

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2024.03.026

刘立芬, 栾欣婷. 寒地黑土养分元素地球化学特征及丰缺评价——以抚远市为例. 土壤, 2024, 56(3): 681–688.

# 寒地黑土养分元素地球化学特征及丰缺评价——以抚远市为例<sup>①</sup>

刘立芬<sup>1,2</sup>, 栾欣婷<sup>1</sup>

(1 黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江省黑土地水土资源研究重点实验室, 哈尔滨 150036; 2 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 哈尔滨 150086)

**摘要:** 本文以黑龙江省抚远市为例, 基于近年土地质量地球化学调查资料成果, 采用地统计分析和 GIS 分析等相结合, 揭示研究区黑土表层土壤中 N、P、K、Ca、Mg 等 13 项养分元素及土壤有机质的含量和分布特征及在不同土壤类型分布区含量特征, 统计得出表层土壤养分元素背景值, 并依据相关标准对各养分元素指标丰缺现状进行评价。研究结果表明, 抚远地区表层土壤中有机质含量富足, N、P 含量较丰富, K 元素适中, Ca、Mg、B、Zn 较缺乏, S、Fe、Mn、Cu 元素含量分异较大, 且等级中等以上均大于 60%; 土壤养分地球化学综合评价表明, 该地区土壤养分丰富—较丰富约占 77.1%, 较缺乏区仅占 1.2%, 土壤肥力良好, 可为该区域现代农业发展和黑土地保护利用提供参考资料。

**关键词:** 寒地黑土; 养分元素; 地球化学; 抚远; 土壤肥力

**中图分类号:** P595 **文献标志码:** A

## Geochemical Characteristics and Assessment of Nutrient Elements in the Cold Region Black Soil: A Case Study of Fuyuan City

LIU Lifan<sup>1,2</sup>, LUAN Xinting<sup>1</sup>

(1 Natural Resources Survey Institute of Heilongjiang Province, Key Laboratory of Black Soil and Water Resources Research of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China; 2 Observation and Research Station of Earth Critical Zone in Black Soil, Ministry of Natural Resources, Harbin 150086, China)

**Abstract:** This paper takes Fuyuan City, Heilongjiang Province as an example, based on recent achievements in geochemical survey data of land quality, and employed a combination of geostatistical analysis and GIS analysis to systematically research and evaluate 13 nutrient elements such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and soil organic matter in the surface soil of the research area. The research findings revealed the content and distribution characteristics of various nutrient elements in the surface soil of Fuyuan region, as well as their distribution characteristics in different soil types. This study established the background values of nutrient elements in the surface soil and evaluated the deficiency status of each nutrient element according to relevant standards. The evaluation results indicated that the organic matter content in the surface soil of Fuyuan region is abundant, nitrogen and phosphorus content are relatively rich, potassium content is moderate, while calcium, magnesium, boron, and zinc are comparatively deficient. Sulfur, iron, manganese, and copper elements exhibit significant variations in content, with levels above medium constituting over 60%. The comprehensive geochemical assessment of soil nutrients suggested that approximately 77.1% of the soil in this area is rich to relatively rich in nutrients, with only 1.2% showing relative deficiency. The soil fertility is good, providing valuable insights for the development of modern agriculture and the preservation and utilization of black soil in this region.

**Key words:** Cold region black soil; Nutrient elements; Geochemistry; Fuyuan; Soil fertility

黑土地具有黑色或暗黑色腐殖质表土层, 性好、肥力高<sup>[1]</sup>。中国东北是世界四大黑土带之一, 分布着广阔的黑土地资源<sup>[2]</sup>, 黑龙江省地处东北黑土区核心区域, 松嫩平原、三江平原是我国重要的粮食生

<sup>①</sup>基金项目: 中国地质调查局水工环地质调查项目(DD20160316-03)资助。

作者简介: 刘立芬(1984—), 女, 黑龙江宾县人, 工程硕士, 高级工程师, 主要从事地球化学相关研究。E-mail: 107294895@qq.com

产基地,有着“中华大粮仓”的美称,在保障国家粮食安全方面有着重要地位,土地质量状况备受社会广泛关注,其中土壤养分状况是土壤肥力的重要影响因素<sup>[3]</sup>。

土壤养分是指由土壤提供的植物生长所必需的营养元素,能直接或经转化后被植物根系吸收的矿质营养成分<sup>[4-6]</sup>。通常讨论的土壤养分元素包括 N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、B、Mo、Zn、Mn、Cu 和 Cl 共 13 种元素,其中 N、P、K 为大量元素, Ca、Mg、S 为中量元素,其他为微量元素<sup>[7-9]</sup>。此外, Se、Ge、Si 等有益元素也对植物生长有良好的促进作用<sup>[10-13]</sup>。土壤养分是土壤肥力的物质基础,也是评价土壤自然肥力水平的重要内容,研究土壤养分元素的丰缺状况,对农业科学施肥有着重要参考意义<sup>[14-16]</sup>。本文以三江平原东北部的抚远县为研究对象,研究该地区耕作层土壤中主要养分元素的含量和分布特征以及丰缺现状,为充分了解当地土地资源现状,促进土地资源科学管护提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

