第 30 卷第 1 期 地 质 与 资 源 Vol. 30 No. 1
2021 年 2 月 GEOLOGY AND RESOURCES Feb. 2021
文章编号:1671-1947(2021)01-0062-09 中图分类号:P595;S153 开放科学标志码(OSID):
DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2021.01.008 文献标志码:A

穆棱河–兴凯湖平原土地质量地球化学评价

张一鹤[1,2],杨 泽[1,2],戴慧敏[1,2],刘国栋[1,2],许 江[1,2],肖红叶[1,2]
1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034;
2. 中国地质调查局 黑土地演化与生态效应重点实验室,辽宁 沈阳 110034

摘 要: 基于穆棱河–兴凯湖平原 1:25 万土地质量地球化学调查土壤养分元素数据,参照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),采用单指标评价法对研究区土壤养分进行分别和综合评价. 结果表明:研究区内全氮、全磷、有机质、硫、锰、钼、氧化铁以丰富—较丰富为主,全钾以三等适中为主,研究区缺乏氧化钙、氧化镁、硼、锌、铜. 土壤养分综合指数显示,穆兴平原土地以丰富(一等)及较丰富(二等)为主. 发现了富硒土地资源面积 344 km^2,土壤中硒含量在 0.4×10^{-6}~0.79×10^{-6} 之间,平均值为 0.44×10^{-6},占研究区总面积的 2.07%.

关键词: 土壤养分;地球化学评价;富硒土壤;穆棱河–兴凯湖平原

GEOCHEMICAL EVALUATION OF LAND QUALITY IN MULING RIVER-XINGKAI LAKE PLAIN

ZHANG Yi-he[1,2], YANG Ze[1,2], DAI Hui-min[1,2], LIU Guo-dong[1,2], XU Jiang[1,2], XIAO Hong-ye[1,2]
1. *Shenyang Center of China Geological Survey*, *Shenyang* 110034, *China*;
2. *Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects*, CGS, *Shenyang* 110034, *China*

Abstract: Based on the soil nutrient element data of 1∶250 000 land quality geochemical survey in Muling River-Xingkai Lake Plain, referring to the *Code for Land Quality Geochemical Evaluation* (DZ/T0295—2016), the single index evaluation method is used to evaluate the soil nutrients respectively and comprehensively in the region. The results indicate that the study area is characterized by rich or relatively rich total nitrogen, total phosphorus, organic matter, sulfur, manganese, molybdenum and iron oxide, medium (third-grade) total potassium, and deficient calcium oxide, magnesium oxide, boron, zinc and copper. The soil nutrient composite indexes show the land of Muxing Plain is mainly rich (first grade) and relatively rich (second grade). The Se-rich land area of 344 km^2 is recognized, with soil Se content of 0.4×10^{-6}–0.79×10^{-6}, averagely 0.44×10^{-6}, accounting for 2.07% of the total area.
Key words: soil nutrient; geochemical evaluation; Se-rich soil; Muling River-Xingkai Lake Plain

0 引言

穆棱河–兴凯湖平原(以下简称穆兴平原)位于我国东北三江平原南部,有机质含量高,黑土层厚,是中国重要商品粮生产基地之一,对保障国家的粮食安全

收稿日期:2020-08-31;**修回日期:**2020-09-15. **编辑:**张哲.
基金项目:中国地质调查局地质调查项目"兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查"(DD20190520).
作者简介:张一鹤(1992—),女,主要从事土地质量地球化学调查工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//343847617@qq.com
通信作者:杨泽(1981—),男,高级工程师,主要从事生态地球化学调查与水工环地质调查研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//61421078@qq.com

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

发挥着重要的作用[1]. 然而,在长期不合理的开发和利用过程中,穆兴平原的土壤也出现了水土流失、土壤结构破坏、肥力下降等现象. 植物正常生长发育离不开土壤,土壤提供其生长所必须的营养元素,包括大量元素(C、H、O、N、P、K)、中量元素(Ca、Mg、S)、微量元素(Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Ni、Cl),这 17 种元素直接参与植物新陈代谢,不能被其他元素代替,一旦缺少其中某种元素,植物就不能完成其生理周期,并呈现专一的缺素症[2]. 而土地质量地球化学评价是依据影响土地质量的营养有益元素、重金属元素及化合物、有机污染物、土壤理化性质等地球化学指标,及其对土地基本功能的影响程度而进行的土地质量地球化学等级评定[3]. 已有相关文献报道应用地球化学方法对三江平原[4]、松嫩平原[5]等土地质量地球化学评价研究,但是对穆兴平原报道较少,所以对穆兴平原区域进行土地养分地球化学研究可以准确评价该区域土地地球化学质量,为开展黑土保护和合理粮食生产提供依据.

1　研究区概况

研究区位于黑龙江省东部偏南,北以完达山为界,南抵兴凯湖之滨,东临乌苏里江,西至密山市附近. 行政区隶属虎林市、密山市下辖各县市街道及乡村,均属鸡西市管辖. 研究区面积 16 608 km^2, 范围为东经 130°30′~133°44′,北纬 45°00′~46°22.

研究区属中纬度寒温带湿润、半湿润大陆性季风气候,年平均气温 2.9~3.1 ℃,1 月份最冷,月平均气温为-17.9 ℃;7 月份最热, 月平均气温为 21.5 ℃. 年平均降水量为 526~710 mm, 降水多集中在 6~9 月份,占全年降水量的 70%. 年平均蒸发量(小型)为 1 042.8 mm,全年日照为 2 343.1 h,大于等于 10 度积温(活动积温)为 2 654.7 ℃,无霜期为 141 d. 融雪在 2月下旬,结冻期约 180 d,平均年雷暴日数 20 d.

