



内蒙古鄂伦春旗东部地区土地质量地球化学评价

李秋燕^{1,2,3}, 贺鹏飞^{1,2,3}, 魏明辉^{1,2,3}, 刘国栋^{1,2,3}, 张一鹤^{1,2,3}, 韩晓萌^{1,2,3}

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 自然资源部 黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034;

3. 辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034

摘要: 基于鄂伦春旗东部地区 3 000 km² 1:25 万土地质量地球化学调查获取的土壤养分和土壤环境数据, 参照 DZ/T 0295《土地质量地球化学评价规范》和 GB15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》, 对研究区土壤养分丰缺情况和环境质量进行评价。结果表明: 研究区土壤养分以一等(丰富)和二等(较丰富)为主, 分别占研究区面积的 75.1% 和 24.4%, 尚无养分四等(较缺乏)和五等(缺乏)土壤存在, 其中 B、Cu、Mg 以五等(缺乏)为主; 土壤环境质量以一等(无风险)为主, 占 97% 以上, 土壤 Zn、Hg、Pb 全区均为一等(无风险)等级; 土地质量地球化学综合等级以一等(优质)为主, 面积为 2 920 km², 占总面积的 97.34%。本研究可为鄂伦春旗农业经济高质量发展提供地质数据支撑。

关键词: 土壤养分; 土壤环境; 特色土地; 土地评价; 鄂伦春旗; 内蒙古

Geochemical evaluation of land quality in eastern Oroqen Qi, Inner Mongolia

LI Qiu-yan^{1,2,3}, HE Peng-fei^{1,2,3}, WEI Ming-hui^{1,2,3}, LIU Guo-dong^{1,2,3}, ZHANG Yi-he^{1,2,3}, HAN Xiao-meng^{1,2,3}

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effects, MNR, Shenyang 110034, China; 3. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effects of Liaoning Province, Shenyang 110034, China

Abstract: Based on the soil nutrient and environmental data obtained from the 1:250 000 geochemical survey of land quality covering 3 000 km² in eastern Oroqen Qi, this study evaluates the soil nutrient abundance/deficiency and environmental quality in accordance with DZ/T 0295 “Specifications for Geochemical Evaluation of Land Quality” and GB15618 “Soil Environmental Quality Risk Control Standard for Soil Contamination of Agricultural Land (Trial)”. The results show that soil nutrient in the study area is predominantly assigned as Grade I (abundant) and Grade II (relatively abundant), accounting for 75.1% and 24.4% of the total area respectively. No Grade IV (relatively deficient) or Grade V (deficient) nutrient soils are identified yet, although B, Cu and Mg are deficient. The soil

收稿日期: 2024-01-05; 修回日期: 2024-01-19. 编辑: 李兰英.

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); “黑土地重点区生态地质调查”(DD20230089).

作者简介: 李秋燕(1993—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事黑土地生态地质调查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//2284435292@qq.com

通信作者: 贺鹏飞(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事黑土地生态地质调查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//230570665@qq.com

引用格式: 李秋燕, 贺鹏飞, 魏明辉, 刘国栋, 张一鹤, 韩晓萌. 内蒙古鄂伦春旗东部地区土地质量地球化学评价[J]. 地质与资源, 2025, 34(2): 225-231.

Li Q Y, He P F, Wei M H, Liu G D, Zhang Y H, Han X M. Geochemical evaluation of land quality in eastern Oroqen Qi, Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2025, 34(2): 225-231.

environmental quality is primarily classified as Grade I (risk-free), covering over 97% of the area, with Zn, Hg and Pb concentrations maintaining risk-free grade throughout the region. The comprehensive geochemical land quality is mainly Grade I (excellent), encompassing 2 920 km² or 97.34% of the total area. This study may provide geological data support for promoting high-quality agricultural economic development in Oroqen Qi.

