

基于生态重建的宁东煤炭基地土壤环境质量评价

柯海玲^{1,2,3,4}, 徐友宁^{1,2,3,4}, 张江华^{1,2,3,4}, 乔冈^{1,2,3,4}, 陈华清^{1,2,3,4}, 杨敏^{1,2,3,4}, 何芳^{1,2,3,4}
KE Hailing^{1,2,3,4}, XU Youning^{1,2,3,4}, ZHANG Jianghua^{1,2,3,4}, QIAO Gang^{1,2,3,4}, CHEN Huaqing^{1,2,3,4},
YANG Min^{1,2,3,4}, HE Fang^{1,2,3,4}

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
 2. 自然资源部矿产地地质环境陕西潼关野外科学观测基地, 陕西 潼关 714300;
 3. 中国地质调查局干旱半干旱区地下水与生态重点实验室, 陕西 西安 710054;
 4. 自然资源部黄土地质灾害重点实验室, 陕西 西安 710054
1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
 2. Mine Geological Environment-field Base of Scientific Observation of Shaanxi Tongguan, MNR, Tongguan 714300, Shaanxi, China;
 3. Key Laboratory for Groundwater and Ecology in Arid and Semi-arid Area, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
 4. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess area, MNR, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:从环境保护和生态重建的角度出发,通过环境土壤样品采集测试,分析评价了宁东煤炭基地土壤环境质量现状,并与2007年调查资料对比,研究近10年来采煤对区域生态环境的影响。分析发现,区内土壤基本未受到煤炭开采诱发的重金属污染,只在已投产的清水营矿区和积家井矿区存在Cd和As的点源污染;与2007年相比,区内土壤各元素离散程度均有1~4倍的增加(Cr、P除外),表现为元素含量极大值点增多,但增幅不大,区内土壤依然低Se,缺P、N、富K,有机质仅在灵武—鸳鸯湖矿区一带略显富足。评价结果表明,植物生长所必需的N、P、K和有机质含量较10年前有所改善;尽管土壤基本未受到重金属污染影响,但Cd、As和Pb有轻度累积,应予以重视。评价结果可为宁东煤炭基地资源开发和生态重建提供依据。

关键词:宁东煤炭基地;土壤质量;累积速率;生态重建

中图分类号:P618.11;X141

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2018)12-2208-07

Ke H L, Xu Y N, Zhang J H, Qiao G, Chen H Q, Yang M, Liu R P, He F. Quality evaluation of soil based on the ecological reconstruction in Ningdong coal base. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12):2208-2214

Abstract: From the perspective of environmental protection and ecological reconstruction, the authors used the collection and testing of environmental soil samples to compare and analyze the effects of coal mining on the regional ecological environment, and evaluated the current status of the soil quality. Through analysis, the authors found that the degree of dispersion of all elements in the soil has been increased by 1-4 times (except for Cr, Hg, and P) as compared with things in 2007, which exhibits an increase in the maximum value of element content; nevertheless, the increase is limited, and this area is still low in selenium, nitrogen and phosphorus, and rich in potassium. Moreover, the study area is not substantially contaminated by heavy metals induced by coal mining, with only existence of a very few points of source contaminations of Cd and As. The evaluation results can provide a basis for the development of resources and ecological reconstruction of Ningdong coal base.

Key words: Ningdong coal base; soil environmental quality; accumulation rate; ecological reconstruction

收稿日期:2018-04-08;修订日期:2018-06-20

资助项目:中国地质调查局项目《秦岭及宁东矿产资源集中开采区地质环境调查》(编号:DD20160336)、《青海矿业开发地质环境效应调查》(编号:1212011220224)及自然资源部行业科研专项《矿集区地球化学环境累积效应及预警研究》(编号:20111020)

作者简介:柯海玲(1980-),女,硕士,高级工程师,从事土壤环境地球化学及环境承载力研究。E-mail:tiny9029@163.com

依托得天独厚的煤炭资源,宁东煤炭基地(以下简称“宁东基地”或“基地”)成为中国重要的煤炭生产、煤电一体化和煤化工基地。然而,宁东基地自然条件较恶劣,生态环境非常脆弱,开发建设活动对区域的生态环境产生了一定影响,如地面塌陷、地裂缝、地下水位下降、水土环境污染、土地沙化、土壤盐渍化等^[1-5]。在经济飞速发展的今天,人们充分意识到资源开发和环境保护必须协调并举,在资源利用的同时,采取工程措施尽可能减少或避免严重的环境损伤,并通过植树种草重建生态以改善矿区环境。这种人工生态环境的建设,使区域生态系统结构发生改变。那么,随着机械化煤炭开采进程,宁东基地植被恢复重建对其立地土壤质量存在怎样的影响?宁东基地资源开发和生态环境建设模式能否保证持续双赢?本文从环境保护和生态重建的角度出发,通过环境土壤样品的采集分析,评价基地土壤环境质量和肥力状况,对比分析了基地建设对区域生态环境的影响,评价结果可以为宁东基地资源开发和生态重建提供基础依据。