2　样品采集与分析方法

2.1　土壤样品的采集

本次土壤样品采集网度为 1 km×1 km,基本采样密度为 1 点/1 km^2. 采样工作组根据事先设定的坐标进行实地采样,主要采集了农田、林地、园地等位置的土壤, 优先选择分布面积最广的农业用地土壤. 取样点避开了局部低洼地和高岗地、明显点状污染的地段、新近搬运的堆积土、垃圾土、水土流失严重的地段、田埂等处. 采样时刮去地表植物凋落物,采集地表至 20 cm 深处的土柱(采用刻槽方式取样,以保证土样上下的均匀性),并去除杂草、草根、砾石、砖块、肥料团块等杂物. 在农田内,在每处采样点垂直垄沟 30 m 范围内采集 3 处土壤样品组合成一件样, 若在林地及城市等地域受到限制区域,子坑呈三角形布设.

2.2　测定项目及方法

样品由具有承担多目标地球化学调查样品分析资质的辽宁省地质矿产研究院有限责任公司承担. 该项目的分析指标为 16 项,分析方法和检出限见表 1[6].

表 1　土壤元素分析方法及检出限

Table 1　Analysis methods and detection limits of soil elements

序号	元素	检出限			分析方法
		实测	要求	单位	
1	B	0.3	1	10^{-6}	ES
2	Cu	1	1	10^{-6}	XRF
3	Mn	2.1	10	10^{-6}	XRF
4	Mo	0.12	0.3	10^{-6}	ICP-MS
5	N	17	20	10^{-6}	VOL
6	P	10	10	10^{-6}	XRF
7	S	50	50	10^{-6}	XRF
8	Zn	4	4	10^{-6}	XRF
9	K_2O	0.05	0.05	%	XRF
10	C_{org}	0.02	0.1	%	VOL
11	TFe_2O_3	0.05	0.05	%	XRF
12	CaO	0.05	0.05	%	XRF
13	MgO	0.03	0.05	%	ICP-OES
14	F	92	100	10^{-6}	ISE
15	Se	0.01	0.01	10^{-6}	AFS
16	I	0.3	0.5	10^{-6}	COL

注:AFS—原子荧光法;ISE—离子选择电极法;XRF—X 荧光光谱法;VOL—容量法;ES—发射光谱法;GL—玻璃电极法;ICP—等离子发射光谱法.

2.3　评价单元划分

评价单元是土壤质量地球化学等级划分的最小

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

的空间单位，本次 1:25 万土壤质量地球化学评价按 2 km×2 km 的方里网大小，即 4 km² 为评价单元[7]. 用 1:25 万表层土壤测量实测元素含量对每个单元赋值，当一个评价单元中有 1 个数据时，该实测数据即为该评价单元的数据，不考虑该评价单元内由插值形成的其他数据；当一个单元中有 2 个以上数据时，用实测数据的平均值对评价单元经行赋值，不考虑该评价单元内由插值形成的其他数据. 当单元中没有评价数据时，可用插值法获得每个评价单元相应的评价数据. 具体方法如下：首先对原始数据进行平均值、最大值、最小值和标准离差统计计算，用平均值 ±3 倍离差替代原始数据中的异常数据，即小于平均值 −3 倍离差的数据用平均值 −3 倍离差数据替代，大于平均值 +3 倍离差的数据用平均值 +3 倍离差数据替代[8].

2.4 数据处理及使用软件

文中表应用 Office2016 绘制；图应用 ArcGIS10.4、CorelDRAW2018 绘制；数据的相关性分析应用 SPSS25.0 软件处理，运用 Duncun（SSR）方法分析元素含量的差异显著性（$p<0.05$ 和 $p<0.01$）.

3 土壤养分评价

3.1 大量元素评价

氮（N）是植物生长所需要的大量元素之一，植物中 85%的氮用于合成蛋白质，氮是植物合成蛋白质不可或缺的元素. 在植物的代谢过程中，氮以不同的化合价形态存在于植物的光合作用与呼吸作用，可提高农作物产量[9]. 研究区土壤 N 含量范围为 0.22×10^{-3}~13.85×10^{-3}，平均值为 2.35×10^{-3}. 氮元素不同等级的分布面积和比例见表 2，可以看出，研究区氮主要处于三等以上水平，属于丰富—较丰富状态，其中一等和二等土壤面积 14 428 km²，占总面积的 86.87%. 可见，研究区土壤普遍氮元素丰富，大部分呈现适中和较丰富，小面积严重缺氮.

磷（P）是植物所必需的大量营养元素之一，它既是植物体内许多重要有机化合物的组分，同时又以多种方式参与植物体内各种代谢过程. 磷对作物高产及保持品质的优良有明显作用，它能增强作物的抗旱和抗寒能力，能增强作物对酸碱变化的影响，在提高作物抗病和抗倒伏能力方面也有一定的作用[10]. 研究区土壤 P 含量范围为 0.13×10^{-3}~3.60×10^{-3}，平均值为 0.91×10^{-3}. 从表 2 可以看出，研究区全区磷主要处于三等以上水平，属于丰富—中等状态，占总面积的 90.82%. 其中，一等丰富土壤面积 5 648 km²，占 34.01%；二等较丰富土壤面积 5 064 km²，占 30.49%. 可见，研究区几乎一半区域磷元素富集，存在一定面积的缺乏土壤.