Key words: soil nutrient; soil environment; characteristic land; land evaluation; Oroqen Qi; Inner Mongolia

0 引言

土地是最重要的自然资源,是农业生产和社会经济可持续发展的物质基础,是确保粮食生产能力和农产品安全的重要保障^[1-3]。多年来,全国范围内开展的土地质量地球化学调查工作,为土地资源合理规划与利用、土壤污染防控与治理、农业种植结构调整等方面提供了有效的地质服务,促进了农业经济发展,支持服务乡村振兴^[4-5]。2019年,中国地质调查局沈阳地质调查中心在内蒙古鄂伦春旗东部地区开展了1:25万土地质量地球化学调查工作,面积3 000 km²,基本查明了鄂伦春旗主要农耕区土壤养分丰缺和土壤环境质量状况,为当地发展绿色农业、开发特色土地资源、优化种植结构提供科学依据。

1 研究区概况

鄂伦春自治旗位于内蒙古自治区呼伦贝尔市东部,是呼伦贝尔市面积最大的县级行政区,四季分明,属寒温带半湿润大陆性季风气候。全旗土地利用方式以林地为主,旱地面积3 013 km²。研究区位于鄂伦春旗东部,面积3 000 km²,旱地面积1 427 km²,是全旗主要的农耕区。研究区高程在266~598 m之间,整体上呈东北低、西南高的地势特征。研究区北部主要出露地层为下白垩统光华组凝灰岩、下白垩统甘河组玄武岩,沿河道分布第四纪沉积层,岩性以亚黏土、亚砂土为主。南部主要出露二叠纪花岗岩、晚石炭世—早二叠世花岗岩、大黑沟组玄武岩,部分地区出露侏罗纪花岗岩(图1)。研究区主要土壤类型为暗棕壤、黑土和草甸土,土地利用类型以旱地、林地、草地为主。

2 研究方法

2.1 土壤样品布设与采集

采样区域为鄂伦春旗东部地区,涉及古里乡、乌鲁布铁镇、大杨树镇、宜里镇、诺敏镇。土壤采样按照2 km × 2 km规则格网采样法进行,采样密度为1个

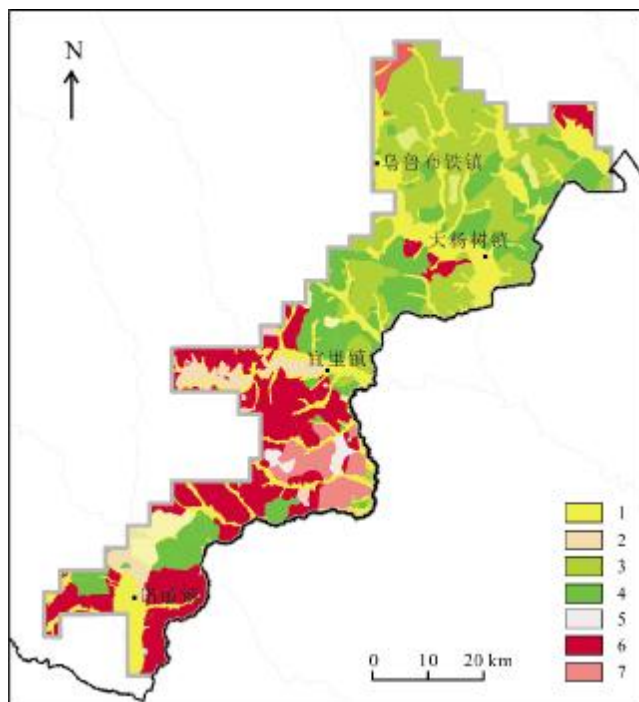


图1 鄂伦春旗东部地区地质图

Fig. 1 Geological map of eastern Oroqen Qi

1—第四纪沉积层 (Quaternary sediment); 2—更新统大黑沟组玄武岩 (basalt of Daheigou fm., Pleistocene); 3—下白垩统甘河组玄武岩 (basalt of Ganhe fm., Lower Cretaceous); 4—下白垩统光华组凝灰岩 (tuff of Guanghua fm., Lower Cretaceous); 5—侏罗纪花岗岩 (Jurassic granite); 6—二叠纪花岗岩 (Permian granite); 7—晚石炭—早二叠世花岗岩 (Late Carboniferous-Early Permian granite)

点/km²,每4 km²组合成一个分析样品。采样时,刮去地表植物凋落物,采集地表至20 cm深处的土柱,去除动植物残体、砾石等杂物,三点组合取样。土壤样品自然风干后过20目尼龙筛,采取四分法袋装200 g样品送交分析测试单位进行测试。

2.2 样品分析

土壤样品分析测试由辽宁省地质矿产研究院有限责任公司完成,分析方法及检出限见表1。样品分析过程中插入12个国家一级土壤标准物质(GBW)进行准确度监控,按所送样品总数随机抽取5%试样作为重