1 研究区概况

宁东煤炭基地地处宁夏回族自治区银川市黄河东岸,毛乌素沙漠南缘的低缓荒漠丘陵区,是中国 13 个重要的国家级煤炭能源化工基地之一。基地包含规划区、后备区和远景区三部分(图 1)。规划区总面积 3484km²,是中国地质调查局项目“秦岭及宁东矿产资源集中开采区地质环境调查”2016—2018 年的工作区范围。

本文的评价区位于基地规划区北段(包括积家井—马家滩矿区以北),总面积 2480km²(图 2)。该区干旱少雨,地形波状起伏,属荒漠、半荒漠地带,土壤类型主要有风砂土、粉细砂、盐碱土,土壤有机质少,土质瘠薄,几乎没有宜农土地。天然植物以红杉、沙葱等旱生或超旱生的灌木、草本植物为主,分布稀少且不均匀,盖度 10%~30%,生态环境极其脆弱^[6-8]。

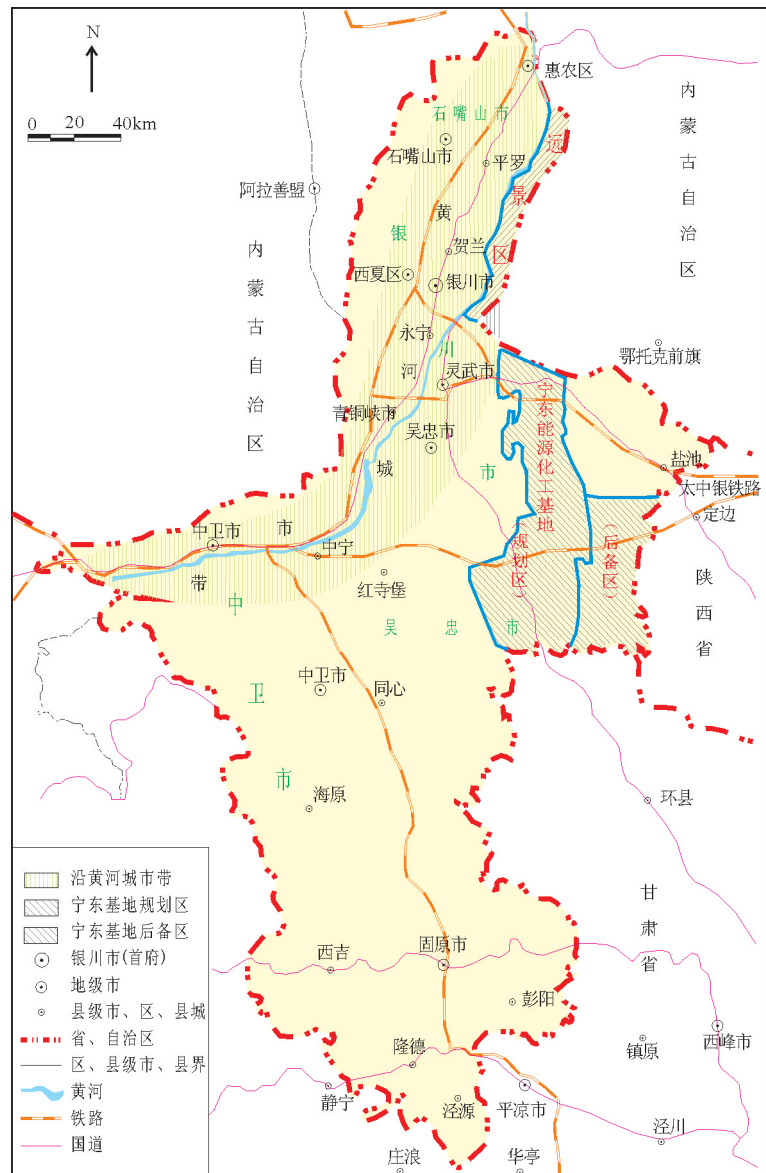


图 1 宁东煤炭基地区位图

Fig. 1 Location of Ningdong coal base

2 样品采集与测试

土壤样品的采集主要参照《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)DD2005—1》和《土壤环境监测技术规范HJ/T166—2004》。2017年按1个/4km²的样点密度采集表层土壤样品共639个(图2),自然风干,过20目筛,送国土资源部西北矿产资源监督检测中心进行实验室处理分析,测试土壤化学物质含量。依据DD2005—1、DD2005—3和DZ/T0130.2—2006,采用氢化物原子荧光光谱仪分析Hg、As、Se含量,用等