黑龙江省抚远市行政隶属于佳木斯市管辖,地处中国最东部乌苏里江和黑龙江交汇的三角地带,为冲积平原地貌,面积约 6 047 km<sup>2</sup><sup>[17]</sup>。该区为寒温带大陆性季风气候,冬季漫长寒冷,夏季高温多雨,光照充足,地势平坦,耕地资源丰富,土质肥沃,是我国重要商品粮产地。研究区地层以第四系沉积覆盖为主,其中广泛分布为上更新统别拉洪河组,河流沿岸为第四系高低漫滩堆积层<sup>[18]</sup>。区内土壤类型以白浆土、沼泽土和草甸土为主,局部地区分布有暗棕壤、泥炭土和新积土,为广义寒地黑土区<sup>[19-20]</sup>。抚远市土地利用方式以耕地为主,其中北部多旱田,主要种植玉米、大豆,局部地区种植烤烟、甜菜等经济作物;南部以水田为主,主要种植水稻<sup>[21]</sup>。区内水系较为发育,分布有较大面积的沼泽湿地,地表水及地下水资源丰富。抚远市社会经济以农业为主,前锋农场、前哨农场、二道河农场等现代化农场发展建设良好,区内工业不发达,生态环境良好。抚远市是著名的边贸口岸城市,水运发达,通往周边县市的公路也较为发达,交通便利。

### 1.2 数据来源

本文研究所采用数据资料主要来源于“三江平原东部粮食主产区 1 : 250 000 土地质量地球化学调查”取得成果,项目采集样品主要为表层和深层土壤。本次研究样品为表层土壤取样,取样密度为每平方公里

1 件,以 1 : 50 000 km 网格为取样单元布设采样点,选择代表性土地利用方式采集样品,沼泽湿地区适当减小取样密度。样品采集避开道路、建筑物、垃圾堆等人为扰动明显地区,采用刻槽方式采集表层 0 ~ 20 cm 土壤,以保证土样上下的均匀性,50 m 范围内采 3 处以上多点取样,均匀混合成一件样品,去除植物残枝、砾石等杂物后,以四分法取 1 000 g 装入样品袋,详细记录采样点号、样袋号、坐标、样品颜色、质地及周边环境等信息。样品自然晾晒干燥后,分批次集中送至指定地点进行单样加工及样品组合,每 4 km<sup>2</sup> 为一个大格,组合成一件分析样品,送至具有专业资质的检测机构进行测试分析。

### 1.3 样品检测及数据分析

样品的分析测试工作由黑龙江省地质矿产实验测试研究中心完成,共完成分析测试表层土壤组合样品 1 538 件,分析测试了营养有益、有毒有害及酸碱度等 54 项元素指标,其中 K、Ca、Mg、Fe、Al 等主要造岩元素为氧化物形式,样品分析测试参照行业相关标准执行,本文讨论的 14 项元素指标采用的分析方法及检出限和精密度见表 1。

试验数据采用迭代循环剔除离群数据方法计算元素背景值,认定为该区表层土壤养分元素的背景值。采用 Excel、MapGIS67、ArcGIS10.2、GeoIPAS4.0 等应用软件对数据资料进行多元统计分析并编辑图件,统计研究区内土壤元素地球化学特征。以样品分析数据代表的大格作为基础评价单元,参照 DZ/T0295—2016《土地质量地球化学评价规范》<sup>[22]</sup>中土壤养分地球化学等级划分标准,进行土壤养分元素丰缺现状研究。引用规范中 Ca、Mg、Fe 以氧化物形式计,本文中以 CaO、MgO、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 讨论。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤养分元素地球化学参数特征

研究区表层土壤各养分元素地球化学参数特征见表 2,其中土壤有机质(SOM)含量采用土壤有机碳(SOC)含量乘以 Van Bemmelen 因数求得<sup>[23]</sup>。区内土壤有机质含量丰富,平均值达到 46.9 g/kg,最大值高达 182.7 g/kg,变异系数为 0.398,在研究区内分布不均匀;B、K 元素变异系数小于 0.15,在该区内呈均匀分布;Mo、Cu、Zn 及 CaO、MgO、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的变异系数介于 0.15 ~ 0.3,该区域内分布较均匀;而 Cl、Mn、N、P、S 5 种元素变异系数均大于 0.3,表明在区内分布不均匀,其中 Mn 元素变异较显著,可能存在局部异常区。

表 1 土壤样品养分元素指标分析及检出限和精密度

养分元素	分析方法	单位	分析方法检出限	分析方法精密度
B	等离子体发射光谱法	mg/kg	1	9.02
Cl	射线荧光光谱法	mg/kg	20	9.28
Cu	射线荧光光谱法	mg/kg	1	1.61
Mn	射线荧光光谱法	mg/kg	10	0.39
Mo	等离子质谱法	mg/kg	0.3	5.28
N	容量法	mg/kg	18	3.9
P	射线荧光光谱法	mg/kg	10	0.98
S	射线荧光光谱法	mg/kg	40	3.92
Zn	射线荧光光谱法	mg/kg	1	0.88
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	射线荧光光谱法	g/kg	0.4	0.29
MgO	射线荧光光谱法	g/kg	0.4	0.9
CaO	射线荧光光谱法	g/kg	0.2	0.53
K <sub>2</sub> O	射线荧光光谱法	g/kg	0.3	0.56
SOC	容量法	g/kg	1	7.3

