 cm表层土壤样品分析结果作为土壤地球化学背景值的计算依据,利用遍历循环迭代剔除方法,计算区域表层土壤地球化学背景值,结合不同地貌类型的背景值进行对比分析,研究区域表层土壤元素指标的分布分配规律,为农业可持续开发与合理利用提供基础依据。

1 研究区概况

研究区固原市位于宁夏回族自治区南部,地处中国黄土高原的西北边缘,属典型的大陆性气候。黄土丘陵区约占研究区面积的69.8%,中间以六盘山为南北脊柱,分为东西两壁,具有沟壑纵横、梁峁交错的地理特征(图1)。土壤类型以黄绵土为主,其次为灰褐土和黑垆土,新积土、红黏土、粗骨土、潮土及草甸土零星分布^[10]。地貌成因类型主要为冲洪积挤压型断陷平原、侵蚀黄土丘陵和侵蚀挤压型断块中山3种^[11]。

收稿日期: 2022-02-17; 修订日期: 2022-10-27。

基金项目: 宁夏自然科学基金“基于土壤地球化学特征的农业种植区划研究(编号: 2020AAC03475)”项目资助。

第一作者简介: 左健扬(1988—),男,高级工程师,主要从事环境地质方面的研究工作。Email: zuo_jy@163.com。

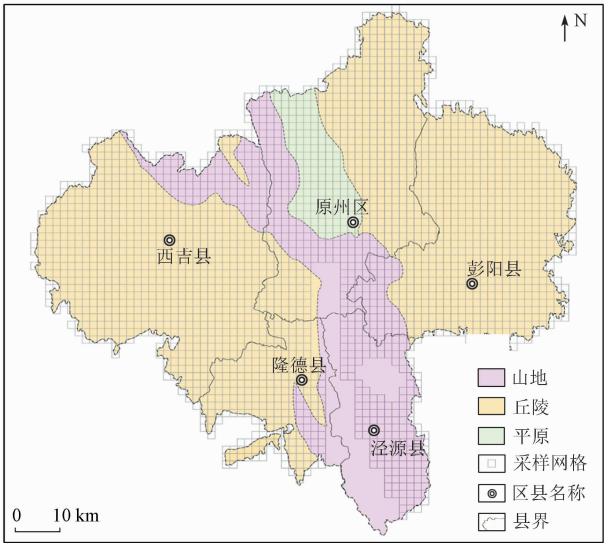


图 1 研究区地貌图
Fig.1 Geomorphc map of the study area

表 1 土壤样品元素指标分析方法
Tab.1 Analysis method for element indexes of soil samples

分析项目	样重/g	样品处理方法	分析方法
K ₂ O、Na ₂ O、CaO、MgO、Al ₂ O ₃ 、SiO ₂ 、 TFe ₂ O ₃ 、Ba、Br、Cl、Cr、Ga、Nb、Rb、P、 Pb、S、Sr、Ti、Y、Zn、Zr	5.0	粉末压片法	X 荧光光谱法 (XRF), 超出检测范围用等离子体 光谱法 (ICP – AES)、容量法、AAS 等补充验证
K ₂ O、Na ₂ O、CaO、MgO、V、Mn、Li、Be、 La、Ce、Sc、Ni、Cu	0.2	HCl – HNO ₃ – HF – HClO ₄ 溶样	ICP – AES、K ₂ O、Na ₂ O、CaO、MgO 结果与 XRF 相 互验证
Co、Tl、U、Th、Cd			稀释 10 倍,使用等离子质谱法 (ICP – MS)
As、Sb、Bi、Hg	0.5	王水溶样	原子荧光光谱法 (AFS)
Ag、B、Sn	0.1	缓冲剂按 1:1 稀释	发射光谱法 (ES)
Se	0.5	使用艾氏卡熔剂半熔样品	原子荧光光谱法 (AFS)
I			催化比色法 (COL)
W、Mo	0.5	氢氧化钠 – 过氧化钠碱熔	极谱法 (POL)
F			选择性离子电极法 (ISE)
Ge			原子荧光法 (AFS)
C _{org}	0.3	重铬酸钾氧化	硫酸亚铁铵容量法 (VOL)
全 C	0.03	高温灼烧	红外光谱法
N	0.5	H ₂ SO ₄ – HClO ₄ 消煮	凯氏氮蒸馏酸碱滴定容量法 (VOL)
Au	10.0	王水溶样、泡塑富集、硫脲解脱	ICP – MS
pH 值	10.0	蒸馏水浸提	pH 计测定 (ISE)