表 2 土壤大量元素含量等级分布面积及比例

Table 2 Distribution area and proportion of soil macroelements by content grade

成分	分布	一等（丰富）	二等（较丰富）	三等（中等）	四等（较缺乏）	五等（缺乏）
全氮	面积/km²	10120	4308	1944	112	124
	比例/%	60.93	25.94	11.71	0.67	0.75
全磷	面积/km²	5648	5064	4372	1384	140
	比例/%	34.01	30.49	26.32	8.33	0.84
全钾	面积/km²	152	2780	13544	132	0
	比例/%	0.92	16.74	81.55	0.79	0
有机质	面积/km²	10364	4120	1812.00	260	52
	比例/%	62.40	24.81	10.91	1.57	0.31

钾（K）是植物生长的大量营养元素之一，有重要的营养和生理作用. 钾对蛋白质合成有促进作用. 它是多种酶的活化剂，通过调节细胞的渗透压促进植物生长，增强植物的抗不良因素（旱、寒、病害、盐碱、倒伏）的能力[11]. 研究区土壤 K 含量范围为 12.57×10^{-3}~34.67×10^{-3}，平均值为 19.75×10^{-3}. 从表 2 可以看出，研究区钾主要处于三等以上水平，属于中等—丰富状态，占总面积的 99.21%. 其中，适中钾土壤面积 13 544 km²，占总面积的 81.55%. 可见，研究区土壤钾含量适中.

有机质是土壤重要的组成部分，在保持水分、改善土壤结构、防止土壤侵蚀和退化、提供微生物和植物生命活动所必需的养分和能量等方面有重要作用. 有机质可以促进微生物和土壤生物的活动，促进土壤中营养元素的分解，提高土壤的保肥性和缓冲性，改善土壤的物理性质. 它与土壤的结构性、通气性、渗透性和吸附性、缓冲性有密切的关系[12]. 研究区土壤有机质含量范围为 5.97×10^{-3}~358.08×10^{-3}，平均值为 48.39×10^{-3}. 从表 2 可以看出，全区有机质主要处于三等以上水平，属于丰富—中等状态，面积 16 296 km²，占总面积的 98.12%. 可见，研究区土壤有机质水平呈现出整体较

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

丰富和丰富,局部缺乏的分布特征.

有研究表明:土壤有机质与土壤全量氮、磷含量有显著的相关性[13]. 如表 3,研究区有机质与全氮呈极显著正相关(p<0.01),有机质与全磷呈极显著正相关(p<0.01),全氮与全磷呈极显著正相关(p<0.01),原因是由于黑土中的氮磷主要以有机态存在,是土壤有机质的重要组成元素[14];有机质与全钾呈极显著负相关(p<0.01),全氮与全钾呈极显著负相关(p<0.01),全氮与全磷呈极显著负相关(p<0.01),因为黑土中的钾素与氮磷不同,它主要以无机态存在于矿物质、黄土母质中,另外由于黑土有机质高的土壤肥力较高,长期农作多注重氮磷肥的施入,轻视钾肥的补给,带来钾素的过度消耗[14]

表 3　土壤全氮、全磷、全钾、有机质相关性分析

Table 3　Correlation analysis of total nitrogen, total phosphorus, total potassium and organic matter in soil

	全氮	全磷	全钾	有机质
全氮	1			
全磷	0.618**	1		
全钾	-0.350**	-0.333**	1	
有机质	0.956**	0.568**	-0.311**	1

注:* 代表在 0.05 上存在显著相关性,** 代表在 0.01 上存在显著相关性.

3.2　中量元素评价

钙(Ca)不仅是植物所必须的营养元素,还参与调节和控制作物的许多生理性反应,在高等植物中有着重要的功能,缺钙会导致植物的膜结构及细胞壁结构的不稳定,细胞之间的黏附性减小,从而导致微生物的感染入侵. 研究区土壤 CaO 含量范围为 3.00×10^{-3}~49.20×10^{-3},平均值为 9.90×10^{-3}. 氧化钙不同等级的分布面积和比例见表 4. 研究区氧化钙主要处于三等和四等水平,属于中等—较缺乏状态,占总面积的 99.37%. 其中,四等(较缺乏)土壤面积 13 536 km^2,比例为 81.50%,主要分布在研究区内. 此外,区内局部地区存在二等以上较丰富氧化钙土壤面积 64 km^2.

镁(Mg)是组成叶绿素和植物盐必不可少的成分,影响着光合作用和呼吸作用,同时也在许多酶过程、化合物水解作用中起着重要作用. 镁的缺少会抑制植物各个阶段的生长以及根的发育,老叶子会出现萎黄病.

表 4　土壤中量元素含量等级分布面积及比例

Table 4　Distribution area and proportion of soil medium-content elements by content grade

成分	分布	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五等(缺乏)
CaO	面积/km^2	0	64	2968	13536	40
	比例/%	0	0.39	17.87	81.50	0.24
MgO	面积/km^2	76	164	1060	13864	1444
	比例/%	0.46	0.99	6.38	83.48	8.69
S	面积/km^2	3528	5464	4168	2532	916
	比例/%	21.24	32.90	25.10	15.25	5.52

当镁离子过多时,导致阳离子如钙、钾的缺乏,影响植物生长发育,产量降低. 研究区土壤 MgO 含量范围为 0.90×10^{-3}~40.10×10^{-3},平均值为 9.20×10^{-3}. 氧化镁不同等级的分布面积和比例见表 4. 研究区氧化镁主要处于四等和五等水平,属于较缺乏—缺乏状态,占总面积的 92.17%. 其中,四等(较缺乏)土壤面积 13 864 km^2,比例为 83.48%. 同时,区内存在二等以上富镁土壤面积 240 km^2.