表 2 研究区表层土壤养分元素含量统计

养分元素	全区					不同类型土壤元素含量平均值					
	最大值	最小值	平均值	标准离差	变异系数	草甸土	沼泽土	白浆土	新积土	暗棕壤	泥炭土
B	55.1	17	37.6	5.36	0.143	34.6	37.5	38.6	37.3	34.5	39.9
Cl	721	38	74	28.1	0.379	79.8	74.9	71.6	73.3	110.6	64.5
Cu	46.3	4.32	22.7	3.66	0.161	22.7	23.3	22.3	22.9	19.6	25.6
Mn	4 353	176	633	330	0.521	650	553	635	958	1 445	423
Mo	2.28	0.27	0.9	0.22	0.242	0.99	0.88	0.88	0.97	1.03	0.72
N	8.79	0.216	2.504	0.876	0.350	2.569	2.691	2.381	2.467	2.466	3.613
P	3	0.222	0.826	0.253	0.306	0.924	0.823	0.787	1.045	0.612	0.608
S	812	68.2	264	81.6	0.310	292	271	250	280	277	283
Zn	145	34.2	57.7	14.5	0.251	65.6	57.7	52.8	86.9	79.2	58.9
K	25.6	13.3	19.1	1.1	0.059	19.2	19.2	19	18.9	18.3	19.3
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	123.8	17.4	44.3	8.2	0.186	47.8	44.2	42.7	56.0	39.7	39.3
MgO	17.5	4.3	8.3	1.3	0.159	9.1	8.5	7.9	10.8	8.9	8.3
CaO	18.1	1.4	8.2	1.6	0.199	8.7	8.4	7.9	8.0	9.3	8.9
SOM	182.7	1.0	46.9	18.7	0.398	46.6	50.3	44.8	48.4	52.0	70.4

注：N、P、K、SOM 及氧化物单位为 g/kg，其他元素单位为 mg/kg。

研究区内发育 6 种土壤类型，各元素指标含量也有差异。白浆土区 N、S、Ca、Mg 及土壤有机质含量相对较低，这与白浆土地表黑土层较薄且有明显白浆化层阻碍养分交流有关。草甸土、沼泽土中大、中养分元素及有机质含量较丰富，腐殖土层较厚，且水分较充沛，适宜作物生长。暗棕壤主要分布于山林地区，表层土壤有机质含量丰富，这一区域母质层较浅，土壤中 Ca、Mg 等造岩元素氧化物含量较高。新积土主要分布在河滩地，其母质主要为河流沉积物，含砂砾石，Fe、Mn、Mg 等矿质元素含量较丰富。泥炭土分布在江河沿岸低洼区，

多为荒草地，长期积水发育形成泥炭层，有机质含量最为丰富。各土壤类型成因及成土母质不同，且土地利用方式存在差异，经地表自然或农耕活动干扰后，导致其中各元素含量差异。

2.2 土壤养分元素分布特征

元素地球化学图可直观反映元素的含量及分布特征，本次研究使用 GeoIPAS4.0 软件编制元素地球化学图，计算模型为幂指数加权，指数因子为 10，网格间距为 2 km，2.5 倍网格间距为搜索半径，图例采用 11 级累计频率分级。