注：K₂O、Na₂O、CaO、MgO 以 ICP – AES 检测数据为准。

3 土壤地球化学背景值

3.1 计算方法

在计算土壤背景值前,首先将研究区除 pH 值以外的 53 项土壤元素指标进行数据处理,分别计算算术平均值(X)、几何平均值(X_g)、算术标准离差(S)、几何标准离差(S_g)、中位数(X_m)

2 样品采集与测试

本文依据 2016—2019 年实施的宁夏固原地区 1:25 万土地质量地球化学调查,按照每 1 km² 设置 1 个点位进行采样,4 个点位组合作为采样大格 (4 km²) 送检分析,测试了表层土壤 (0 ~ 20 cm) 中 Cd、N、P、S、Na₂O、K₂O、C 等 54 项元素指标^[12]。采样质量控制主要通过采样质量抽检和重复样检验 2 种方式。其中,采样质量抽检要求抽查率高于 5%,主要对采样人员的技术方法、样点合理性、记录内容的真实性和正确性进行质量控制;重复样抽检要求各个原样与对应重复样分析数据相对双差合格率 $D_R \geq 85\%$ 。

测试工作由安徽省地质实验研究所完成,各元素指标的分析方法如表 1 所示。

等统计特征参数,再对数据进行迭代剔除,排除离群数据,最终求取土壤元素指标背景值,如图 2 所示,主要分为 3 个步骤^[13-15]。

(1)按照算术平均值加减 3 倍算术标准离差 ($X \pm 3S$) 进行迭代剔除,剔除完成后计算其算术平均值,对剔除后的数据进行正态分布检验,当统计数据服从正态分布时,用算术平均值代表背景值,按以下步骤计算:

计算 2 638 件样品每一元素指标 i 的算术平均值 X_i 和标准离差 $S_i (i = 53)$ 。

依次遍历每个数据,剔除各自元素指标中大于 $X_i + 3S_i$ 或小于 $X_i - 3S_i$ 的离群数据;

重新计算各元素指标数组(样本数小于 2 638)的算术平均值 X'_i 和标准离差 S'_i 。

遍历剔除直至没有离群数据,即最终剩余的样本数据均在 $(X'_i - 3S'_i, X'_i + 3S'_i)$ 范围内。

(2) 若按步骤(1)进行迭代剔除后数据不服从正态分布,则按照几何平均值乘以几何标准离差的正负三次方($X_g S_g^{\pm 3}$)重新进行数据迭代循环剔除,剔除完成后计算其几何平均值(X'_g),对剔除后的数据进行正态分布检验,当统计数据

服从对数正态分布时,用几何平均值代表背景值,具体步骤为:

计算每一元素指标数组(2 638 件样本)的几何平均值 X_{gi} 和几何标准离差 S_{gi} 。

依次遍历每个数据,剔除各自元素指标中大于 $X_{gi} S_{gi}^3$ 或小于 $X_{gi} S_{gi}^{-3}$ 的离群数据。

重新计算各元素指标数组(样本数小于 2 638)的几何平均值 X'_{gi} 和几何标准离差 S'_{gi} 。

遍历剔除直至各元素指标中没有离群数据,即最终剩余的样本数据均落在 $(X'_{gi} S_{gi}^{-3}, X'_{gi} S_{gi}^3)$ 。

(3) 当用步骤(1)和(2)迭代剔除后,统计数据仍为偏态分布时,可用算术平均值或中位数代表背景值。本文用算术平均值代表背景值。

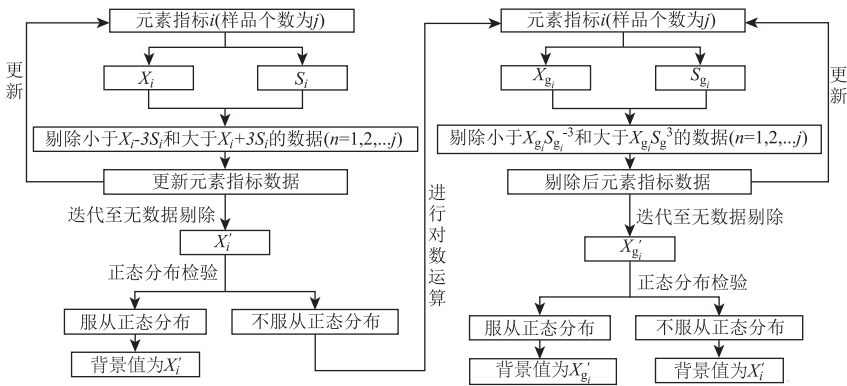


图 2 土壤地球化学背景值计算流程

Fig. 2 Calculation flow of soil geochemical background values

2.2 测试结果

运用上述方法,对固原地区 2 638 个土壤样品的 53 个元素指标进行遍历循环迭代剔除,得到剔除离群值后的区域土壤地球化学特征参数,在正态

分布检验的基础上,最终得到研究区土壤元素地球化学背景值。其中,Sc、Th 服从正态分布,Ag、Ce、Ge、Sn 服从对数正态分布,其余元素指标为偏态分布,具体地球化学背景值如表 2 所示。

表 2 固原地区土壤元素地球化学背景值^[16]

Tab. 2 Geochemical background values of soil elements in Guyuan area^[16]

元素	固原地区土壤背景值	中国表层土壤元素丰度	元素	固原地区土壤背景值	中国表层土壤元素丰度	元素	固原地区土壤背景值	中国表层土壤元素丰度
** Ag	70.15	80.00	I	2.03	2.20	Ti	3 802.24	4 300.00
As	12.28	10.00	La	34.84	38.00	Tl	0.60	0.60
** Au	1.36	1.40	Li	35.45	30.00	U	2.53	2.60
B	51.13	40.00	Mn	630.51	600.00	V	78.21	82.00
Ba	471.78	500.00	Mo	0.82	0.80	W	1.79	1.80
Be	1.84	1.80	N	812.20	640.00	Y	24.17	23.00
Bi	0.30	0.30	Nb	13.48	16.00	Zn	64.32	68.00
Br	4.27	3.50	Ni	31.23	26.00	Zr	224.43	250.00
** Cd	163.30	90.00	P	788.60	520.00	* SiO ₂	55.68	65.00
Ce	66.15	72.00	Pb	20.98	23.00	* Al ₂ O ₃	11.47	12.60
Cl	74.46	68.00	Rb	93.61	100.00	* Fe ₂ O ₃	4.43	3.40

续表

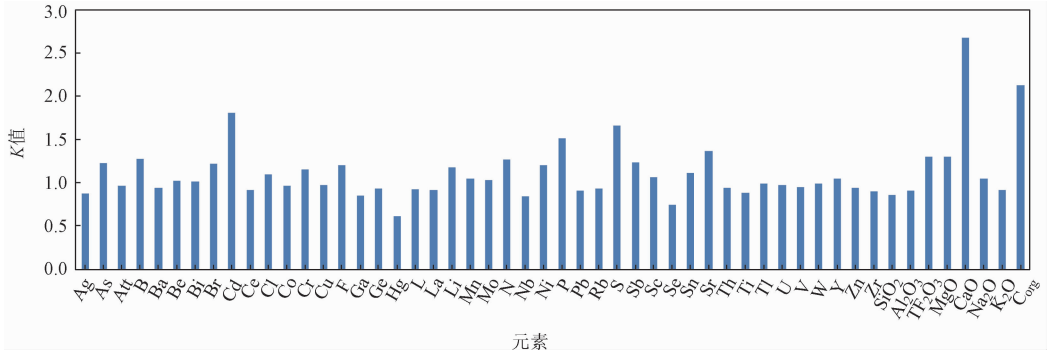
元素	固原地区土壤背景值	中国表层土壤元素丰度	元素	固原地区土壤背景值	中国表层土壤元素丰度	元素	固原地区土壤背景值	中国表层土壤元素丰度
Co	12.59	13.00	S	249.79	150.00	* MgO	2.34	1.80
Cr	74.97	65.00	Sb	0.99	0.80	* CaO	8.56	3.20
Cu	23.35	24.00	Sc	11.76	11.00	* Na ₂ O	1.67	1.60
F	576.18	480.00	Se	0.15	0.20	* K ₂ O	2.30	2.50
Ga	14.51	17.00	Sn	2.78	2.50	* C _{org}	0.74	0.35
Ge	1.21	1.30	Sr	232.80	170.00	* 全 C	2.52	
** Hg	24.69	40.00	Th	11.80	12.50			