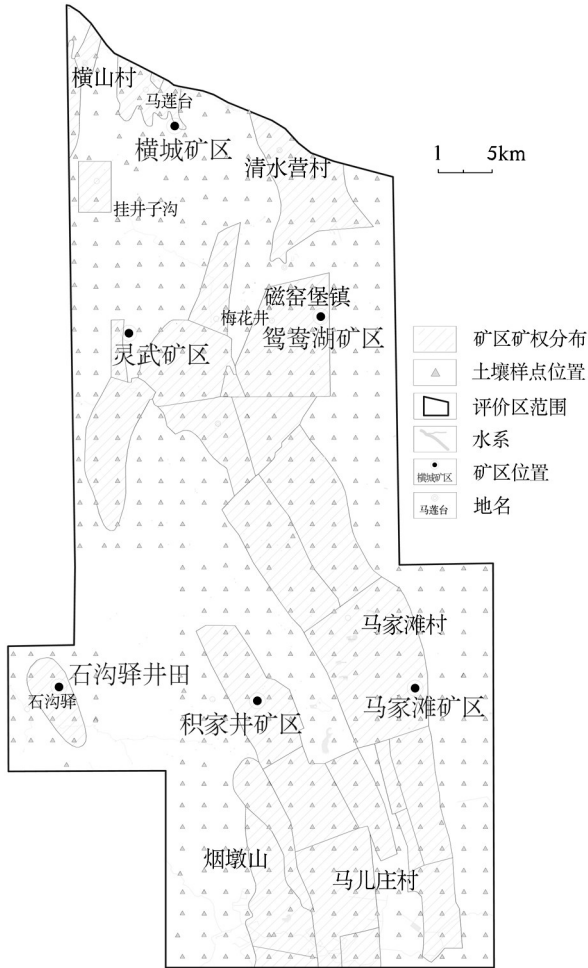


图2 评价区范围及样点分布
Fig. 2 Limits of evaluation area and distribution of sampling points

离子质谱仪分析 Cu、Pb、Cd、K、P 的含量。各元素检出限见表1。

3 土壤环境质量及肥力评价

3.1 重金属污染程度评价

表2列出了宁东基地评价区土壤重金属元素含量特征参数,以及国家土壤环境质量标准(GB15618—1995)限值。分析发现,区内土壤 Pb、Zn、Cr 的离散程度较高,标准离差分别达 6.16、12.1 和 8.0,As 和 Cu 也有一定程度的离散性,标准离差分别为 2.6 和 3.43,表明区域土壤重金属元素含量高 低差异明显,Pb 极小值为 10.1mg/kg,极大值达 126mg/kg,Zn 极小值为 15.5mg/kg,极大值达 131mg/kg,Cr 极小值为 13.1mg/kg,极大值达

表1 土壤各元素分析方法及检出限
Table 1 Analytic methods and detection limits of various elements in soil

分析方法	检测项目	检出限
ICP-MS	$w(\text{Cd})/10^{-6}$	0.022
	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	2
	$w(\text{Cu})/10^{-6}$	1
	$w(\text{Zn})/10^{-6}$	2
	$w(\text{Cr})/10^{-6}$	3
XRF	$w(\text{P})/10^{-6}$	10
	$w(\text{K}_2\text{O})/10^{-2}$	0.01
	$w(\text{As})/10^{-6}$	0.25
	$w(\text{Hg})/10^{-9}$	0.48
AFS	$w(\text{Se})/10^{-6}$	0.01
	$w(\text{N})/10^{-6}$	16
VOL	$w(\text{Corg})/10^{-2}$	0.05
容量法	$w(\text{Corg})/10^{-2}$	0.05
玻璃电极法	pH(无量纲)	0.1

67mg/kg。区内土壤多为风沙土、粉细砂,几乎没有农田和天然森林,耐旱草灌广泛分布。依据土壤环境质量标准(GB15618—1995),按照土壤应用功能和保护目标,评价区土壤环境质量评价应执行三级标准,即为保障农业生产和植物正常生长的土壤临界值。评价发现:①7种重金属元素的含量均远低于应执行的GB15618—1995三级标准限值;②7种重金属元素含量的平均值均低于或远低于GB15618—1995一级标准限值;③Cd和As分别仅有2个和1个样品的含量高于二级标准限值,Cu、Pb、Zn分别有1个、4个、2个样品略高于一级标准限值(图3),相对于一级标准限值,超标率仅为1.56%;