2.2.1 大量养分元素及有机质 大量养分元素是

植物生长所必需且需要量相对较多的元素,本次主要讨论的大量养分元素为 N、P、K, 以及土壤肥力相

关的土壤有机质, 抚远地区土壤 N、P、K 及有机质含量分布特征见图 1。

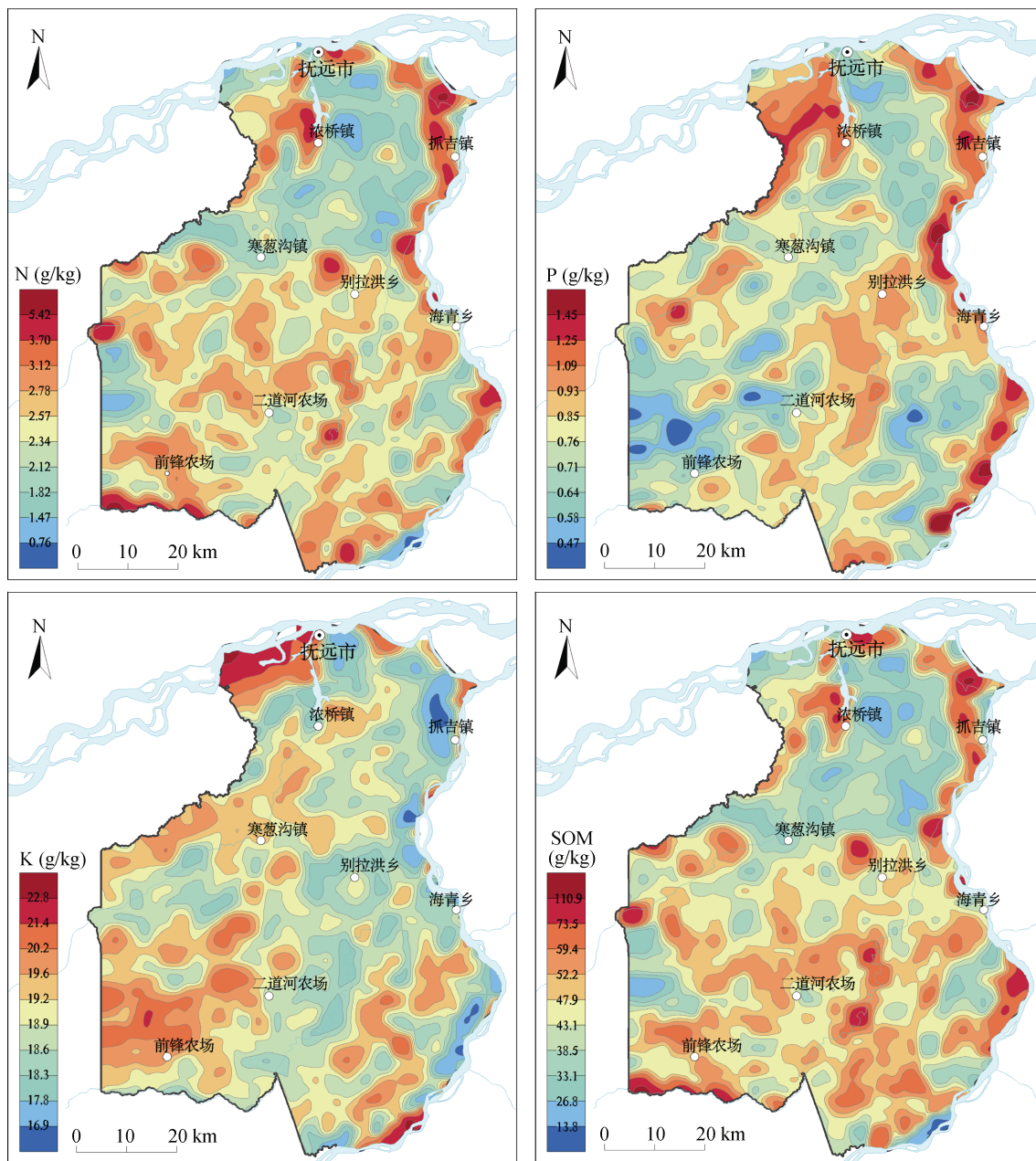


图 1 研究区表层土壤 N、P、K 及有机质含量图

研究区表层土壤中 N 元素分布不均匀, 含量主要在 1.63 ~ 3.33 g/kg(10% 和 90% 分位数, 以下同), 高含量区主要分布在通江、乌苏里江、别拉洪河沿岸部分地区及浓桥镇西部地区, 低含量区主要分布在北部通江乡-抓吉镇-寒葱沟镇一带地区。表层 P 元素含量主要在 0.55 ~ 1.09 g/kg, 高含量区主要分布在浓桥镇西部及通江、乌苏里江沿岸一带地区, 低含量区主要分布在西南部前锋农场及东南部石头山一带地区。该区表层土壤 K 元素分布较为均匀, 含量主要在 17.9 ~

20.4 g/kg, 高含量区主要分布在抚远镇-通江乡一带黑龙江沿岸地区及西南部前锋农场一带地区, 低含量区主要分布在乌苏里江、别拉洪河沿岸。该区表层土壤有机质分布不均匀, 含量主要在 28.4 ~ 63.6 g/kg, 总体呈现南高北低, 浓桥镇西部及浓江和乌苏里江下游沿岸地区也呈高背景分布。研究区内 N、P 和有机质呈较好正相关, 分布特征较为相似, 且均与 K 呈一定程度的负相关。研究区大面积农场区耕地由草甸沼泽开垦形成, 垦前水草丰茂, 中温带向寒温带过渡



的气候特征促进了土壤腐殖质的发育和累积,形成了有机质的高背景场分布,奠定了优质土壤肥力基础。

**2.2.2 中量养分元素** 在植物所必需的养分元素中需要量中等的元素有 Ca、Mg 和 S(图 2)。研究区表层土壤 Ca 元素含量以 CaO 计,含量主要在 6.6 ~ 10.1 g/kg,较高含量区主要分布在西北部黑龙江和南部与饶河县相接地区,其他地区呈较均匀分布。表层土壤中 Mg 元素含量以 MgO 计,含量主要在 7.2 ~