硫(S)在植物生长过程中起着至关重要的作用,植物中的总硫含量约占植物干重的 0.1%~2%. 硫能促进豆科作物形成根瘤,参与固氮酶的形成. 硫能提高氨基酸、蛋白质含量,进而提升农产品品质. 由于作物籽粒中 50%硫含量存在于基叶中,因此作物可以从土壤中带走较多的硫元素. 研究区土壤 S 含量范围为 72.35×10^{-6}~$8\ 297.00\times10^{-6}$,平均值为 294.01×10^{-6}. 硫元素不同等级的分布面积和比例见表 4. 研究区土壤硫元素水平呈现出整体较丰富和丰富,局部中等、缺乏区交错的分布特征. 全区硫元素主要处于三等以上水平,属于丰富—中等状态,占总面积的 79.24%. 其中二等土壤面积 5 464 km^2,比例为 32.9%. 可见,研究区土壤普遍较丰富. 此外,土壤硫中等、缺乏区交错分布,占总面积的 1.45%.

3.3　微量元素评价

铁(Fe)是叶绿素合成必需的元素,同时在呼吸作用和光和作用中起着电子传递的作用,还可以激活酶的活性. 植物缺铁会出现萎黄病的叶子,缺少叶绿体,并且铁会停留在老叶子,不会向新叶子中转移,所以缺铁对新叶子影响更大,会出现植物顶端与新叶发

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

黄，由叶脉开始到整片叶子出现淡黄色. 研究区土壤氧化铁含量范围为 7.40×10^{-3}~94.00×10^{-3}，平均值为 46.30×10^{-3}. 从表 5 可以看出，研究区土铁元素含量各等级比例分布较平均，二等以上富铁土壤面积 8 436 km²，占总面积的 50.79%；四等以下缺铁土壤面积 4 540 km²，占总面积的 27.34%.

表 5 土壤微量元素含量等级分布面积及比例

Table 5 Distribution area and proportion of soil microelements by content grade

成分	分布	一等（丰富）	二等（较丰富）	三等（中等）	四等（较缺乏）	五等（缺乏）
$TFeO_3$	面积/km²	3380	5056	3632	3384	1156
	比例/%	20.35	30.44	21.87	20.38	6.96
Mn	面积/km²	9636	1736	1608	1824	1804
	比例/%	58.02	10.45	9.68	10.98	10.86
Zn	面积/km²	1116	2172	3120	6776	3424
	比例/%	6.72	13.08	18.79	40.80	20.62
Cu	面积/km²	812	3276	4252	5700	2568
	比例/%	4.89	19.73	25.60	34.32	15.46
B	面积/km²	12	44	1192	10600	4760
	比例/%	0.07	0.26	7.18	63.82	28.66
Mo	面积/km²	7516	6748	1740	432	172
	比例/%	45.26	40.63	10.48	2.60	1.04

锰（Mn）参与植物中许多生化作用，主要功能是作为酶的激活剂，对许多酶起调节作用，可以促进氨基酸的生成，有利于蛋白质的合成. 研究区土壤 Mn 含量范围为 93.68×10^{-6}~2542.40×10^{-6}，平均值为 764.66×10^{-6}. 从表 5 可以看出，研究区锰元素主要处于三等以上水平，属于丰富—中等状态，占总面积的 78.15%. 其中，二等以上富锰土壤面积 11 372 km²，占总面积的 68.47%. 此外，区内四等以下缺锰土壤面积 3 628 km².

锌（Zn）在植物体内主要是作为脱氢酶、蛋白酶和肽酶的活化剂，缺锌可使酶的活性降低，影响碳水化合物的合成. 锌还参与生长素的合成，缺锌时，植物体内的生长素含量有所降低，生长发育出现停滞状态，植物矮小，并且叶小呈簇生状. 研究区土壤 Zn 含量范围为 7.84×10^{-6}~223.82×10^{-6}，平均值为 60.83×10^{-6}. 从表 5 可以看出，研究区锌元素含量主要处于三等以下水平，属于中等—缺乏. 二等以上富锌土壤面积 3 288 km²，占总面积的 19.80%. 四等以下缺锌土壤面积 10 100 km²，占总面积的 61.42%.

铜（Cu）参与植物生长发育过程中的多种代谢反应，参与植物体内的氧化还原过程，也存在于叶绿体的质体蓝素中，参与光合作用的电子传递. 研究区土壤 Cu 含量范围为 1.40×10^{-6}~241.20×10^{-6}，平均值为 21.13×10^{-6}. 从表 5 可以看出，研究区铜元素含量各等级比例分布较平均，二等以上富铜土壤面积 4 088 km²，占总面积的 24.62%.

硼（B）是植物中主要的非金属类微量元素之一，对植物的生长、发育、繁殖等自然现象有着重要意义. 硼可以通过调节植物体内的生长激素促使细胞伸长、细胞分化，对花粉、种子的形成提供营养元素. 研究区土壤 B 含量范围为 4.41×10^{-6}~134.89×10^{-6}，平均值为 34.36×10^{-6}. 从表 5 可以看出，研究区硼主要处于四等以下水平，属于较缺乏—缺乏状态，占总面积的 92.48%. 可见，研究区几乎 4/5 区域缺硼.