表2 土壤重金属元素参数统计(n=639件)
Table 2 Statistic list of soil heavy metal parameters

特征参数	mg/kg								
	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn	pH	
最小值	0.009	10.1	0.01	13.1	2.72	7.27	15.5	8.27	
最大值	0.113	126	0.89	67	31.54	36.5	131	9.76	
平均值	0.02	15.83	0.09	45.83	8.2	14.24	36.91	8.98	
标准离差	0.012	6.16	0.06	8.0	2.6	3.43	12.1	0.20	
变异系数	0.60	0.39	0.67	0.17	0.32	0.24	0.33	-	
GB15618—1995 标准限值	三级	1.5	500	1.0	300	40	400	500	-
	二级	1.0	350	0.60	250	25	100	300	-
	一级	0.15	35	0.20	90	15	35	100	-

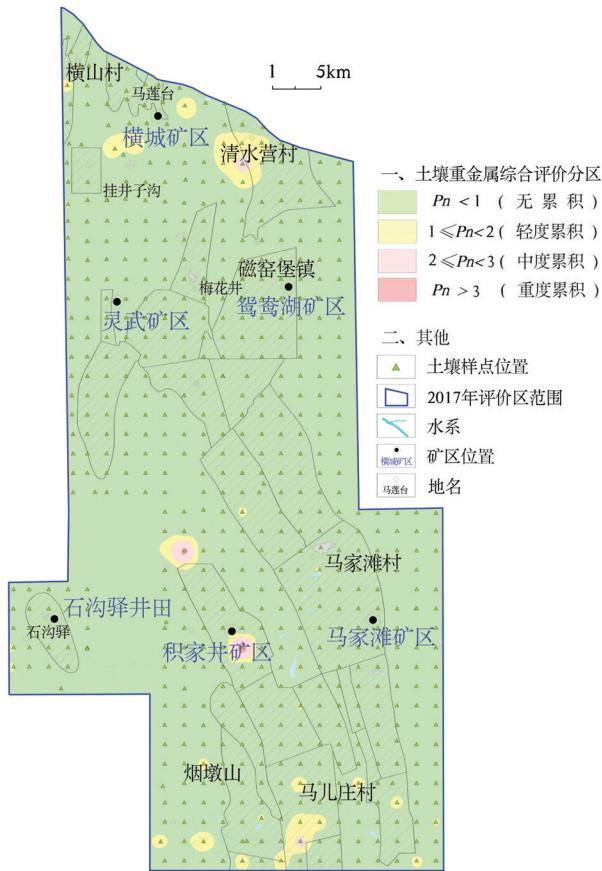


图3 土壤重金属综合评价分区

Fig. 3 Comprehensive evaluation partition of soil heavy metals

④按一级标准限值评价土壤综合污染程度,发现只在清水营矿区和积家井矿区存在 Cd 和 As 的 3 处点源污染(图 3)。经检测,矿区煤矸石样品重金属元素含量均较低。

表 3 土壤营养元素参数统计及富集程度分级(n=639 件)

Table 3 Statistic list of soil nutrient elements and enrichment degree classification

参数及分级	Corg	N	P	K
最小值	0.03	0.001	0.02	1.07
最大值	6.04	0.158	0.1	2.56
平均值	0.68	0.03	0.03	1.71
标准离差	0.52	0.02	0.01	0.11
严重缺乏	<0.6	<0.005	<0.4	<0.6
缺乏	0.6~1.0	0.005~0.075	0.4~0.8	0.6~1.2
相对富足	1.0~2.0	0.075~0.1	0.8~1.2	1.2~1.8
足量	2.0~3.0	0.1~0.15	1.2~1.6	1.8~2.4
富足	>3.0	>0.15	>1.6	>2.4

因此,煤炭开采基本未影响区内土壤环境质量,重金属元素 Hg、Pb、Cr、Cd、As、Cu、Zn 的含量总体接近土壤环境质量一级标准,基本属于清洁土壤^[9-12]。