复样监控分析测试的精密密度,所有监控样元素分析准确度和精密密度均在允许范围内,数据可靠。

表 1 土壤元素分析及检出限
Table 1 Analysis methods and detection limits of soil elements

指标	检出限	分析方法
N	19	容量法(VOL)
P	6	X 射线荧光光谱法(XRF)
K ₂ O	0.02	X 射线荧光光谱法(XRF)
C _{org}	0.03	容量法(VOL)
S	18	容量法(VOL)
Mn	0.30	电子耦合发射光谱法(ICP-OES)
B	1	发射光谱法(ES)
Fe ₂ O ₃	0.05	X 射线荧光光谱法(XRF)
CaO	0.05	X 射线荧光光谱法(XRF)
MgO	0.05	X 射线荧光光谱法(XRF)
Mo	0.06	等离子发射光谱法(ICP-MS)
Ge	0.06	原子荧光法(AFS)
As	0.5	原子荧光法(AFS)
Cd	0.02	等离子发射光谱法(ICP-MS)
Cr	1.8	X 射线荧光光谱法(XRF)
Hg	0.0003	原子荧光法(AFS)
Cu	0.9	X 射线荧光光谱法(XRF)
Pb	1	X 射线荧光光谱法(XRF)
Zn	0.3	电子耦合发射光谱法(ICP-OES)
Ni	0.046	X 射线荧光光谱法(XRF)
pH	0.10	离子选择电极法(ISE)

含量单位:氧化物为%,其他为 10⁻⁶。

2.3 数据处理

采用 ArcMap10.4.1 软件作图,并用 Excel、SPSS 软件对数据进行统计和分析。

3 土地质量地球化学评价

3.1 土壤养分丰缺评价

选取 N、P、K、有机质(C_{org})、S、Mn、B、Cu、Zn、Fe₂O₃、CaO、MgO、Mo、Ge 等 14 个指标,根据《土地质

量地球化学评价规范》(DZ/T0295—2016)^[6]规定的标准值进行分等,将土壤养分单指标划分为五等、四等、三等、二等、一等 5 个等级,并赋予相应的分值 1、2、3、4、5。在此基础上,按公式计算土壤养分地球化学综合得分 $f_{\text{养综}}$,并按照表 2 确定土壤养分地球化学综合等级。

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

式中, $f_{\text{养综}}$:土壤 N、P、K 评价总得分, $1 \leq f_{\text{养综}} \leq 5$; k_i : N、P、K 权重系数,分别为 0.4、0.4、0.2; f_i : N、P、K 单指标得分。

表 2 土壤养分地球化学综合等级
Table 2 Comprehensive geochemical grading of soil nutrient

等级	一等	二等	三等	四等	五等
$f_{\text{养综}}$	≥ 4.5	$<4.5 \sim 3.5$	$<3.5 \sim 2.5$	$<2.5 \sim 1.5$	<1.5

3.2 土壤环境质量评价

依据《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)^[7],以 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 等 8 种重金属元素为评价指标,结合土壤 pH 值,当土壤中单一重金属元素的含量等于或者低于规定的风险筛选值时,土壤污染风险低,一般情况下可忽略,这部分土壤为无风险等级;当重金属含量高于规定的风险筛选值且等于或者低于规定的风险管控值时,可能存在食用农产品不符合质量安全标准等级的土壤污染风险,为风险可控等级;当重金属含量高于规定的风险管控值时,农产品不符合质量安全标准等级,土壤为风险较高等级。每个评价单元的土壤环境综合等级等于单指标环境评价最差的等级(表 3)。

表 3 重金属单元素污染风险等级划分标准
Table 3 Grading standards for pollution risk of single heavy metal elements

土壤环境地球化学等级	一等	二等	三等
污染风险	无风险	风险可控	风险较高
划分方法	$C_i \leq S_i$	$S_i \leq C_i \leq G_i$	$G_i > C_i$

注: C_i 为土壤中指标某一重金属 i 的实测浓度; S_i 为重金属 i 的污染风险筛选值; G_i 为重金属 i 的污染风险管控值。

3.3 土地质量综合评价

土地质量地球化学综合等级由评价单元的土壤养

分地球化学综合等级与土壤环境地球化学综合等级叠加产生,评价标准见表 4。

4 土壤地球化学评价

4.1 土壤养分丰缺评价

鄂伦春旗东部地区土壤养分丰缺评价等级面积占比结果见图 2。土壤全 N、全 P、有机质、Mn、Mo、Fe₂O₃ 以一等(丰富)为主,其中全 N、有机质和 Mn 一等面积达到全区面积的 85%以上。N 可以促进作物生长,使植物株高叶茂,增强光合作用。有机质是土壤质量的核心,维系着土壤肥力,它在腐殖化过程中可以释放被作物吸收的养分,也可改良土壤的性状^[8]。Mn 可以调节植物体内的氧化还原作用^[9]。全 P、Mo 和 Fe₂O₃ 一等面积分别占研究区的 78.93%、60.27%和 39.60%。全 N、全 P 和有机质不存在四等(较缺乏)和五等(缺乏)土地。全 K 以二等(较丰富)为主,面积为 2 220 km²,占研究区面积的 74.00%,不存在全 K 四等和五等土地。P 与植物的光合作用、呼吸作用紧密相关,在植物生长发育和繁殖过程中发挥着关键作用^[10]。Mo 参于固氮酶和硝酸盐还原酶的合成,直接影响植物体氮素代谢作用^[11]。Fe 参与叶片叶绿素的合成、光合作用和呼吸作用等生理过程^[12]。土壤中 S 一等和二等面积相当,分别为 1 112 km² 和 1 068 km²。S 能促进豆科作物形成根瘤,参与固氮酶的形成^[13]。Zn 以二等和三等(中等)面积为主,两个等级面积相近,分别为 1 056 km² 和 1 008 km²。Zn 是植物生长所必需的微量营养元素,参与氨基酸的合成和叶绿素的生成^[14]。CaO 以三等为主,占全区面积的 65.60%,没有一等和五等等级。Ca 在植物体内参与多种代谢,缺钙会出现代谢紊乱,合成代

谢受阻,分解代谢加强,嫩叶失绿^[15]。Ge 元素分布比较平均,各等级土壤在研究区内均有分布。Ge 是维持人体机能正常运转的重要微量元素,具有抗癌、抗炎、抗病毒、抗射线、抗衰老的功效。含 Ge 药物、保健品的研发已相继开展,植物是人体获取 Ge 的最直接方式,开发利用富 Ge 土壤和富 Ge 农作物有较好的前景^[16-17]。研究区内土壤 B 以五等为主,面积为 2 020 km²,占全区面积的 67.33%;土壤 Cu 和 MgO 以四等为主,分别占研究区面积的 36.27%和 57.60%。植物缺 B 时,根伸长

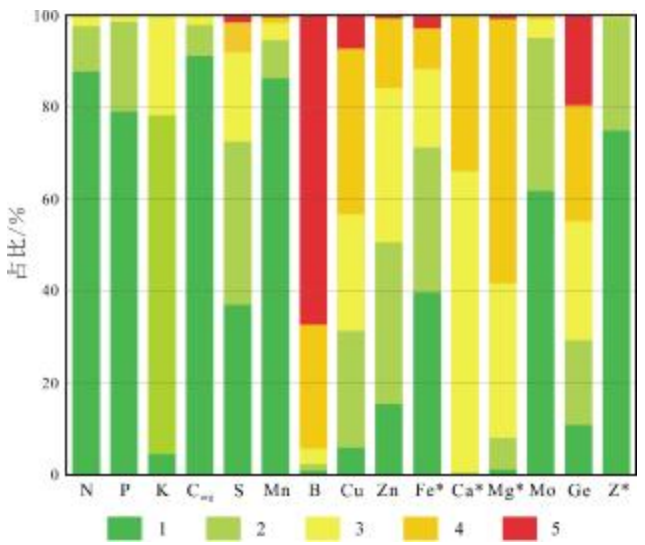


图 2 土壤养分丰缺评价等级面积占比图

Fig. 2 Proportion diagram of soil nutrient abundance-deficiency evaluation grade area

1— 一等(丰富)(Grade I, rich); 2—二等(较丰富)(Grade II, relatively rich); 3—三等(中等)(Grade III, medium); 4—四等(较缺乏)(Grade IV, relatively deficient); 5—五等(缺乏)(Grade V, deficient); Fe*— Fe₂O₃; Ca*— CaO; Mg*— MgO; Z*—养分综合(comprehensive soil nutrient)

表 4 土地质量地球化学综合等级

Table 4 Comprehensive geochemical grading of land quality

土地质量地球化学综合等级	环境质量地球化学综合等级		
	一级(无风险)	二级(风险可控)	三级(风险较高)
一等(丰富)	一等(优质)	三等(中等)	五等(劣等)
二等(较丰富)	一等(优质)	三等(中等)	五等(劣等)
养分地球化学综合等级	三等(中等)	三等(中等)	五等(劣等)
四等(较缺乏)	三等(中等)	三等(中等)	五等(劣等)
五等(缺乏)	四等(差等)	四等(差等)	五等(劣等)

受阻,抑制根系对养分的吸收,影响细胞壁结构的完整性,阻碍根瘤的形成^[18]。缺 Cu 时,叶片失绿且卷曲,细胞壁形成不良,花粉发育障碍和果实形成受阻^[19]。缺 Mg 会导致植物代谢过程中关键酶活性降低,细胞色素合成受阻,影响植物的正常生长及产量和品质^[20]。因此,建议鄂伦春旗东部缺乏 B、Cu、Mg 的地区在种植农作物时,适当施加 B 肥、Cu 肥和 Mg 肥,以增加作物产量,改善作物品质。

土壤养分综合评价(图 3)显示,研究区土壤以一等(丰富)和二等(较丰富)为主,没有四等(较缺乏)和五等(缺乏)土壤存在,适合农作物生长。一等土壤面积 2 252 km²,占研究区总面积的 75.1%;二等土壤面积 732 km²,占总面积的 24.4%;三等(中等)土壤面积 16 km², 占总调查面积的 0.5%。空间分布上整体表现为东北地区丰富,西南地区较丰富。

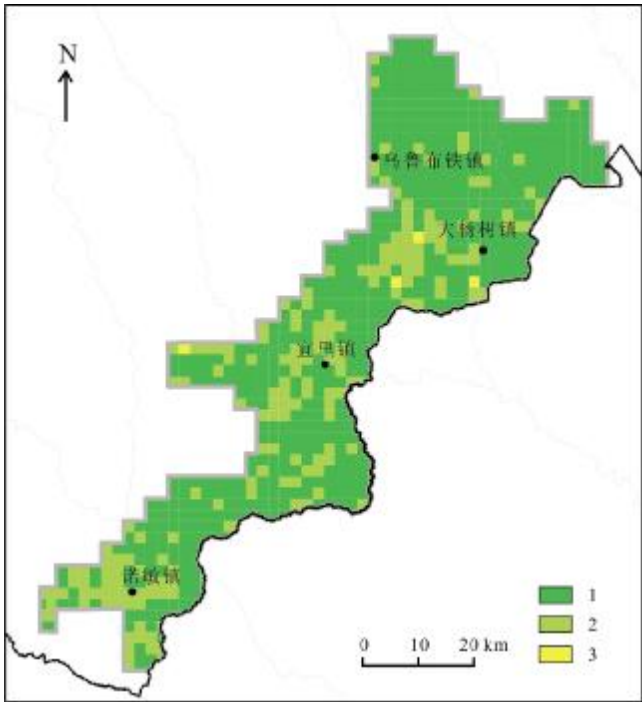


图 3 鄂伦春旗东部地区土壤养分地球化学综合等级图
Fig. 3 Comprehensive geochemical grading map of soil nutrient in eastern Oroqen Qi
1—一等(丰富)(Grade I, rich); 2—二等(较丰富)(Grade II, relatively rich); 3—三等(中等)(Grade III, medium)

4.2 土壤环境质量评价

研究区 8 种重金属及 3 种微量元素的土壤环境评价结果(图 4、5)表明,鄂伦春旗东部地区符合一等(无风险)土壤环境质量标准的土地占 97%以上,面积为

2 936 km²,其中 Zn、Hg、Pb 全区均为无风险等级。风险可控的土地面积为 64 km²,占 2.13%。全区没有风险较

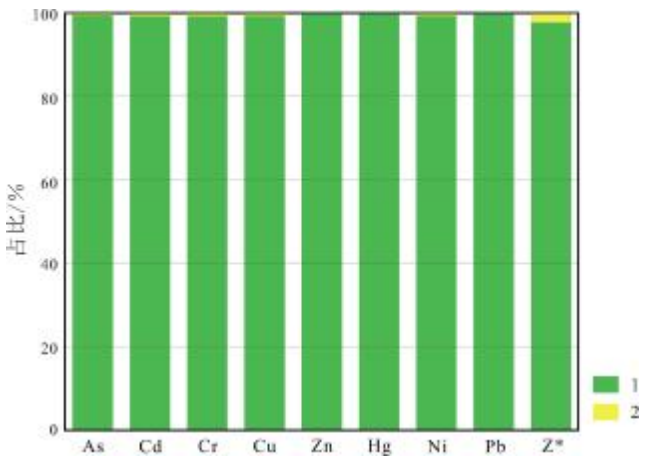


图 4 土壤环境评价等级面积占比图
Fig. 4 Proportion diagram of soil environment evaluation grade area
1—一等(无风险)(Grade I, risk-free); 2—二等(风险可控)(Grade II, risk controllable); 3—三等(风险较高)(Grade III, relatively high risk); Z*—环境综合(comprehensive environment factor)

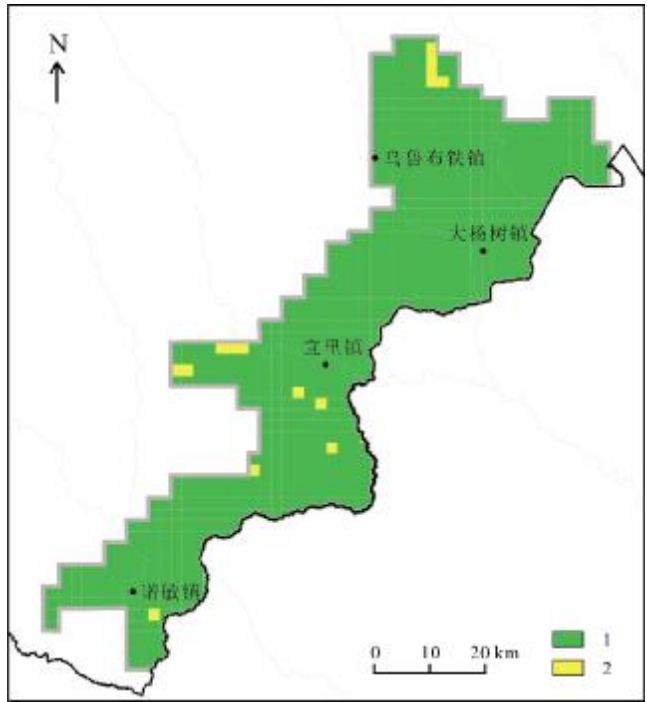


图 5 鄂伦春旗东部地区土壤环境地球化学综合等级图
Fig. 5 Comprehensive geochemical grading map of soil environment in eastern Oroqen Qi
1—一等(无风险)(Grade I, risk-free); 2—二等(风险可控)(Grade II, risk controllable)

高土壤存在. 鄂伦春旗东部地区土壤不存在环境元素超标现象,环境因素对土壤影响较弱.

4.3 土地质量综合评价

评价结果(表 5,图 6)显示,鄂伦春旗东部地区土地质量综合评价等级以一等(优质)为主,没有四等(差等)和五等(劣等)土地村庄. 一等土地面积为 2 920 km²,占总面积的 97.34%;二等(良好)和三等(中等)土地零星分布,面积分别为 16 km²和 64 km²,占 0.53%和 2.13%,其中宜里镇分布较多. 研究区土壤养分丰富,土壤环境清洁,适宜开展农业生产.

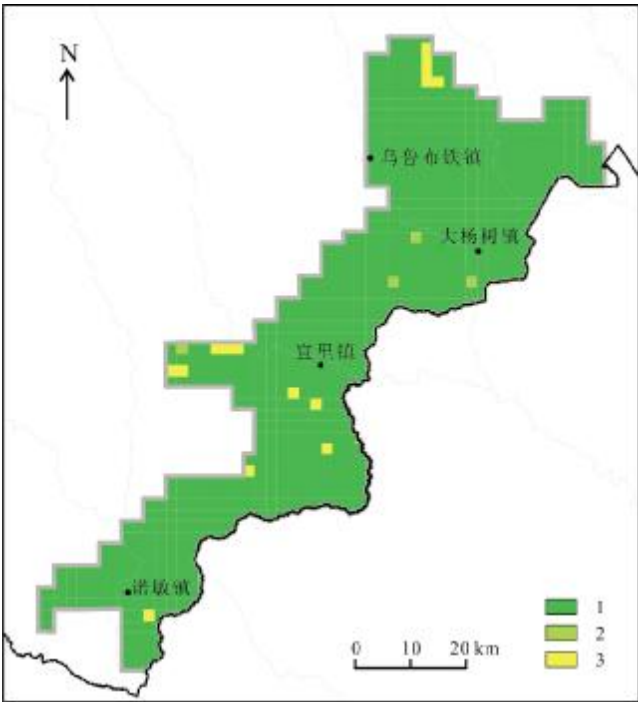


图 6 鄂伦春旗东部地区土地质量地球化学综合等级图
Fig. 6 Comprehensive geochemical grading map of land quality in eastern Oroqen Qi
1— 一等(优质) (Grade I, high quality); 2—二等(良好) (Grade II, good); 3—三等(中等) (Grade III, medium)

5 结论

1)研究区内土壤养分整体较好,全 N、全 P、有机

质、Mn、Mo、Fe₂O₃ 以一等(丰富)为主,全 K 以二等(较丰富)为主, S 一等和二等面积相当, Zn 以二等和三等(中等)为主, CaO 以三等为主,土壤中 B、Cu、Mg 较缺乏. 建议在作物种植期适当施加 B 肥、Cu 肥和 Mg 肥.

2)研究区土壤基本没有重金属污染以及微量元素超标情况, Zn、Hg、Pb 全区均为一等(无风险). 二等(风险可控)的土地面积为 64 km²,占 2.13%,主要受 Mo 元素影响.

3)研究区土地质量以一等(优质)为主,表明研究区土壤养分丰富,土壤环境清洁,适宜开展农业生产.

参考文献(References):

[1]王磊, 卓小雄, 吴天生, 等. 基于 1:25 万和 1:5 万土地质量地球化学调查评价的土壤元素累积趋势预测——以广西南宁市西乡塘区为例[J]. 物探与化探, 2023, 47(1): 1-13.
Wang L, Zhuo X X, Wu T S, et al. Prediction of the soil element accumulation trends based on 1:250 000 and 1:50 000 geochemical surveys and assessments of land quality: A case study of Xixiangtang District, Nanning City, Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2023, 47(1): 1-13.
[2]姜冰, 张海瑞, 刘阳, 等. 青州市南张楼村土地质量地球化学特征及特色土地资源评价[J]. 山东国土资源, 2022, 38(1): 54-59.
Jiang B, Zhang H R, Liu Y, et al. Geochemical characteristic of land quality and typical land resources evaluation in Nanzhanglou Village in Qingzhou City[J]. Shandong Land and Resources, 2022, 38(1): 54-59.
[3]姜长松, 刘进, 谢静博, 等. 冀中平原典型区土地质量地球化学评价[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(9): 153-156.
Jiang C S, Liu J, Xie J B, et al. Geochemical evaluation of land quality in typical areas of Jizhong Plain [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2023, 29(9): 153-156. (in Chinese)
[4]常婵, 高艳芳, 孙彬彬, 等. 土地质量地球化学调查土壤采样点智能化布设研究[J]. 物探化探计算技术, 2023, 45(6): 824-832.
Chang C, Gao Y F, Sun B B, et al. Research on intelligent arrangement of soil sampling points in a geochemical survey of land quality [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 45(6): 824-832.

表 5 土地质量综合评价结果统计

Table 5 Comprehensive evaluation statistic result of land quality

指标	一等(优质)		二等(良好)		三等(中等)		四等(差等)		五等(劣等)	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
土地质量综合	2920	97.34	16	0.53	64	2.13	0	0	0	0

- [5] 刘国栋, 杨泽, 戴慧敏, 等. 黑龙江省海伦市长发镇土地质量地球化学评价及开发建议[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 533–542.
- Liu G D, Yang Z, Dai H M, et al. Geochemical evaluation of land quality and development suggestion of land in Hailun City, Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 533–542.
- [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.
- Ministry of Land and Resources, PRC. DZ/T 0295—2016 Determination of land quality geochemical evaluation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [7] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 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, 2019.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine 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, 2019. (in Chinese)
- [8] 陈兴, 吴开彬, 王军, 等. 贵州省仁怀市耕地土壤养分地球化学特征及其影响因素研究[J]. 中国地质, 2022, 49(3): 860–879.
- Chen X, Wu K B, Wang J, et al. Geochemical characteristics and influencing factors of soil nutrients in cultivated land in Renhuai, Guizhou Province[J]. Geology in China, 2022, 49(3): 860–879.
- [9] 李秋燕, 张一鹤, 魏明辉, 等. 海伦市土壤主要微量元素空间分布特征[J]. 物探与化探, 2022, 46(5): 1114–1120.
- Li Q Y, Zhang Y H, Wei M H, et al. Spatial distribution of the soil trace elements in Hailun City [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5): 1114–1120.
- [10] 袁淑雅, 贺晶, 苏德荣. 降水格局变化和放牧对草地土壤磷转化影响的研究进展[J]. 草地学报, 2024, 32(1): 25–36.
- Yuan S Y, He J, Su D R. Advances in the effects of precipitation pattern change and grazing on soil phosphorus conversion in grassland [J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(1): 25–36.
- [11] 魏明辉, 许江, 李秋燕, 等. 内蒙古鄂伦春旗土壤钼元素的分布特征及主要影响因素[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 609–613.
- Wei M H, Xu J, Li Q Y, et al. Distribution characteristics and main influencing factors of soil molybdenum in Oroqen Qi, Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 609–613.
- [12] 陈玉真, 单睿阳, 王峰, 等. 闽中茶园土壤和茶叶铁锰含量及影响因素研究[J]. 福建农业学报, 2018, 33(9): 986–993.
- Chen Y Z, Shan R Y, Wang F, et al. Factors affecting iron and manganese contents of tea leaves and plantation soil in central Fujian [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(9): 986–993.
- [13] 张一鹤, 杨泽, 戴慧敏, 等. 穆棱河—兴凯湖平原土地质量地球化学评价[J]. 地质与资源, 2021, 30(1): 62–70.
- Zhang Y H, Yang Z, Dai H M, et al. Geochemical evaluation of land quality in Muling River-Xingkai Lake Plain[J]. Geology and Resources, 2021, 30(1): 62–70.
- [14] 方士武, 骆方明. 无为县耕地土壤有效锌含量评价与分析[J]. 现代农业科技, 2020(10): 160–161.
- Fang S W, Luo F M. Evaluation and analysis of available zinc content in cultivated soil in Wuwei County[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(10): 160–161. (in Chinese)
- [15] 赵阿娟, 刘琼峰, 周世民, 等. 白云石粉与氧化镁肥对植烟土壤与烟叶钙镁营养元素的影响[J]. 中国农学通报, 2024, 40(1): 7–11.
- Zhao A J, Liu Q F, Zhou S M, et al. Effects of dolomite powder and magnesium oxide fertilizer on calcium and magnesium nutrient elements in tobacco planting soil and tobacco leaves [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2024, 40(1): 7–11.
- [16] 段轶仁, 杨忠芳, 杨琼, 等. 广西北部湾地区土壤锗分布特征、影响因素及其生态环境评价[J]. 中国地质, 2020, 47(6): 1826–1837.
- Duan Y R, Yang Z F, Yang Q, et al. The distribution, influencing factors and ecological environment evaluation of soil germanium in Beibu Gulf of Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. Geology in China, 2020, 47(6): 1826–1837.
- [17] 齐小芳, 程智慧. 植物对锗的吸收利用及其生理功能研究进展[J]. 中国蔬菜, 2020(8): 14–18.
- Qi X F, Cheng Z H. Research progress on absorption and utilization of germanium (Ge) and its physiological function in plant [J]. China Vegetables, 2020(8): 14–18.
- [18] 马琦琦, 李丽君, 王斌, 等. 硼对藜麦抗氧化酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(24): 139–143.
- Ma Q Q, Li L J, Wang B, et al. Effects of boron on the antioxidant enzymes activity of quinoa [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(24): 139–143.
- [19] 赫丽飞, 周仲乐, 马春婕, 等. 植物铜转运蛋白结构、功能及调控机制[J]. 中国细胞生物学报, 2022, 44(12): 2411–2420.
- He L F, Zhou Z L, Ma C J, et al. Structure, function and regulatory mechanism of COPT in plants [J]. Chinese Journal of Cell Biology, 2022, 44(12): 2411–2420.
- [20] 尤垂淮, 孙青慧, 陈晟, 等. 镁营养对苦瓜生长发育及生理代谢的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(12): 3545–3552.
- You C H, Sun Q H, Chen S, et al. Effects of magnesium nutrition on the growth and development of *Momordica charantia* and its physiological metabolism [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(12): 3545–3552.