钼（Mo）在植物固氮中起着重要的作用，参与根瘤菌的固氮作用，另外也是硝酸还原酶的成分之一，可以促进植物体内磷化物的形成，以及光合作用和呼吸作用. 研究区土壤 Mo 含量范围为 0.22×10^{-6}~2.38×10^{-6}，平均值为 0.86×10^{-6}. 从表 5 可以看出，研究区钼主要处于一等和二等水平，属于较丰富—丰富状态，面积 14 264 km²，占总面积的 85.89%. 可见，研究区土壤钼含量富足.

3.4 健康元素评价

3.4.1 土壤硒元素

硒（Se）是植物生长的有益元素，是动物生活的必需元素[15]. 土壤中硒含量不足或过量及其存在的形态直接影响到植物的生长状况和含硒量，又进一步通过食物链而影响到人的健康[16]. 研究表明，硒能改善动物机体的免疫力，提高人体抗癌能力，抑制镉、砷、汞、银等重金属毒性[17].

研究区土壤 Se 含量范围为 0.05×10^{-6}~0.79×10^{-6}，平均值为 0.24×10^{-6}. 硒元素不同等级的分布面积和比例见表 6. 结合表层土壤硒元素评价图（图 1）可以看出，研究区土壤硒元素水平整体呈现出西部缺乏、东部中等、少量丰富的分布特征. 全区硒元素主要处于三等以下水平，属于中等—缺乏状态，土壤面积 16 264 km²，占总面积的 97.93%. 区内局部地区存在富硒土壤，面积仅有 344 km²，占总面积的 2.07%，主要分布在下亮

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

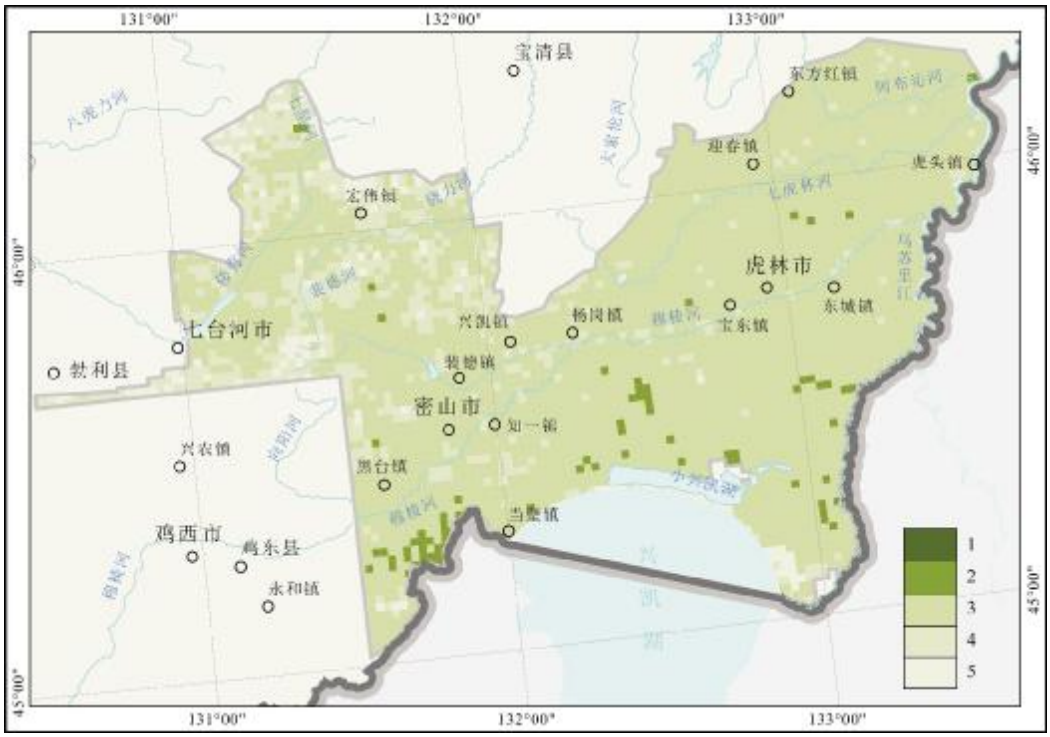

图 1　土壤硒元素评价图

Fig. 1　Evaluation map of soil selenium

1—过剩(excess); 2—高(high); 3—适量(appropriate); 4—边缘(marginal); 5—缺乏(deficient)

子乡东部.

表 6　土壤健康元素含量等级分布面积及比例

Table 6　Distribution area and proportion of soil healthy elements by content grade

元素	分布	一等(过剩)	二等(高)	三等(适量)	四等(边缘)	五等(缺乏)
Se	面积/km²	0	344	13332	2396	536
	比例/%	0	2.07	80.27	14.43	3.23
I	面积/km²	0	32	10364	4472	1740
	比例/%	0	0.19	62.40	26.93	10.48
F	面积/km²	80	1156	1696	7960	5716
	比例/%	0.48	6.96	10.21	47.93	34.42

3.4.2　土壤碘元素

碘(I)对动植物的生命是极其重要的,是维持人体生长发育所必需的. 海水里的碘化物和碘酸盐进入大多数海生物的新陈代谢中. 碘是甲状腺素的重要成分,在高级哺乳动物中,碘以碘化氨基酸的形式集中在甲状腺内,缺乏碘会引起甲状腺肿大[18].