3.2 营养元素富集程度评价

土壤 N、P、K、有机质(Corg)等的评价没有统一的标准,一般按富集程度划分,参照《中国土壤普查技术》中的富集程度分级标准,划分级别见表 3。

表 3 列出了宁东基地评价区土壤营养元素含量特征参数,以及富集程度分级。分析发现,全区土壤 P 严重缺乏,最大含量仅为 0.1%;N 缺乏,全区仅有零星的 4 个点含量相对富足,分别在清水营矿区、灵武矿区、石沟驿井田和马家滩矿区;有机质相对缺乏,仅在灵武—马家滩矿区一线略显富足,面积约 60km²,呈斑块状分布;K 含量在全区相对富足(图 4)。

3.3 富硒程度评价

土壤 Se 的富集程度一般以 0.4mg/kg 为评价标准限值,宁夏回族自治区国土资源调查监测院 2016 年编订了地方标准《宁夏富硒土壤标准(DB64/T—2016)》,认为 Se 含量达到规定的富硒区间,能产生天然富硒农产品的土壤,即为富硒土壤,分级见表 4。

分析发现,按地方标准,区内 80%的区域土壤缺硒和低硒,统计其平均值为 0.14mg/kg;中富硒土壤主要分布于鸳鸯湖、杨家窑、马家滩矿区一线,呈斑块状,面积约 100km²(图 5);灵武—鸳鸯湖矿区以北、积家井矿区西北为缺硒土壤。

4 土壤环境质量预测

4.1 近 10 年土壤各元素含量变化特征

为研究土壤环境质量随矿业活动时间的变化,在研究区内选取采样及测试方法与 2017 年均相同的 2007 年的土壤样品数据 654 件,进行对比研究。

分析表 2、表 3 和表 5 发现,与 2007 年对比,10a 间区域土壤各重金属离散程度均有 1~4 倍的增加(Cr、P 除外),表现为元素含量极大值点增多(图 6)。

表 4 土壤 Se 元素参数统计及富集程度分级(n=639 件)

Table 4 Statistic list of Se in soil and enrichment degree classification

参数统计	最小值	最大值	平均值	标准离差
	0.05	0.54	0.14	0.07
富集程度分级	富硒	中硒	低硒	缺硒
	Se ≥ 0.222	0.175 ≤ Se < 0.222	0.116 ≤ Se < 0.175	Se < 0.116

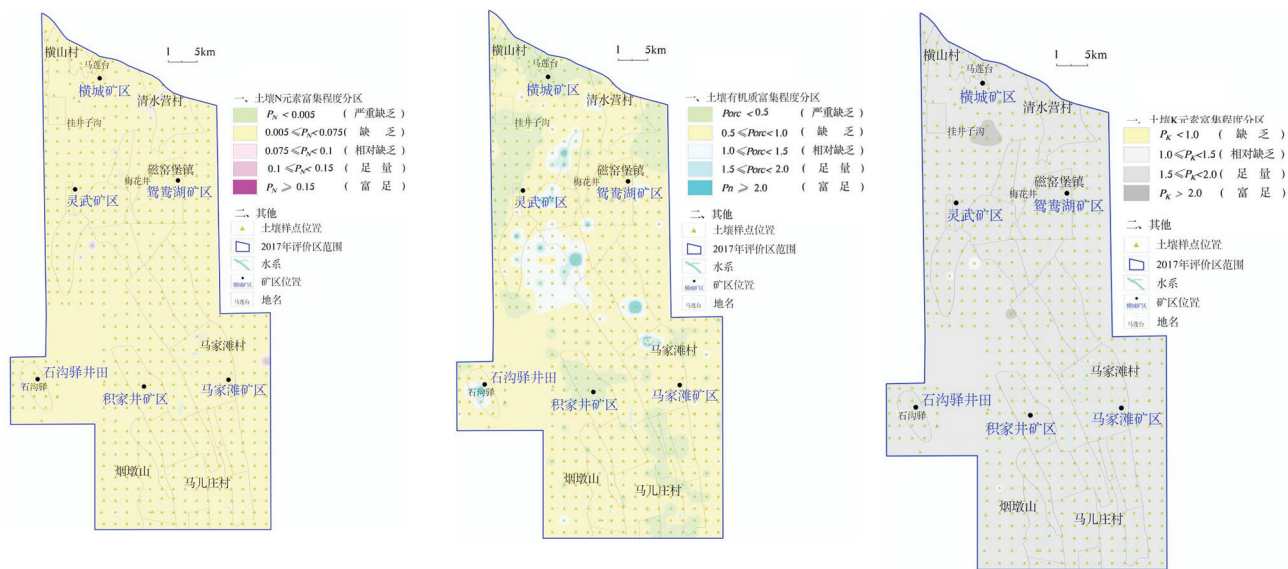


图4 土壤营养元素N,K有机质富集程度分区

Fig. 4 Enrichment degree partition of nutrient elements N,K, and organic matter

4.2 近10年土壤各元素累积速率

土壤环境中元素随时间变化的快慢用累积速率(k)和总变化率(v)来表征。累积速率指在一段时

期(t)内元素在土壤中的累积量,其表达式: $k=(Ct-Co)/t$,表示绝对变化量;总变化率是指在某时段内元素含量变化的快慢程度,其表达式: $V=(Ct-Co)/Co$ 。