10.4 g/kg,北部和东部江河沿岸地区含量略高,其他地区较为均匀。研究区表层土壤中 S 元素分布不均匀,含量主要在 178 ~ 358 mg/kg,高背景场主要分布于浓桥镇及北部、东部江河沿岸地区,该区内 S 元素与有机质呈显著正相关,分布特征也较为相近。表层黑土中中量元素受流水作业影响较为明显,推测流水冲击夹带大量岩屑砂石在河漫滩堆积,岩屑中造岩元素含量较高,致使部分漫滩地带 Ca、Mg 呈现局部高背景。

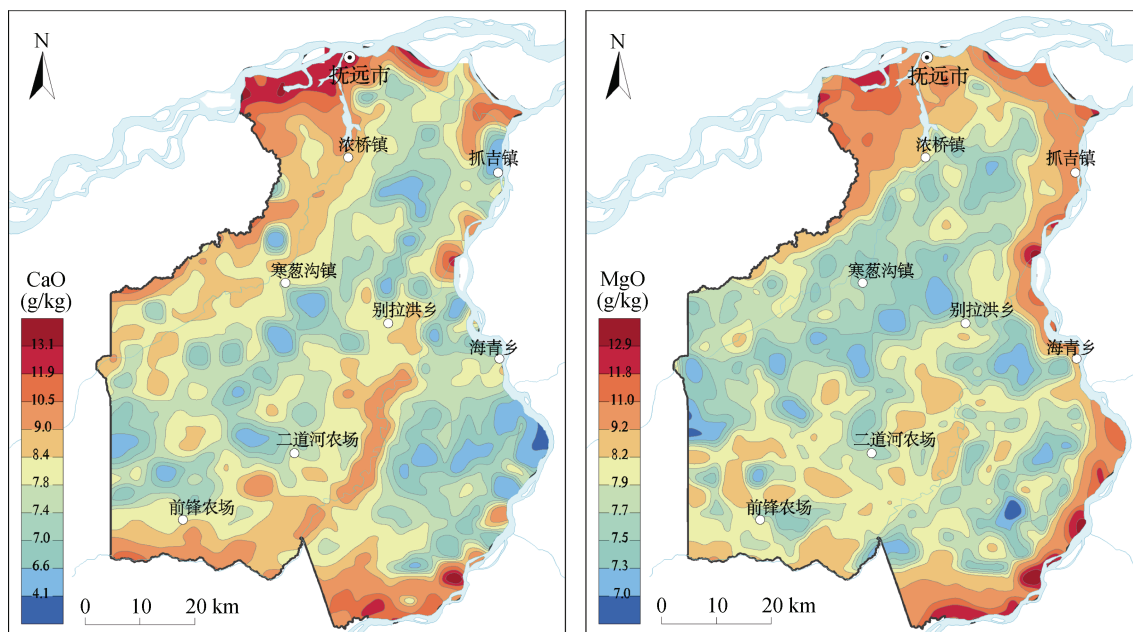


图2 研究区表层土壤 CaO、MgO 地球化学图

**2.2.3 微量养分元素** Fe、B、Mo、Zn、Mn、Cu、Cl 为微量养分元素,研究区部分微量元素分布特征见图 3。微量元素在土壤中含量较低,但在作物生长过程中起着重要作用,微量元素过量或缺乏都可能影响作物的产量与质量。抚远地区表层土壤中 Mo、Fe、Zn、Mn 元素相关较显著,彼此间相关系数均在 0.45 以上,地球化学分布特征较为相似,在东部北部江河沿岸一带地区含量较高,西南部略低。B 与其他元素呈负相关关系,元素总体呈北高南低分布特征,高背景场主要分布在西南前锋农场一带地区。Cu 元素总体呈北高南低,但抓吉镇—浓江一带呈高背景分布。Cl 元素分布不均匀,总体北高南低,高背景场分布于浓桥镇—抓吉镇以北地区,西南前锋农场一带呈低背景场分布。土壤母质是黑土层微量元素分布的主要因素,水系对部分元素有一定影响。

## 2.3 土壤养分元素丰缺状况

**2.3.1 单指标土壤养分地球化学评价** 参照 DZ/

T0295—2016《土地质量地球化学调查规范》中土壤养分地球化学等级划分标准(表 3),对土壤养分元素进行地球化学评价,可直观反映土壤中各养分元素的丰缺现状。

研究结果(图 4)可见,抚远地区土壤有机质含量丰富—较丰富区占全区 87.5%,中等区约占 5.9%,较缺乏—缺乏仅占 2.3%,且多分布于林地或沿江滩涂地区,农耕区有机质含量普遍富足,土壤肥力较好,大部分地区达到绿色食品产地土壤肥力分级中有机质含量 I 级标准。大量养分元素中,N 元素含量富足,丰富—较丰富区占全区 92.8%,仅 1.3% 为较缺乏—缺乏区;P 元素在约半数地区呈丰富—较丰富状态,近 1/3 为中等区,较缺乏—缺乏区占 14.5%,多分布于前锋农场—二道河农场一带地区;K 元素含量主要呈现适中状态,北部局部地区较丰富。中量养分元素中,Ca、Mg 元素以较缺乏为主;S 元素总体适中,S 丰富和 S 缺乏区均较小,中等含量区面积最大。微量养

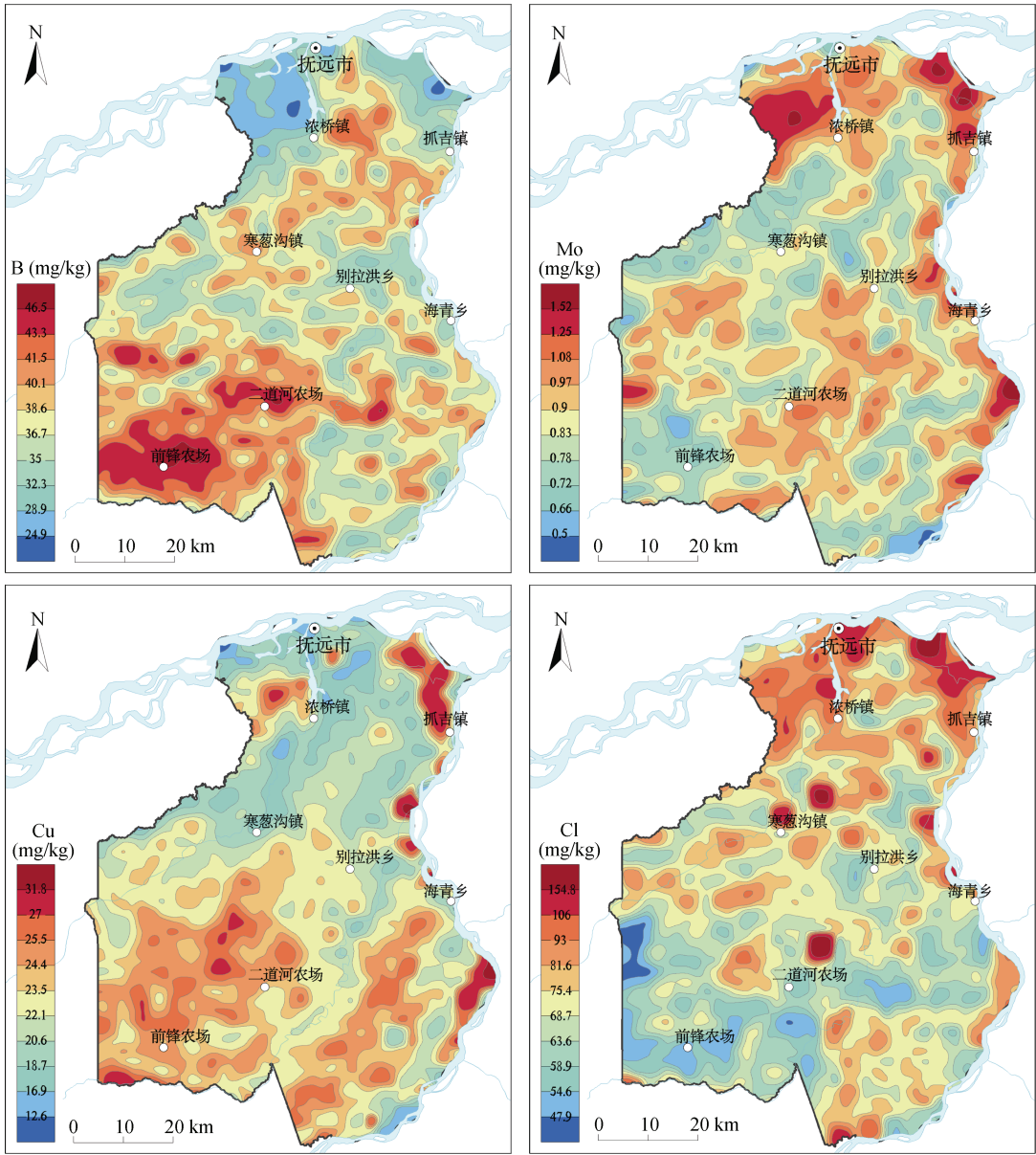


图 3 研究区表层土壤 B、Mo、Cu、Cl 地球化学图

表 3 土壤养分指标等级划分标准

养分元素	一等	二等	三等	四等	五等	上限值
	(丰富)	(较丰富)	(中等)	(较缺乏)	(缺乏)	
N(g/kg)	>2.0	1.5 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5	0.75 ~ 1.0	≤0.75	
P(g/kg)	>1.0	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	≤0.4	
K(g/kg)	>25	20 ~ 25	15 ~ 20	10 ~ 15	≤10	
SOM(g/kg)	>40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	≤10	
CaO(g/kg)	>55.4	26.8 ~ 55.4	11.6 ~ 26.8	4.2 ~ 11.6	≤4.2	
MgO(g/kg)	>21.5	17.0 ~ 21.5	12.0 ~ 17.0	7.0 ~ 12.0	≤7.0	
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	>53.0	4.60 ~ 53.0	41.5 ~ 46.0	34.0 ~ 41.5	≤34.0	
B(mg/kg)	>65	55 ~ 65	45 ~ 55	30 ~ 45	≤30	≥3 000
Mo(mg/kg)	>0.85	0.65 ~ 0.85	0.55 ~ 0.65	0.45 ~ 0.55	≤0.45	≥4
Mn(mg/kg)	>700	600 ~ 700	500 ~ 600	375 ~ 500	≤375	≥1 500
S(mg/kg)	>343	270 ~ 343	219 ~ 270	172 ~ 219	≤172	≥2 000
Cu(mg/kg)	>29	24 ~ 29	210 ~ 24	16 ~ 21	≤16	≥50
Zn(mg/kg)	>84	71 ~ 84	62 ~ 71	50 ~ 62	≤50	≥200

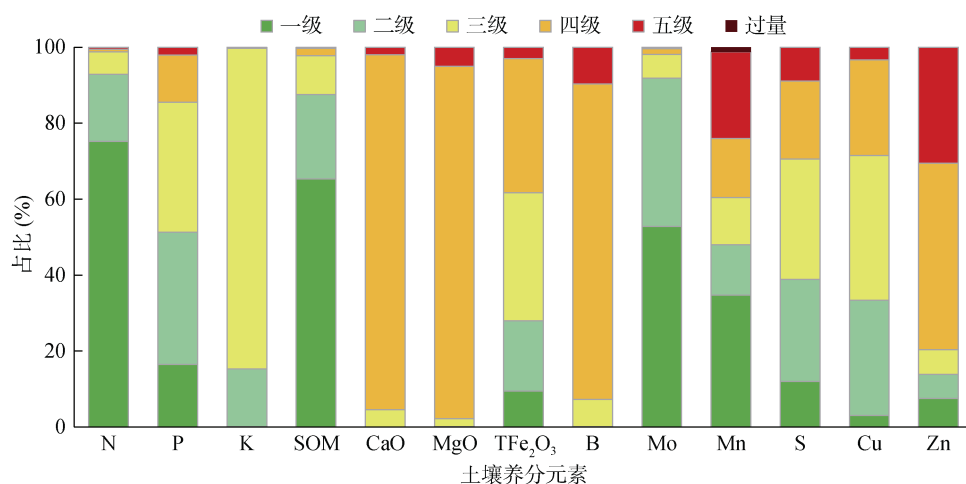


图4 研究区土壤养分元素各等级样品数占比

分元素中, B、Zn 元素以缺乏-较缺乏为主; Mo 元素主要呈丰富-较丰富状态; Cu 元素中等以上占全区 71.5%; Fe 元素中等以上占 61.6%; 而 Mn 元素丰富-较丰富占全区 48%, 中等约占 12.4%, 缺乏-较缺乏占 38.3%, 另有 1.3% 地区为 Mn 元素过量, 主要分布在北部抚远镇-浓江乡一带地区, 可能会对土地质量及农作物生长造成一定影响。在现代农业种植中可根据微量元素的丰缺情况适当补充施用微肥, 根据不同作物生长特性有针对性制定配肥方案, 提高综合肥力效应, 促进农业综合生产力提升。

**2.3.2 土壤养分地球化学综合评价** 在对土壤 N、P、K 单指标养分地球化学等级评价的基础上, 可计算土壤养分地球化学综合得分  $f_{\text{养综}}$  表示土壤养分地球化学综合等级, 直观显示土壤综合肥力质量。计算公式为:

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

式中:  $k_i$  表示 N、P、K 权重系数, 分别为 0.4、0.4、0.2;  $f_i$  表示 N、P、K 的单元素等级得分, 单指标评价为一等到五等所对应得分为 5 分到 1 分;  $f_{\text{养综}} \geq 4.5$  为一等,  $3.5 \sim 4.5$  为二等,  $2.5 \sim 3.5$  为三等,  $1.5 \sim 2.5$  为四等,  $< 1.5$  为五等。

经研究区土壤养分地球化学综合研究评价结果统计(图 5), 抚远市约 15.7% 面积土壤养分地球化学综合等级为一等, 二等分布面积最为广泛, 约占全区 61.4%, 三等约占 21.7%, 四等零星分布, 仅占约 1.2%, 无五等养分缺乏区域。该地区地貌主要为冲积平原, 土壤层较厚, 地表黑土层发育好, 腐殖质含量高, 土壤质地以黏壤土为主, 含长石及云母矿物不丰富, 矿物质风化和有机质分解释放 K 元素有限, K 元素不丰富影响了研究区土壤养分的综合等级。

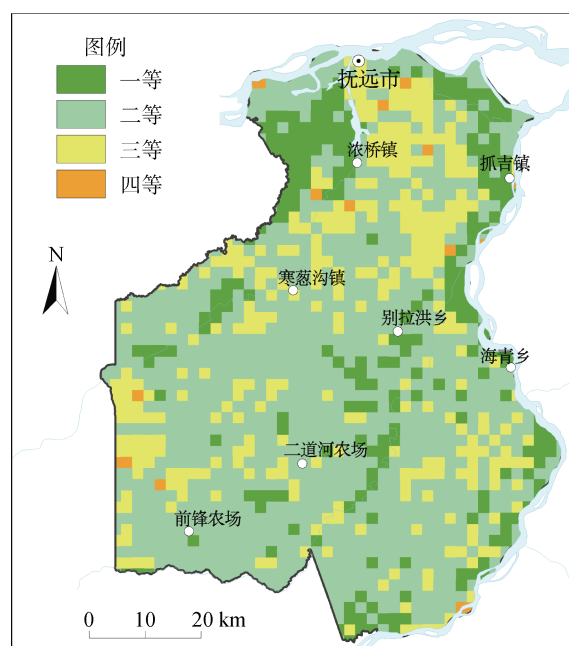


图5 研究区表层养分地球化学综合评价图

### 3 结论

1) 抚远市表层土壤元素含量及分布特征与土壤类型有关, 成土母质及土壤成因不同造成表层土壤中元素含量差异, 山地残坡积母质发育的暗棕壤地区 Fe、Mg 等矿质元素含量丰富, 而平原沼泽土、草甸土、泥炭土分布区腐殖质层发育良好, 有机质含量丰富。研究区水系发育, 沿岸土壤中 P、K、Mg 等元素含量受河流影响明显。

2) 研究区土壤有机质较为富足, N、P、Mo、Mn 含量较丰富, 零星地区 Mn 元素过量, K 含量较适中, Ca、Mg、B、Zn 较缺乏。根据各元素丰缺状况建议在农耕种植中适量补充施用硼肥等微量元素肥料, 以提高农业综合生产力。

3)研究区土壤养分地球化学综合等级一等、二等共占全区 77.1%, 四等仅个别地区零星分布, 研究区大部分地区土壤养分丰富, 土壤肥力良好。

### 参考文献:

- [1] 韩晓增, 李娜. 中国东北黑土地研究进展与展望[J]. 地理科学, 2018, 38(7): 1032–1041.
- [2] 张之一. 关于世界黑土分布的探讨[J]. 黑龙江农业科学, 2010(4): 59–60.
- [3] 张森, 刘俊杰, 刘株秀, 等. 黑土区农田土壤氮循环关键过程微生物基因丰度的分布特征[J]. 土壤学报, 2022, 59(5): 1258–1269.
- [4] 孙晓飞. 浅谈植物生长发育所需几种必要元素的重要性[J]. 现代农业, 2020(7): 43–44.
- [5] 姜冰, 王松涛, 孙增兵, 等. 山东省青州市土壤养分元素有效量及其影响因素[J]. 土壤, 2021, 53(6): 1221–1227.
- [6] Antoniadis V, Levizou E, Shaheen S M, et al. Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—a review[J]. Earth-Science Reviews, 2017, 171: 621–645.
- [7] 刘希瑶, 刘澎, 刘驰. 典型黑土中有机质和养分元素的变化分析[J]. 地质与资源, 2022, 31(4): 500–507.
- [8] 徐杰, 张亚, 王浩宇, 等. 滇中元谋土壤养分元素分布特征及异常分析[J]. 西南农业学报, 2022, 35(5): 1151–1158.
- [9] Wang S H, Xu X L, Huang L, et al. Spatial and temporal variations of soil nutrients of cropland in Northeast China from the 1980s to the 2010s[J]. The Journal of Applied Ecology, 2023, 34(4): 865–875.
- [10] 丁庭康, 周卫军, 岳晴晴, 等. 宜章县耕地土壤硒含量空间分布特征及成因[J]. 土壤, 2023, 55(3): 626–633.
- [11] 钟庆祥, 张豫, 陶贞, 等. 土壤—植物系统硒的迁移转化机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2023, 38(1): 44–56.
- [12] 王学寅, 林道秀, 全斌斌, 等. 温州市农用地土壤镉元素地球化学特征、影响因素及开发利用远景评价[J]. 土壤, 2023, 55(2): 409–418.
- [13] 苏素苗, 杨春雷, 饶雄飞, 等. 硅对植物抗逆性影响的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 160–168.
- [14] 万有强, 陈强, 李雪梅, 等. 水城县红阳猕猴桃主产区的土壤肥力及微量元素含量评价[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(10): 107–110.
- [15] 王玉军, 欧名豪. 徐州农田土壤养分和重金属含量与分布研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1438–1450.
- [16] 刘娟, 张乃明, 邓洪. 勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(1): 79–86.
- [17] 郑伟, 周建英. 黑龙江省地图册[M]. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2013.
- [18] 祁福利, 张孟才, 鲁守刚, 等. 三江平原地区第四纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- [19] 黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [20] 张凤荣, 马步洲, 李连捷. 土壤发生与分类学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992.
- [21] 张培育. 黑龙江省抚远县耕地地力评价[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [22] 中华人民共和国国土资源部. 土地质量地球化学评价规范: DZ/T 0295—2016[S]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [23] 王飞, 秦方锦, 吴丹亚, 等. 土壤有机质和有机碳含量计算方法比较研究[J]. 农学学报, 2015, 5(3): 54–58.