研究区土壤 I 含量范围为 0.37×10^{-6}~9.97×10^{-6},平均值为 1.99×10^{-6}. 碘元素不同等级的分布面积和比例见表 6. 结合表层土壤碘元素评价图(图 2)可以看出,研究区土壤碘元素水平呈现出整体中等—缺乏、局部丰富的分布特征. 全区碘主要处于三等以下水平,土壤面积 16 576 km²,比例为 99.81%. 此外,沿着穆棱河流域和七虎林河流域,存在一定面积缺碘土壤,占总面积的 10.48%.

3.4.3　土壤氟元素

在适当的 pH 条件下,氟(F)有助于钙、磷形成羟基磷酸石,促进成骨过程,具有预防龋齿、保护牙齿健康的作用. 氟过量会使牙釉质受到损害, 还会使许多器官系统受损.

研究区土壤 F 含量范围为 106.00×10^{-6}~948.00×10^{-6},平均值为 431.73×10^{-6}. 氟元素不同等级的分布面积和比例见表 6. 结合表层土壤氟元素评价图 (图 3) 可以看出, 研究区土壤氟元素水平整体呈现出缺乏的分布特征. 全区氟元素主要处于三等以下水平, 属于中等—缺乏状态, 占总面积的 92.56%. 二等以上富氟土壤面积 1 236 km², 占总面积的 7.44%, 主要分布在小兴凯湖一带.

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

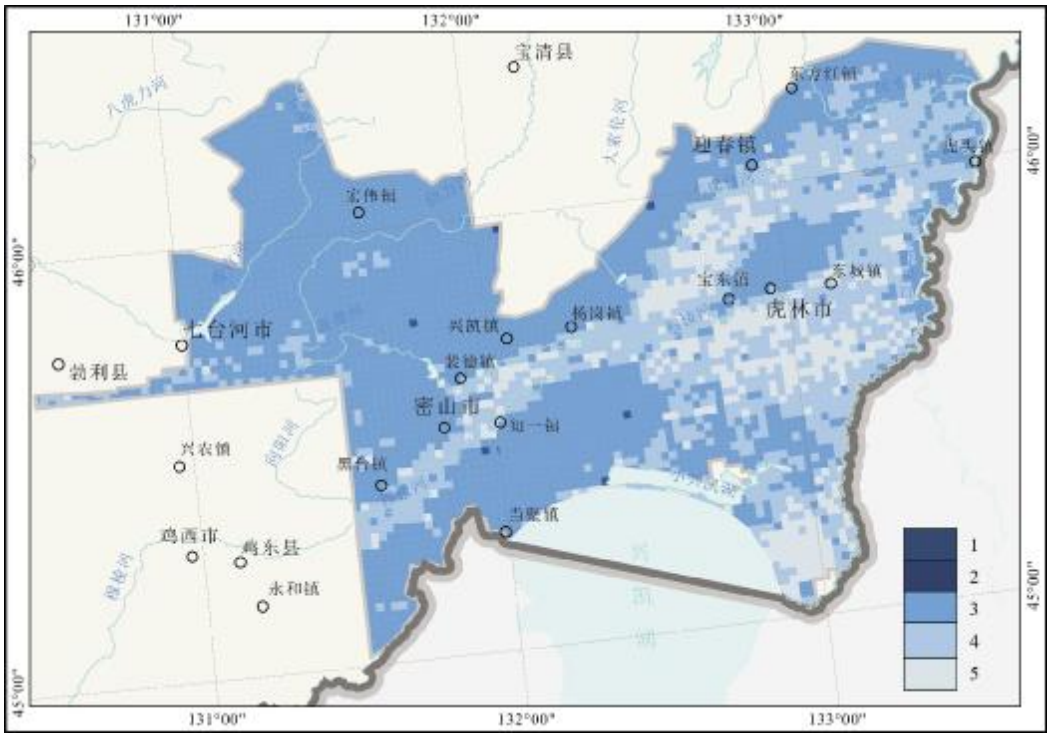

图 2 土壤碘元素评价图

Fig. 2 Evaluation map of soil iodine

1—过剩(excess)；2—高(high)；3—适量(appropriate)；4—边缘(marginal)；5—缺乏(deficient)