式中: k 为累积速率($mg/kg \cdot a$), Ct 为 t 时间的土壤元素含量(mg/kg), Co 为变化起始时的含量(mg/kg), t 为变化所经历的时间(a)。

利用2007年和2017年测试数据,计算出土壤各元素平均累积速率和总变化率,见表6。分析发现:①10a间,各重金属平均每年累积量排序 $Cu>Zn>As>Pb=Cd>Hg>Cr$,营养物质排序 $K>Corg>N>Se>P$;②10年来含量变化最快的是 $Corg$,其次是 Se 、 Hg 和 Cd , Cr 呈现负增长;③以达到GB15618—

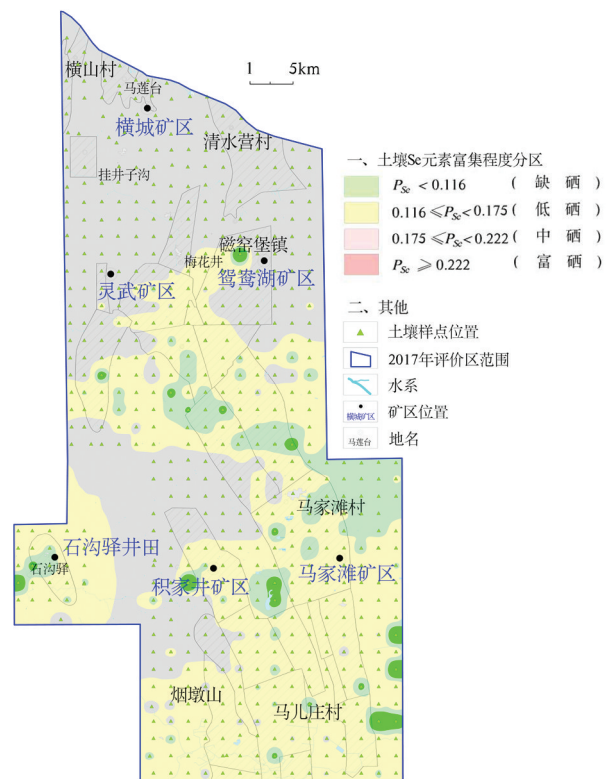


图5 土壤Se元素富集程度分布

Fig. 5 Distribution of Se enrichment degrees

表5 2007年土壤各类元素含量统计参数($n=654$ 件)
Table 5 Statistic list of various elements content parameters in soil in 2007

	mg/kg						
特征参数	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
最小值	0.007	10.1	0.03	8	0.4	7.1	19.77
最大值	0.071	21.2	0.36	67.9	12.7	21.4	52.42
平均值	0.014	15.81	0.07	45.89	7.69	13.09	36.14
标准离差	5.29	1.55	0.02	9.56	1.54	2.54	5.75
变异系数	0.39	0.1	0.29	0.2	0.2	0.19	0.16
特征参数	Corg/%	N/%	P/%	K/%	Se		
最小值	0.12	0.01	0.02	1.46	0.04		
最大值	2.07	0.12	0.07	1.97	0.31		
平均值	0.42	0.027	0.028	1.68	0.1		
标准离差	0.16	0.01	0.01	0.08	0.04		
变异系数	0.39	0.42	0.23	0.05	0.36		

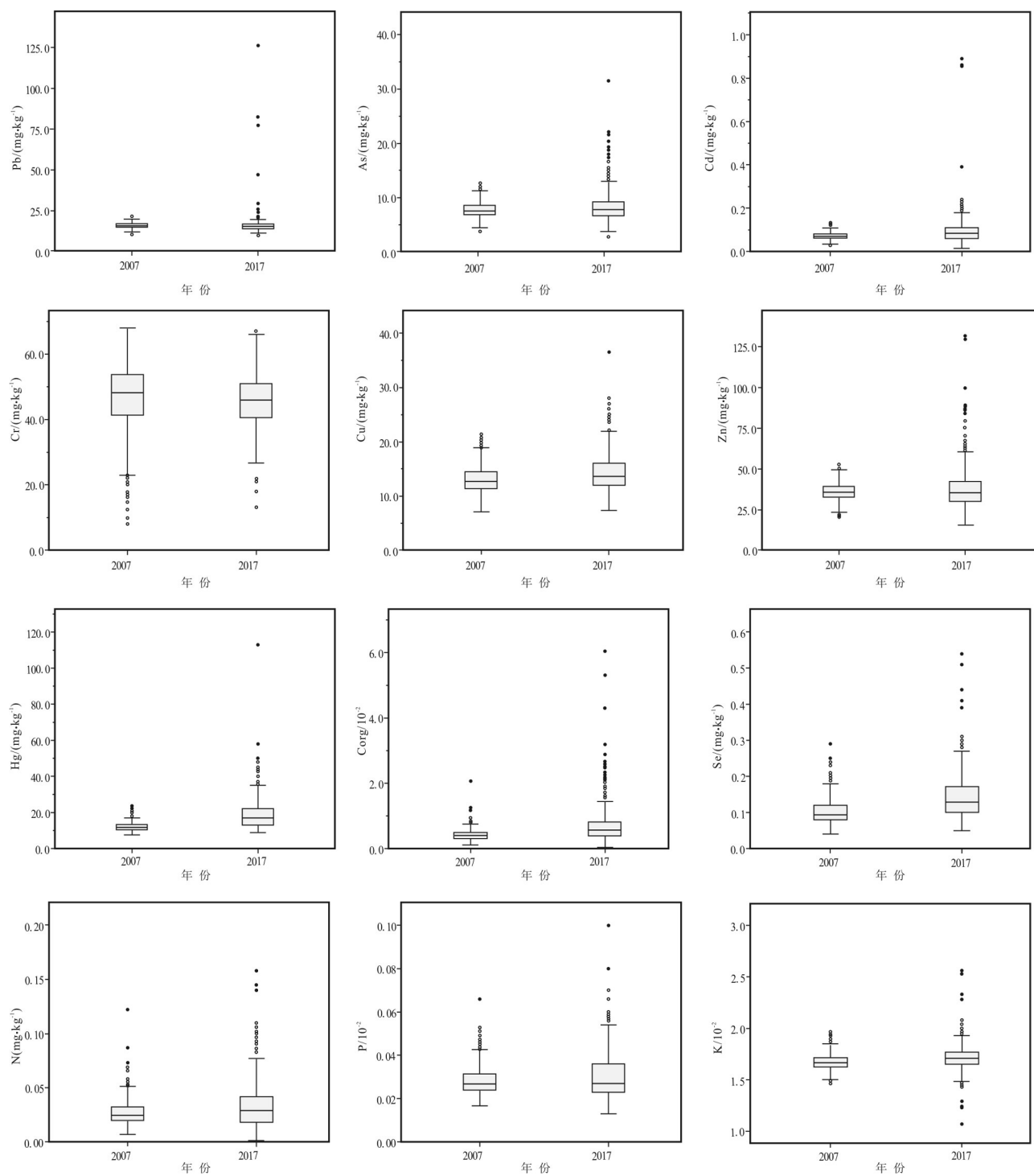


图 6 近 10 年土壤重金属及营养物质含量变化箱体图

Fig. 6 Box diagram of content variation of heavy metals and nutrient matter in soil

1995 一级标准限值测算,Cd需要 55a,Hg、As、Cu 分别需要 130a、133a 和 179a,Pb、Zn、Cr 均需要 1000a 以上;④以达到足量级指标测算,K 现已达标,N、有机质和 Se 分别需要 14a、49a 和 87a,P 需要 500a 以上。

5 讨论

与 2007 年相比,宁东基地建设用地、草地、林地明显增加,裸地、沙地明显减少,植被盖度总体水平

表6 土壤各元素累积速率

Table 6 List of cumulative rates of soil elements

参数	mg/(kg·a ⁻¹)						
	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
累积速率	0.001	0.002	0.002	-0.006	0.051	0.116	0.078
总变化率	0.472	0.001	0.266	-0.023	0.066	0.088	0.021
参数	Corg	N	P	K	Se		
累积速率	0.027	0.005	0.002	0.037	0.003		
总变化率	0.643	0.190	0.076	0.022	0.321		

提高,水土保持功能明显改善。那么,随着机械化煤炭开采进程,宁东基地植被恢复重建对其土壤质量存在怎样的影响?宁东基地资源开发和生态环境建设模式能否保证持续双赢?