注：** 元素单位为 10⁻⁶；* 元素氧化物单位为%；其他元素单位均为 10⁻³。

3 元素背景值对比特征

3.1 与中国土壤丰度对比

本文将固原地区土壤背景值与中国表层土壤 52 种元素(不包括全 C)丰度^[15]进行对比(表 2),为进一步阐明了研究区表层土壤中各元素指标相较于中国表层土壤的富集和贫化情况,固原地区表层土壤元素丰度与中国表层土壤元素丰度的比值见图 3。



注：K 值为固原地区土壤背景值与中国表层土壤元素丰度^[13]。

图 3 固原地区与中国表层土壤元素丰度比值

Fig.3 Abundance content ratio of topsoil in Guyuan area to topsoil in China

由表 2 和图 3 可以看出,与中国表层土壤元素丰度相比,固原地区土壤背景值偏高的有 As、B、Br、Cd 等 18 种元素($K \geq 1.1$),其中 Cd、S、CaO、C_{org}明显高于中国表层土壤元素丰度($K \geq 1.6$),Cd 和 S 均处于安全限值^[17-19]; Ag、Ga、Hg 等 8 种元素含量低于全国水平($K < 0.9$); 其余 26 种元素与中国表层土壤元素丰度基本相当($0.9 \leq K < 1.1$)。

3.2 不同地貌成因类型

按照地貌单元类型,本文将研究区的 2 638 件土壤样品进行分类,得到样品平原区 145 件、丘陵区 1 980 件、山地区 513 件。将分类后的采样点数据利用循环遍历迭代剔除方法计算背景值,进而得到不同地貌单元下的元素指标背景值,主要趋势线形态如图 4 所示,可分为 8 种类型。

其中,Ag 趋势线与 B、Ba、Cu、F、Hg、I、Li、Mo、Pb、S、Se、U、SiO₂、MgO、K₂O、C_{org} 相似; Au 趋势线与 Ce、Cr、La、Sn、Ti、W、Y 相似; Cd 趋势线与 As、

Be、Bi、Co、Ga、Ge、Mn、N、Ni、Rb、Tl、V、Zn、Al₂O₃、Fe₂O₃、C 相似; CaO 趋势线与 Br、Zr、Na₂O 相似,Nb 趋势线与 Sc、Th 相似,P 趋势线与 Sr 相似。

可以看出,Ag、As、Au 等 45 种元素在山区含量较高,主要受区域植被覆盖率相对较高、土质以灰褐土为主、残坡积母质发育等条件影响,在成壤过程中矿物成分和腐殖质等易于积聚,同时受人类活动影响较小,导致元素富集程度较高; Ag、B、Ba 等 18 种元素在黄土丘陵地区背景值较低,主要受黄绵土和第四纪风成黄土母质影响,土壤养分贫瘠,成壤化程度较低,且地面坡度较大、地形支离破碎、沟谷纵横,区域土壤侵蚀和养分流失严重,生态环境较为脆弱,建议农业种植做好保土、保水、保肥工作; 平原区是研究区主要的集中耕作区,也是黄河宁夏段最大支流清水河的河滩地,成土母质以冲洪积母质为主,平原区 Cl 的背景值明显高于山地和黄土丘陵地区,主要受河水矿化度较高控制,加

之农业开发、引水灌溉等人类生产活动影响。此外,平原区 P 含量最高、N 含量最低,可能存在不合

理施肥情况,建议做好清水河流域集中耕作区土壤养分、盐渍化以及土壤退化等监测评估工作。

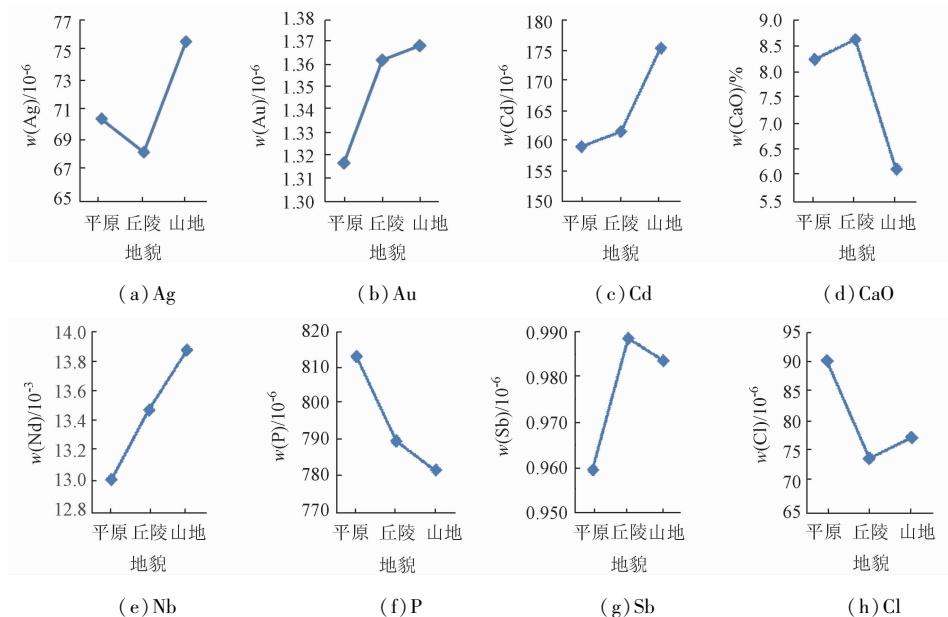


图4 研究区不同地貌单元元素背景值趋势线

Fig.4 Trend line of elements background value in different geomorphic units of the study area

4 结论

本文依据宁夏固原地区 1:25 万土地质量地球化学调查,利用研究区 2 638 件表层土壤样品的 53 项元素指标分析结果,通过数据分析处理,得到以下结论:

(1)通过遍历循环迭代剔除离群数据的方法,得到了固原地区土壤地球化学背景值,其中 Sc、Th 服从正态分布,Ag、Ce、Ge、Sn 服从对数正态分布,其余元素指标为偏态分布,约 26 种元素与全国土壤丰度值相当,Cd、S、CaO、C_{org} 明显高于全国表层土壤丰度值,Cd 和 S 仍处于安全限值。

(2)研究区不同地貌类型元素背景值的差异反映了成土母质、土壤类型和自然条件等外部沉积环境的差异,特别是黄土丘陵地区有 18 种元素含量明显低于其他地貌单元,呈现出土壤养分不足、肥力贫瘠的特点,农业种植应做好保土保肥工作。

(3)背景值差异反映了人类活动对土壤环境的影响,清水河平原集中耕作区受引黄灌溉和农业施肥等因素影响,呈现出 Cl 和 P 含量高、N 含量低的特点,建议做好研究区耕地质量监测评估,有效控制施肥总量,合理分配氮磷钾肥,科学灌溉和调节土壤 pH 值,防止不合理施肥、次生盐渍化等问题。

参考文献(References):

- [1] 李括,彭敏,赵传冬,等. 全国土地质量地球化学调查二十年[J]. 地学前缘,2019,26(6): 128-158.
Li K, Peng M, Zhao C D, et al. Vicennial implementation of geochemical survey of land quality in China[J]. Earth Sci Front, 2019,26(6): 128-158.
- [2] 写熹,李斌,杜玉雕. 安徽省宁国大龙地区土壤地球化学特征及找矿效果[J]. 中国地质调查,2021,8(3): 40-48.
Xie X, Li B, Du Y D. Soil geochemical characteristics and the prospecting effect of Dalong area in Ningguo City of Anhui Province[J]. Geol Surv China, 2021,8(3): 40-48.
- [3] 武春林,王瑞廷,丁坤,等. 中国土壤质量地球化学调查与评价的研究现状和进展[J]. 西北地质,2018,51(3): 240-252.
Wu C L, Wang R T, Ding K, et al. Geochemical survey and evaluation on soil quality in China: Research status and advances[J]. Northwest Geol, 2018,51(3): 240-252.
- [4] 于俊博,周传芳,梁中恺,等. 重要生态功能区土壤化学元素的空间分布模式——以大兴安岭松岭区为例[J]. 中国地质调查,2021,8(6): 105-113.
Yu J B, Zhou C F, Liang Z K, et al. Spatial distribution patterns of soil chemical elements in important ecological function areas: A case study in Songling area of the Greater Khingan Mountains[J]. Geol Surv China, 2021,8(6): 105-113.
- [5] 马晓,陈智贤,林联桂,等. 福建浦城县耕地土壤元素地球化学评价[J]. 中国地质调查,2020,7(2): 89-94.
Ma X, Chen Z X, Lin L G, et al. Geochemical evaluation of cultivated soil elements in Pucheng County of Fujian Province[J]. Ge-

- ol Surv China, 2020, 7(2): 89–94.
- [6] 成杭新, 李括, 李敏, 等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 265–306.
Cheng H X, Li K, Li M, et al. Geochemical background and baseline value of chemical elements in urban soil in China[J]. Earth Sci Front, 2014, 21(3): 265–306.
- [7] 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 value of 17 cities in Shandong Province[J]. Shandong Land Resource, 2019, 35(1): 46–56.
- [8] 朱立新, 马生明, 王之峰. 土壤生态地球化学基准值及其研究方法探讨[J]. 地质与勘探, 2003, 39(6): 58–60.
Zhu L X, Ma S M, Wang Z F. Methodology for soil eco-geochemical reference value[J]. Geol Prospect, 2003, 39(6): 58–60.
- [9] 董岩翔, 郑文, 周建华, 等. 浙江省土壤地球化学背景值[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 195–196.
Dong Y X, Zheng W, Zhou J H, et al. Soil Geochemical Background in Zhejiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 195–196.
- [10] 宁夏农业勘察设计院. 宁夏土壤[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1990: 5–12.
Ningxia Agricultural Exploration and Design Institute. Soil of Ningxia[M]. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 1990: 5–12.
- [11] 王成. 宁夏回族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 26.
Wang C. Regional Geology of Ningxia[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 26.
- [12] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 3–5.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0258—2014 Specification of Multi-Purpose Regional Geochemical Survey (1:250 000)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015: 3–5.
- [13] 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. Element geochemical baseline and distributions in soil in Chongqing west economic zone, China[J]. Earth Environ, 2015, 43(1): 31–40.
- [14] 史长义, 梁萌, 冯斌. 中国水系沉积物 39 种元素系列背景值[J]. 地球科学, 2016, 41(2): 234–251.
Shi C Y, Liang M, Feng B. Average background values of 39 chemical elements in stream sediments of China[J]. Earth Sci, 2016, 41(2): 234–251.
- [15] 庞绪贵, 代杰瑞, 胡雪平, 等. 山东省土壤地球化学背景值[J]. 山东国土资源, 2018, 34(1): 39–43.
Pang X G, Dai J R, Hu X P, et al. Background values of soil geochemistry in Shandong Province[J]. Shandong Land Resource, 2018, 34(1): 39–43.
- [16] 鄢明才, 顾铁新, 迟清华, 等. 中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. 物探与化探, 1997, 21(3): 161–167.
Yan M C, Gu T X, Chi Q H, et al. Abundance of chemical elements of soils in China and supergenesis geochemistry characteristics[J]. Geophys Geochem Explor, 1997, 21(3): 161–167.
- [17] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 42.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0295—2016 Specification of Land Quality Geochemical Assessment[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 42.
- [18] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. GB 36600—2018 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 2.
Ministry of Ecological Environment, State Administration of Market Supervision and Administration of the People's Republic of China. GB 36600—2018 Soil Environmental Quality Risk Control Standard for Soil Contamination of Development Land[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018: 2.
- [19] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. GB 15618—2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 2.
Ministry of Ecological Environment, State Administration of Market Supervision and Administration of the People's Republic of China. GB 15618—2018 Soil Environmental Quality Risk Control Standard for Soil Contamination of Agricultural Land[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018: 2.

Analysis of soil geochemical background value in Guyuan area of Ningxia

ZUO Jianyang¹, FANG Lu², LIU Xiaohui¹

(1. Ningxia Territorial Management and Restoration Center, Ningxia Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Survey and Monitoring Institute of Land and Resource, Ningxia Yinchuan 750002, China)

Abstract: The soil background value reflects the background value of element index content under the influence of natural environment and human activities in a certain area. Based on 2 638 soil samples obtained from the 1:250 000 geochemical survey of land quality in Guyuan of Ningxia, the authors in this paper obtained geochemical background values and characteristic parameters of 53 element indexes, by using the methods of iterative elim-

ination and statistical analysis. Compared with the national soil abundance, the contents of Cd and S are significantly higher than the national topsoil abundance value, and they are within the safety limit. The difference of element index content under geomorphic types is not only affected by external natural conditions such as soil forming parent material and soil forming environment, but also reflects the disturbance of human activities to the soil environment, which provides reliable data for the sustainable development and rational utilization of agriculture.

Keywords: land quality; geochemistry; background values

(责任编辑: 魏昊明)