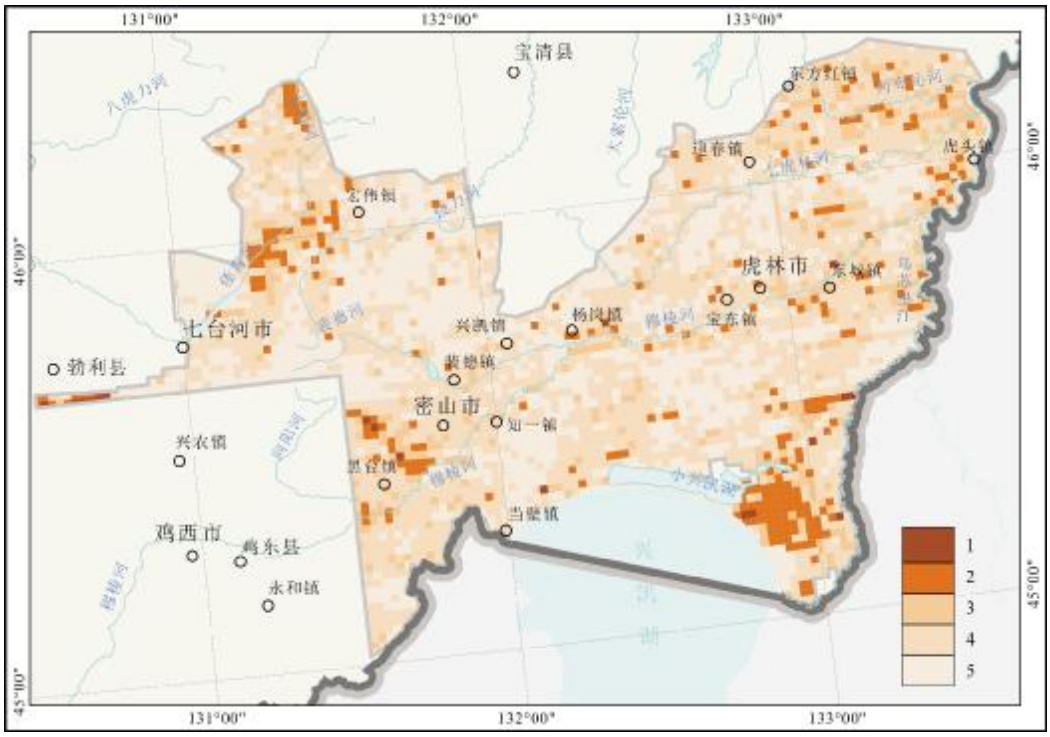

图 3 土壤氟元素评价图

Fig. 3 Evaluation map of soil fluorine

1—过剩(excess)；2—高(high)；3—适量(appropriate)；4—边缘(marginal)；5—缺乏(deficient)

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

3.5　土壤养分综合评价

对研究区的养分进行综合评价，结果见表 7 和图 4. 由图表可知评为一等的土壤面积为 5 032 km²,约占总面积的 30.30%，主要分布在东北部和虎林市周围；二等土壤面积为 7 472 km²,约占总面积的 44.99%,主要分布在穆棱河流域和七虎林河流域一带；三等土壤面积为 3 783 km²,约占总面积的 22.78%,主要分布在密山市和七台河市周围;四等土壤面积为 303 km²,约占总面积的 1.82%,主要分布在兴凯湖一带;五等土壤面积为 19 km²,约占总面积的 0.11%,在研究区内零星分布. 总体来看，研究区土壤养分丰富区域位于区内东北部.

表 7　土壤养分综合等级分布面积及比例

Table 7　Distribution area and proportion of soil nutrient by comprehensive grade

分布	一等（丰富）	二等（较丰富）	三等（中等）	四等（较缺乏）	五等（缺乏）
面积/km²	5032	7472	3783	303	19
比例/%	30.30	44.99	22.78	1.82	0.11

4　结论

综合以上土壤养分评价数据分析得出，研究区内土壤养分总体水平较好,全氮、全磷、有机质、硫、锰、钼、氧化铁以丰富—较丰富为主，全钾以三等适中为主,研究区缺乏氧化钙、氧化镁、硼、锌、铜,建议对研究区适量施加钙、镁、硼、锌、铜肥料.

本次研究发现了富硒土地资源面积 344 km²,土壤中 Se 含量在 0.4×10^{-6}~0.79×10^{-6} 之间，平均值为 0.44×10^{-6},占研究区总面积的 2.07%. 建议地方政府充分利用调查成果,尽快开发富硒农产品,帮助贫困区农民脱贫.

参考文献(References):

[1]崔小顺，郑昭贤，程中双，等. 穆兴平原北区浅层地下水水化学分布特征及其形成机理[J]. 南水北调与水利科技，2018，16(4)：146-153.

Cui X S，Zheng Z X，Cheng Z S，et al. Hydrochemical distribution characteristics of shallow groundwater in the north of Muling-Xingkai Plain and their formation mechanism [J]. South to North Water

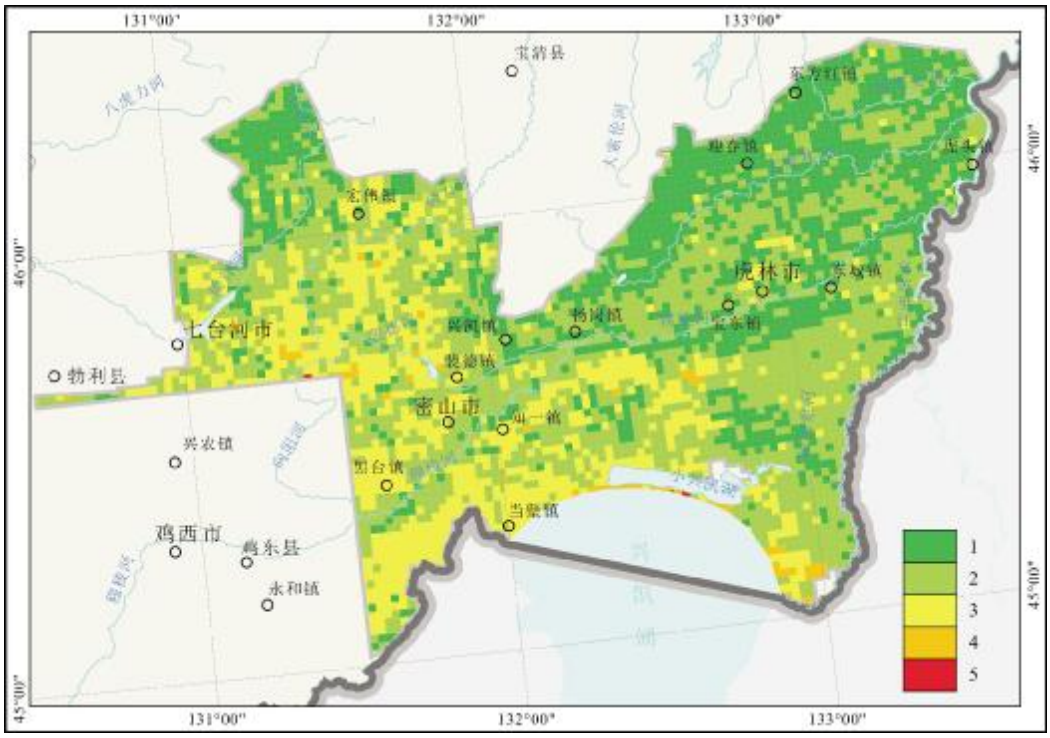

图 4　土壤养分综合评价图

Fig. 4　Comprehensive evaluation map of soil nutrients

1—丰富(rich)；2—较丰富(relatively rich)；3—中等(medium)；4—较缺乏(relatively deficient)；5—缺乏(deficient)

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 146-153.