据有关资料,宁东基地2007年与2000年相比,天然草地、林地、建设用地明显增加,裸地、沙地明显减少。由于人工造林,宁东基地的林草覆盖率由8.0%提高到15.0%以上,土壤侵蚀强度减轻。虽然局部地区由于开发建设,土壤侵蚀强度有所加重,但7年间,宁东能源化工基地的生态环境总体状况明显好转。

宁东基地的建设,在短期内改变了区域土地利用的结构,使得生态系统服务功能降低。但是,2007—2017年,随着人工生态环境的进一步建设和改善,基地内植被覆盖度总体水平提高,水土保持功能增强,植物生长所必需的K、有机质和N含量有所改善。尽管土壤基本未受到重金属污染的影响,但Cd和As有所累积,应予以重视。

从长远发展看,宁东基地的建设与发展必须处理好资源开发和生态环境建设的关系,即尽量保持地区原有生态景观格局,选择耐旱、耐寒、耐土壤脊薄的物种,通过最大限度利用自然生态系统的恢复、再造能力,创造改善水土环境条件,实现生态环境的保护和建设^[13-17]。

6 结论

(1)宁东煤炭基地北段2480km²基本属于清洁土壤,重金属元素Hg、Pb、Cr、Cd、As、Cu、Zn含量总体低于或接近土壤环境质量一级标准。

(2)营养元素K相对富足、N缺乏、P严重缺乏,有机质仅在灵武-鸳鸯湖矿区略显富足,面积约60km²,呈斑块状分布。

(3)健康元素Se相对缺乏,属于低硒土壤,中富硒土壤仅呈斑块状分布于鸳鸯湖、杨家窑、马家滩

矿区附近。

(4)与2007年对比,区域土壤各元素离散程度均有1~4倍的增加(Cr、Hg、P除外),表现为元素含量极大值点增多。

(5)以累积速率预测土壤元素含量变化趋势,研究区土壤Cd含量达到一级标准限值需要55a。以达到足量级指标测算,K含量现已达标,N、有机质和Se分别需要14a、49a和87a,P需要500a以上。

致谢:感谢中国地质调查局西安地质调查中心矿山环境项目组同事共同完成野外样品的采集及相关资料的收集工作,感谢中国地质科学院赵元艺老师的指导。

参考文献

- [1]宁夏统计年鉴[M].银川:宁夏人民出版社,2007.
- [2]韩永伟,高吉喜,李咏红,等.宁东能源化工基地规划生态环境影响评价研究[J].环境与可持续发展,2008,(1):58-59.
- [3]汪一鸣,赵亚峰.宁东能源化工基地的环境保护与生态建设[J].宁夏工程技术,2008,7(2):190-193.
- [4]高桂英,杜灵通,杜鹏.宁东能源化工基地生态效益变化分析[J].宁夏大学学报(自然科学版),2009,30(4):411-414.
- [5]张源沛,胡克林,李保国,等.银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J].农业工程学报,2009,25(7):19-24.
- [6]李风军,冯晓秀,陆桂琴,等.宁东能源化工基地生态环境脆弱性评价研究[J].生态科学,2014,33(5):1017-1022.
- [7]姚建华.宁东能源化工基地生态环境遥感监测评价[J].水土保持应用技术,2012,(4):7-10.
- [8]张连翔,孔繁斌,等.半干旱干旱地区抗旱保水造林关键技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2011:30-33.
- [9]柯海玲.陕西潼关金矿区土壤重金属环境地球化学特征及污染评价[D].长安大学硕士学位论文,2005.
- [10]张江华,赵阿宁,王仲复,等.内梅罗指数和地质累积指数在土壤重金属评价中的差异探讨——以小秦岭金矿带为例[J].黄金,2010,31(8):44-46.
- [11]马斌,徐志友,卜崇德,等.宁东能源化工基地水土保持生态环境动态监测分析[J].水土保持,2011,(14):53-56.
- [12]闫军.基于GIS的宁东能源化工基地土壤侵蚀变化分析[J].农业科学研究,2010,31(3):37-39.
- [13]樊兰英.煤矿废弃地植被恢复对土壤质量的影响及评价[J].山西林业科技,2014,43(1):25-30.
- [14]刘雪,孟繁锡,郭丽,等.从以色列农场看我国干旱地区有机农业发展[J].甘肃农业科技,2006,(3):36-38.
- [15]孙培新.干旱地区生态修复模式探讨[J].水利技术监督,2012,5:48-50.
- [16]王景升,李佳,陈宝雄,等.宁夏东部能源化工基地煤炭产业生态风险评估[J].资源科学,2013,35(10):2011-2016.
- [17]曹园园,璩向宁,卫萍萍.宁夏各市生态承载力供需平衡状况分析[J].湖北农业科技,2015,54(23):5887-5890.