[2]杨飘娟. 两种衰老类型小麦的耐寒性和花后糖、矿物质的积累特性[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
Yang P J. The cold tolerance and accumulation characteristics of post-anthesis sugar and mineral in two senescence types of wheat[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018.

[3]刘国栋, 崔玉军, 刘立芬, 等. 土地质量地球化学评价方法研究与应用: 以黑龙江省宏胜镇为例[J]. 现代地质, 2017, 31(1): 167-176.
Liu G D, Cui Y J, Liu L F, et al. The study and application of land quality geochemical evaluation method: Illustrated by the case of Hongsheng Town, Heilongjiang Province[J]. Geoscience, 2017, 31(1): 167-176.

[4]于磊, 张柏, 张树清. 基于 GIS 的三江平原生态环境地球化学质量评价研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 529-532.
Yu L, Zhang B, Zhang S Q, et al. Heavy metal elements pollution evaluation on the ecological of the Sanjiang Plant based on GIS[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004(05): 529-532.

[5]张慧, 雷国平, 张莹. 黑龙江省松嫩平原南部土地质量地球化学评价[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2011, 27(1): 78-83.
Zhang H, Lei G, Zhang Y. Geochemical evaluation of land quality in southern Songnen Plain of Heilongjiang Province[J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 2011, 27(1): 78-83.

[6]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: 26-27.
Ministry of Land And Resources of the people's Republic of China. Code for geochemical evaluation of land quality [S]. Beijing: Geological Publishing House, 2016: 26-27. (in Chinese)

[7]孙淑梅, 张连志, 闫冬. 吉林省德惠-农安地区土地质量地球化学评估[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 998-1002.
Sun S M, Zhang L Z, Yan D, et al. Experimental study on method and technique of land quality geochemical assessment [J]. Geoscience, 2008, 22(6): 998-1002.

[8]于成广, 杨忠芳, 杨晓波, 等. 土地质量地球化学评估方法研究与应用: 以盘锦市为例[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 873-878, 909.
Yu C G, Yang Z F, Yang X B, et al. Study and application on land quality geochemical assessment methods: Taking Panjin City as an example [J]. Geoscience, 2012(5): 873-878.

[9]张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 687-694.
Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q. Current situation and improvement strategy of soil and plant nutrient management in China[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007(6): 687-694.

[10]徐欢, 俞新玲, 林勇明, 等. 桉树根际土壤解磷细菌的分离、筛选及其解磷效果[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(5): 529-535.
Xu H, Yu X L, Lin Y M, et al. Isolation, screening of phosphate solubilizing capacity of phosphate solubilizing bacteria in *Eucalyptus* species [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science), 2016, 45(5): 529-535.

[11]周健民, 沈仁芳. 土壤学大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Zhou J M, Shen R F. Dictionary of Soil Science[M]. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese)

[12]张一鹤. 不同土地利用方式下黑土团聚体及有机碳组分特征[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
Zhang Y H. Characteristics of soil aggregates and organic carbon components in black soil under different land use [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018.

[13]赵兰坡, 邹永久, 杨学明. 土壤学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992.
Zhao L P, Zou Y J, Yang X M. Soil science[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1992. (in Chinese)

[14]赵军, 葛翠萍, 商磊, 等. 农田黑土有机质和全量氮磷钾不同尺度空间变异分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3): 280-284.
Zhao J, Ge C P, Shang L, et al. Analysis for spatial heterogeneity of soil organic content and total nutrients in black soil crop area with different scales[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2007, 23(3): 280-284.

[15]杨忠芳, 余涛, 侯青叶, 等. 海南岛农田土壤 Se 的地球化学特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 837-849.
Yang Z F, Yu T, Hou Q Y, et al. Geochemical Characteristics of soil selenium in farmland of Hainan island[J]. Geoscience, 2012, 26(5): 837-849.

[16]张哲寰, 赵君, 戴慧敏, 等. 黑龙江省讷河市土壤-作物系统 Se 元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 38-43.
Zhang Z H, Zhao J, Dai H M, et al. Geochemistry of selenium in soil-crop system of Nehe City, Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2020, 29(1): 38-43.

[17]廖启林, 任静华, 许伟伟, 等. 江苏宜溧富硒稻米产区地质地球化学背景[J]. 中国地质, 2016, 43(5): 1791-1802.
Liao Q L, Ren J H, Xu W W, et al. Geological and geochemical background of Se-rich rice production in Yili area, Jiangsu Province [J]. Geology in China, 2016, 43(5): 1791-1802.

[18]宋泽峰, 蔡奎, 冯星, 等. 冀中南平原土壤碘地球化学特征研究[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2144-2151.
Song Z F, Cai K, Feng X, et al. Iodine geochemistry studies of soil in Central South Hebei Plain[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2144-2151.

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn