

doi: 10.11720/wtyht.2023.1044

包凤琴,成杭新,永胜,等.土默特左旗农田土壤环境质量综合评价及特色农业开发建议[J].物探与化探,2023,47(2):487-495.http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1044

Bao F Q, Cheng H X, Yong S, et al. The comprehensive evaluation of farmland soil environmental quality and suggestions on the development of agriculture with distinctive local features in Tumed Left Banner, Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(2): 487-495. http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1044

# 土默特左旗农田土壤环境质量综合评价及 特色农业开发建议

包凤琴<sup>1,2</sup>, 成杭新<sup>2</sup>, 永胜<sup>3</sup>, 杨宇亮<sup>1</sup>, 马志超<sup>1</sup>, 赵丽娟<sup>1</sup>

(1. 内蒙古自治区地质调查研究院 内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010020; 2. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000; 3. 内蒙古警察职业学院, 内蒙古呼和浩特 010051)

**摘要:** 土地是人类生存和社会经济稳定发展的重要基础资源, 其中耕地是土地资源的重要组成部分, 摸清耕地质量“家底”, 全面掌握耕地质量现状, 对于实现耕地土地资源的科学合理利用和绿色生态农业的可持续发展具有重要指导意义。本文基于 1:5 万土地质量地球化学调查与评价, 对获得的土壤有益营养元素和有毒有害元素含量进行了土地质量评价和级别划分, 分析了土壤中元素分布特征及其控制因素。结果发现, 研究区土壤主要由黄河冲洪积物形成, 以农牧业为主, 未受重金属污染, 养分较丰富, 一、二等优良土壤占比达 88.85%, 并且区内大部分土壤中的硒含量适量, 建议富硒土地资源纳入政府土地利用规划, 打造特色农业。

**关键词:** 环境质量; 综合评价; 特色农业; 农田土壤; 土默特左旗

**中图分类号:** P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2023)02-0487-09

## 0 引言

土地是珍贵的自然资源<sup>[1]</sup>, 是植物生长的载体和养分供给来源, 也是农业最基本的生产要素<sup>[2-4]</sup>。土地质量关系到农产品质量, 直接影响动植物和人类健康<sup>[5-7]</sup>。合理开发利用土地资源, 发挥有限土地的最大生产潜力, 对土地可持续利用具有重要现实意义<sup>[8-11]</sup>。

1:5 万土地质量地球化学调查评价是以农用地土壤为核心, 以生态地球化学理论为指导<sup>[12-14]</sup>, 以土地合理利用为目标, 依据土壤有益营养元素、有毒有害元素及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, 进行土地质量级别评定和级别划分, 从而确定土地的价值<sup>[15-19]</sup>。

内蒙古自治区河套地区通过近十几年陆续开展的土地质量地球化学调查系列工作, 查明了河套地区土地质量基本情况<sup>[20-21]</sup>。在此基础上, 本次工作选择了土默特左旗农田为重点富硒耕地调查与开发区, 开展了大量大比例尺土地质量地球化学调查与评价工作。以本次调查数据为基础, 第二次全国土地调查的土地利用现状图斑为评价单元, 对土默特左旗土壤养分和环境元素进行了评价, 深入研究耕地质量状态, 全面掌握耕地质量现状, 对于实现耕地土地资源的科学合理利用和绿色生态农业的可持续发展具有重要指导意义<sup>[22-24]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区中部, 大青山南麓的

收稿日期: 2022-02-06; 修回日期: 2022-08-09

基金项目: 内蒙古自治区自然资源厅土地专项资金

第一作者: 包凤琴(1979-), 女, 博士后, 高级工程师, 研究方向为环境地球化学。Email: 541206780@qq.com

通讯作者: 成杭新(1964-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为地球化学。Email: 916679036@qq.com

土默特川平原上,行政区隶属于呼和浩特市土默特左旗管辖(见图 1)。区内海拔在 1 000~1 100 m 之间,北部为阴山山脉中段的大青山区,海拔 1 300~2 200 m。研究区为温带大陆性气候,冬季长而寒冷,夏季短而炎热,寒暑变化剧烈,降雨量少,蒸发量

大,气候干燥,无霜期短。研究区土地利用类型主要有水浇地、旱地、园地、林地、牧草地、盐碱地和村庄。区内土地肥沃,农业生产条件优良,具有悠久的农业生产历史。经济以农业为主,主要作物有小麦、苜麦、玉米、高粱和谷子等。

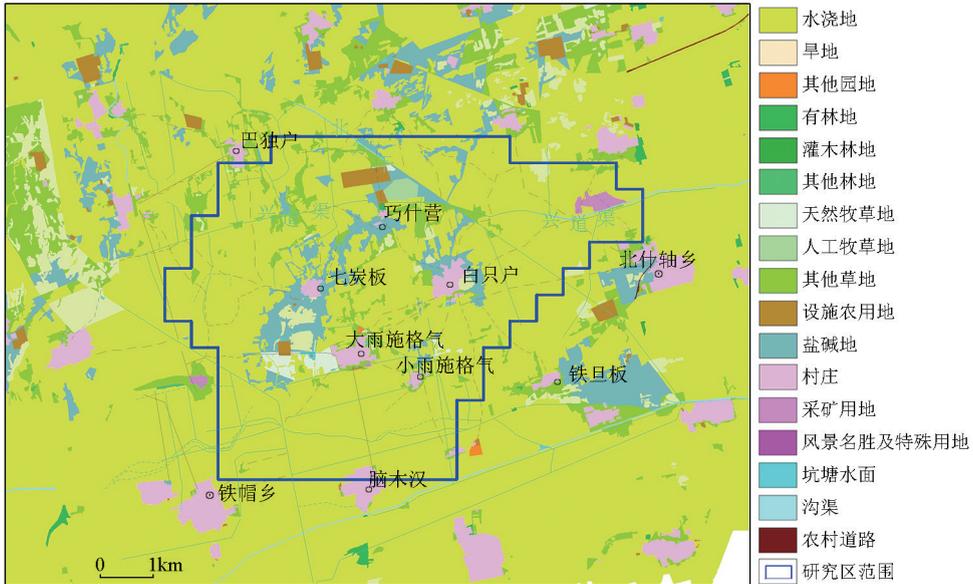


图 1 土默特左旗土地利用现状

Fig. 1 Land use status map of Tumud Left Banner

### 1.2 样品采集与处理

按每平方千米为一个采样大格进行编号,每大格分为 a、b、c、d 4 个小格,每小格采集 2 件样品,样品在小格内均匀布置,采样密度为 8 个点/km<sup>2</sup>。样品按大格号加 a、b、c、d 编号。在采样小格区间内,根据地块分布情况,采集主要的农田地块,3~5 点组合为一件样品。

用不锈钢铲挖掘 20 cm 深方形坑,采集 0~20 cm 表层土壤。用木铲将与不锈钢铲接触部分的土壤去掉,选择未接触不锈钢铲的部分装入布样袋中,样品质量 1 kg。回到驻地后,过-20 目粒级尼龙筛混匀后保存。本次研究共采集土壤样品 332 件,具体采样点位详见图 2。

### 1.3 样品分析与测定

本次样品测试工作由内蒙古地质矿产科技有限责任公司承担,样品分析采用 X 荧光光谱法、等离子体质谱法、发射光谱法、原子荧光光谱法和离子选择性电极法 (ISE) 等方法组合的配套方案,完成了 13 个指标(元素)的测定(见表 1)。样品分析方法检出限需以单个元素的报出率来衡量,报出率 100%表示方法检出限完全满足要求。准确度和精密度控制采用分析国家一等标准物质方法进行控

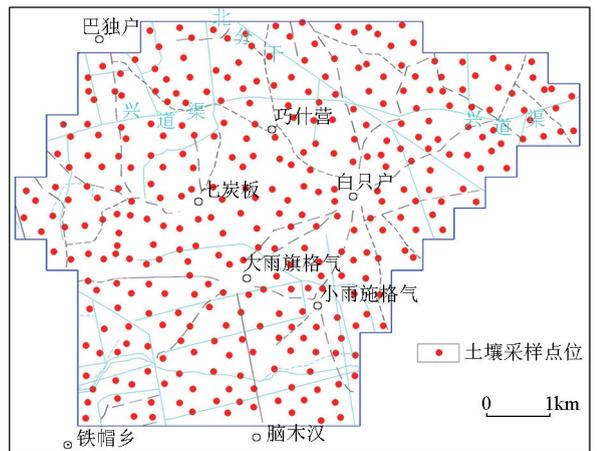


图 2 采样点位分布

Fig. 2 Bitmap of sampling points

制,在每 50 件样品中,在预先留出空号内插入 4 件不同的国家一等标准物质(土壤)(GSS-3、GSS-5、GSS-20、GSS-21),与样品一起分析,分别计算 4 件标准物质测量值与监控值之间的对数偏差( $\Delta \lg C$ ),保证符合对数差允许限要求,一次原始合格率要求  $\geq 98\%$ 。样品检出限、准确度和精密度监控样合格率统计见表 1。从表 1 看出,本次研究区样品分析方法检出限、准确度和精密度( $\lambda$ )均满足《土地质量

表 1 分析配套方案、检出限、准确度和精密度控制监控样合格率统计

Table 1 Analysis supporting scheme, detection limit, accuracy and precision control, statistical table of qualified rate of monitoring samples

指标	分析方法	方法检出限/ $10^{-6}$	报出率/%	$\Delta\lg C$ 平均值	$\Delta\lg C$ 合格率/%	$\lambda$ 合格率/%	RSD/%
As	AFS	0.6	100	0.008	100	100	1.4
Cd	ICP-MS	0.03	100	0.032	100	100	3.73
Hg	AFS	0.0005	100	0.019	100	100	2.14
Pb	ICP-MS	2	100	0.018	100	100	1.23
Cr	XRF	5	100	0.036	100	100	4.43
Cu	XRF	1	100	0.037	100	100	3.62
Ni	XRF	2	100	0.025	100	100	4.38
Zn	XRF	2	100	0.04	100	100	4.51
N	TCD	20	100	0.025	100	100	2.52
P	XRF	8	100	0.024	100	100	4.48
K <sub>2</sub> O	XRF	0.03*	100	0.034	100	100	4.06
Corg	VOL	0.1*	100	0.042	100	100	6.95
Se	AFS	0.01	100	0.035	100	100	3.24
pH	ISE	0.1**					

注:“\*”表示计量单位为 $10^{-2}$ ;“\*\*”表示无量纲。

地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)<sup>[25]</sup> 规范要求。

## 1.4 评价与制图方法

### 1.4.1 养分元素分级标准及划分方法

土壤中有机质、氮、磷、钾全量分级标准见《土壤质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)<sup>[25]</sup>

中“土地质量地球化学评价的土壤氮、磷、钾等养分指标全量与土壤硒等级划分标准值”(见表 2),其中有机质含量以有机碳(Corg)含量乘以转换系数 1.724 获得。参照表 2 进行土壤单指标养分地球化学等级划分。

表 2 土壤氮、磷、钾全量及硒等级划分标准

Table 2 Total nitrogen, phosphorus and potassium in soil and grading standard of selenium

指标	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五等(缺乏)
$w(\text{全氮})/10^{-3}$	>2.00	>1.50~2.00	>1.00~1.50	>0.75~1.00	≤0.75
$w(\text{全磷})/10^{-3}$	>1.0	>0.8~1.0	>0.6~0.8	>0.4~0.6	≤0.4
$w(\text{全钾})/10^{-3}$	>25	>20~25	>15~20	>10~15	≤10
$w(\text{有机质})/10^{-3}$	>40	>30~40	>20~30	>10~20	≤10
指标	缺乏	边缘	适量	高	过剩
$w(\text{Se})/10^{-6}$	≤0.125	0.125~0.175	0.175~0.40	0.40~3.0	>3.0

土壤养分地球化学综合得分 $f_{\text{养综}}$ 计算公式如下所示,土壤养分地球化学综合等级划分见表 3。

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

式中: $f_{\text{养综}}$ 为土壤氮、磷、钾评价总得分, $1 \leq f_{\text{养综}} \leq 5$ ;  $K_i$ 为氮、磷、钾权重系数,分别取 0.4、0.4 和 0.2; $f_i$ 为土壤氮、磷、钾的单元数等级得分,单指标评价结果为五等、四等、三等、二等、一等时所对应的 $f_i$ 得分分别对应 1 分、2 分、3 分、4 分、5 分。

表 3 土壤养分地球化学综合等级划分

Table 3 Comprehensive classification table of soil nutrient geochemistry

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

### 1.4.2 土壤环境地球化学等级划分

土壤质量地球化学评价的土壤中砷、镉、铬、铅、

汞、镍、铜、锌的环境质量等级划分标准取 GB 15618—2018 中风险筛选值(表 4)<sup>[26]</sup>。

根据土壤污染调查结果,按照《土壤质量地球

表 4 农用地土壤污染风险筛选值

Table 4 Screening value of soil pollution risk for agricultural land

污染物项目	风险筛选值			
	pH≤5.5	5.5<pH≤6.5	6.5<pH≤7.5	pH>7.5
$w(\text{Cd})/10^{-9}$	300	300	300	600
$w(\text{Hg})/10^{-9}$	1300	1800	2400	3400
$w(\text{As})/10^{-6}$	40	40	30	25
$w(\text{Pb})/10^{-6}$	70	90	120	170
$w(\text{Cr})/10^{-6}$	150	150	200	250
$w(\text{Cu})/10^{-6}$	50	50	100	100
$w(\text{Ni})/10^{-6}$	60	70	100	190
$w(\text{Zn})/10^{-6}$	200	200	250	300

注:研究区内农田均为旱地。

化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),以污染指数法等方法对土壤环境地球化学等级进行评价。

污染指数法可以全面反映各污染物对土壤的不同作用,并突出高浓度污染物对环境质量的影响。土壤中污染物指标  $i$  的单项污染指数  $P_i$  计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: $C_i$  为土壤中污染物指标  $i$  的实测值; $S_i$  为土壤中污染物指标  $i$  在 GB 15618—2018 中给出的风险筛选值。土壤单项污染指数环境地球化学等级划分界限值见表 5。

土壤环境地球化学综合等级划分方法为在单指标土壤环境地球化学等级划分基础上,每个评价单

表 5 土壤环境地球化学等级划分

Table 5 Classification of soil environmental geochemistry

等级	一等	二等	三等	四等	五等
土壤环境	$P_i \leq 1$ 清洁	$1 < P_i \leq 2$ 轻微污染	$2 < P_i \leq 3$ 轻度污染	$3 < P_i \leq 5$ 中度污染	$P_i \geq 5$ 重度污染

元的土壤地球化学综合等级等同于单指标划分出的环境地球化学等级最差的等级。

### 1.4.3 土壤质量地球化学综合等级

按《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中土壤质量地球化学综合等级划分要求(表 6),对研究区土壤养分地球化学等级、土壤环境地球化学等级进行叠加分析,进而对研究区土壤质量地球化学综合等级进行划分<sup>[26]</sup>。

表 6 土壤质量地球化学综合等级表达与含义

Table 6 Graphical representation and meaning of soil quality geochemical comprehensive grades

等级	清洁	轻微污染	轻度污染	中度污染	重度污染	含义
丰富	一等	三等	四等	五等	五等	一等为优质,表明土壤环境清洁,土壤养分丰富至较丰富;
较丰富	一等	三等	四等	五等	五等	二等为良好,表明土壤环境清洁,土壤养分中等;
中等	二等	三等	四等	五等	五等	三等为中等,表明土壤环境清洁,土壤养分较缺乏或土壤环境较轻微污染,土壤养分丰富至较缺乏;
较缺乏	三等	三等	四等	五等	五等	四等为差等,表明土壤环境清洁或轻微污染,土壤养分缺乏或土壤环境轻度污染,土壤养分丰富至缺乏或土壤盐渍化等级为强度;
缺乏	四等	四等	四等	五等	五等	五等为劣等,表明土壤环境中度或重度污染,土壤养分丰富至缺乏或土壤盐渍化等级为盐土

### 1.4.4 制图方法

根据分析测试的原始数据,利用 MapGIS 软件中的三角剖分功能制作了地球化学图件,保证了图件的原始性、真实性与完整性。由于采样点分布不均匀,用非均匀分布的原始数据成图,影响了图件的美观度,部分图件出现了尖角等现象。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤酸碱度 (pH) 特征

pH 值会影响重金属、肥力及微量元素在土壤中的迁移转化,并进而影响其生物迁移,故研究土壤 pH 特征具有重要意义。

研究区地处中温带,为大陆性气候,平均年降雨量 250~400 mm,雨量集中在夏季,蒸发量是降水量的 5 倍,因此造成土壤中的盐分受蒸发作用的影响逐渐在地表富集,形成碱性土壤特征。研究区内土壤 pH 值范围为 7.08~10.37,平均值为 8.26,按《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中土壤酸碱度 (pH) 分级标准,将区内土壤酸碱度划分

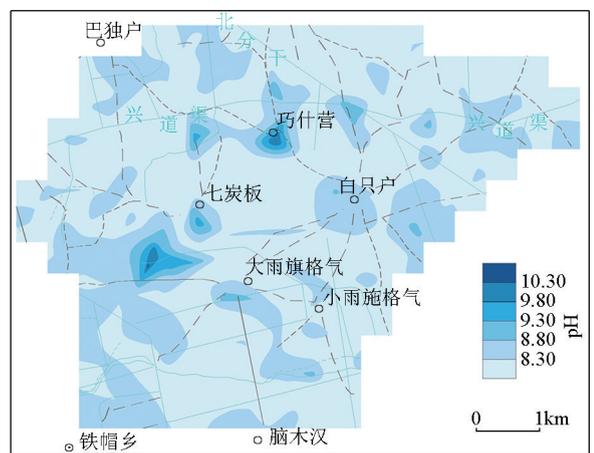


图 3 土壤酸碱度 (pH) 分布

Fig. 3 Soil pH distribution

为 5 个等级,其中碱性及强碱性土壤占工作区面积的 99.7%,其余为中性土壤,详见图 3。

### 2.2 土壤养分元素地球化学评价

土壤养分是指由土壤提供的植物生长所必需的营养元素。土壤中能直接或经转化后被植物根系吸收的矿质营养养分包括有机质、氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、硒 (Se) 等,土壤养分的丰缺程度及供应能力直

接影响作物的生长发育和产量。了解土壤养分元素的地球化学特征,客观分析土壤的养分水平、养分的空间分布规律,正确定位土壤的肥力水平,对于评价土壤养分质量并提出合理的施肥建议,充分发挥土壤的潜力具有重要的意义。

表 7 土壤养分指标特征值及分级统计

Table 7 Characteristic values and classification statistics of soil nutrient indicators

指标	最大值/ 10 <sup>-3</sup>	最小值/ 10 <sup>-3</sup>	均值/ 10 <sup>-3</sup>	标准差/ 10 <sup>-3</sup>	变异 系数	丰富		较丰富		中等		较缺乏		缺乏	
						样品数	比例/%								
全磷	1.80	0.62	0.83	0.14	0.17	27	8.1	148	44.6	157	47.3	0	0	0	0
全钾	31.20	22.30	25.23	1.18	0.05	1	0.3	280	84.3	51	15.4	0	0	0	0
全氮	2.90	0.20	1.15	0.36	0.31	5	1.5	39	11.7	147	44.3	103	31	38	11.4
有机质	45.70	7.60	21.36	5.78	0.27	2	0.6	25	7.5	170	51.2	127	38.3	8	2.4

磷是植物生长的主要营养元素,其储量和供给状况反应土壤的肥力,其含量直接影响农作物的产量。同时,磷肥中镉、氟及其他重金属含量均较高,虽然肥料中符合国家标准,但是曾希柏等<sup>[27]</sup>研究表明,长期施用会增加土壤重金属含量,导致农作物镉的超标。本次研究发现,区内土壤中磷含量中等偏高,丰富和较丰富比例占 52.7%,中等比例占 47.3%,建议减少磷肥的施入。

钾是植物生长的主要营养元素,其含量也是评价土壤肥力的重要指标之一,其含量高低直接影响农作物的生长发育、产量和质量,也是合理施用钾肥的重要依据。区内土壤钾的含量普遍偏高,丰富和较丰富比例占 84.6%,不存在“较缺乏”和“缺乏”的地区,建议研究区内减少钾肥的施入。

氮是植物生长的主要营养元素,其土壤中氮含量直接影响农作物的产量。土壤中的氮绝大多数是以有机态存在的,有机氮在耕作等一系列条件下,经过土壤微生物的矿化作用,转化为无机态氮供作物吸收利用。土壤中有有机氮与无机氮的总和称为土壤

## 2.2.1 土壤养分元素地球化学特征

以《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中“土地质量地球化学评价的土壤氮、磷、钾等养分指标全量等级划分标准”,将研究区土壤养分地球化学等级划分为 5 等,见表 7。

全氮。土壤中的全氮含量代表着土壤氮素的总贮量和供氮潜力。因此,全氮含量与有机质一样是土壤肥力的主要指标之一。土壤有机质含量是土壤肥力的另一个重要指标,与土壤氮元素供应状况相关,其高低反映了土壤的熟化程度,对土壤的理化性质如质地、缓冲性、供肥保肥性等具有重要的影响,是各种营养元素特别是碳和氮的重要来源,同时对土壤中的多种元素如磷和锌等具有活化作用。一般来说,对于有机质含量低于 1.2% 的土壤,在施肥中要适当增加有机肥的比重,补充土壤有机质的不足。

研究区内全氮和有机质含量均比较低,分布特征相似,“缺乏”和“较缺乏”区主要分布在巴独户村、巧什营村、北什轴乡、七炭板村周边及白只户村东部地区,这些地区需适度施加氮肥和有机肥。

## 2.2.2 土壤硒地球化学特征

研究区土壤中硒元素以《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中“土壤硒等级划分标准值”作为分级标准,划分结果详见表 8。

表 8 土壤硒地球化学特征值及分级统计

Table 8 Geochemical characteristic values and classification statistics of soil selenium

元素	最大值/ 10 <sup>-6</sup>	最小值/ 10 <sup>-6</sup>	均值/ 10 <sup>-6</sup>	标准差/ 10 <sup>-6</sup>	变异 系数	缺乏		边缘		适量		高		过剩	
						样品数	比例/%								
Se	0.58	0.07	0.32	0.08	0.25	2	0.6	9	2.7	281	84.6	40	12	0	0

区内硒含量范围为(0.07~0.58)×10<sup>-6</sup>,均值为 0.32×10<sup>-6</sup>,变异系数<0.3,表明硒分布均匀,大部分土壤中的硒含量适量(图 4),其适量比例占研究区总面的 84.6%,高含量区占 12%,边缘区占 2.7%,缺乏区占 0.6%。

## 2.2.3 土壤养分地球化学综合等级

研究区土壤养分地球化学综合等级见表 9 和图

5。从表 9 和图 5 看出,区内大部分地区土壤养分较丰富,一、二、三等养分适量区占研究区面积的 89.16%,其中二等以上土壤养分丰富区面积占 43.68%,四等区域主要为氮和有机质相对缺乏。研究区土壤主要由黄河冲洪积物形成,土壤较肥沃,大部分地区养分较丰富,土壤有机质含量与土壤氮元素供应状况相关。

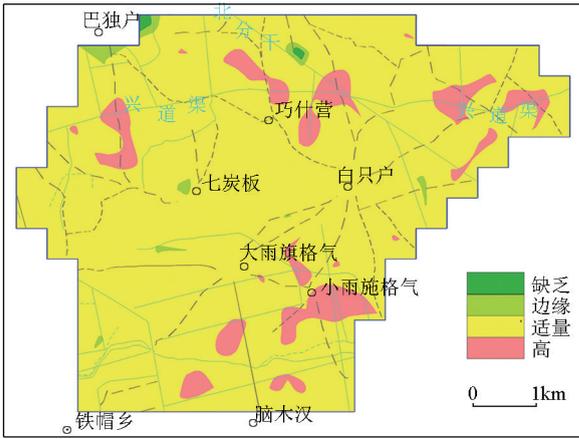


图4 土壤硒等级划分

Fig. 4 Classification of selenium levels in soil

表9 土壤养分地球化学综合等级划分统计

Table 9 Statistical of comprehensive grade classification of soil nutrient geochemistry

等级	一等	二等	三等	四等	五等
样品数	13	132	151	36	0
比例/%	3.92	39.76	45.48	10.84	0
面积/km <sup>2</sup>	1.57	15.90	18.19	4.34	0

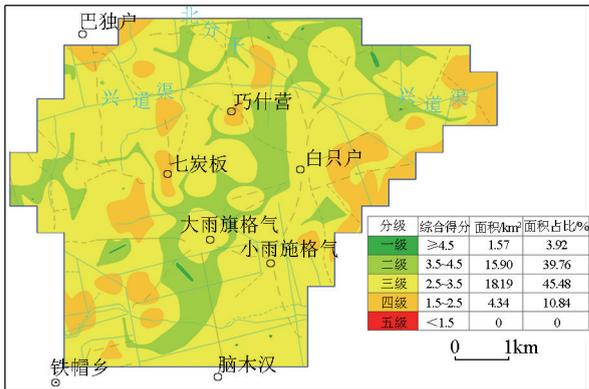


图5 土壤养分地球化学综合等级划分

Fig. 5 The comprehensive grading map of soil nutrient geochemistry

表10 重金属元素单指标地球化学等级划分

Table 10 Classification of single index geochemical grades of heavy metal elements

元素	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数	一等		二等		三等		四等		五等	
						样品数	比例/%								
Cd	0.62	0.08	0.15	0.04	0.27	331	99.7	1	0.3	0	0	0	0	0	0
Hg	282.14	9.89	25.92	16.09	0.62	332	100	0	0	0	0	0	0	0	0
As	16.25	3.38	9.78	1.89	0.19	332	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	44.40	12.50	29.52	5.74	0.19	332	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	51.50	15.24	21.68	2.74	0.13	332	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	89.60	45.50	71.11	8.16	0.12	332	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	1008.40	34.40	77.23	52.78	0.68	331	99.7	1	0.3	0	0	0	0	0	0
Ni	45.90	15.10	31.50	5.20	0.17	332	100	0	0	0	0	0	0	0	0

注:样品数为332个;Hg含量单位为10<sup>-9</sup>,其余为10<sup>-6</sup>。

### 2.3 土壤环境地球化学评价

本次工作中所指的土壤环境指标,主要是指与植物的生长发育和人体健康直接或间接相关的Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni等8项重金属元素;同时,由于pH值的高低影响作物对有害元素的吸收,故将其也作为一项土壤环境指标。查清土壤中8项重金属元素含量范围、赋存状态和影响因素对于保证粮食品质安全生产具有重要的指导意义。

#### 2.3.1 土壤重金属等有害元素地球化学特征

将研究区土壤中Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni等8项重金属元素参考《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018),依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中土壤污染物的单项污染指数 $P_i$ 及土壤环境地球化学等级划分界限,进行8项重金属元素土壤环境地球化学等级划分,结果见表10。

从表10可以看出,研究区内土壤重金属环境指标总体显示优良,仅有极个别样品出现含量偏高,构成土壤轻微污染。研究区仅有一件样品Cd和Zn呈轻微污染,其余99.7%的样品均为清洁土壤,表明整个研究区内土壤未受重金属污染。

#### 2.3.2 土壤环境地球化学质量综合等级

按《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),在单指标土壤环境地球化学等级划分基础上,每个评价单元的土壤环境地球化学综合等级等同于单指标划分出的环境等级最差的等级。通过这种方法对研究区土壤环境地球化学等级进行划分(表11和图6)。

通过以上分析可以看出,研究区内大部分地区土壤环境质量为清洁,土壤未受重金属污染,这与该地区工业化程度低,主要以农牧业为主有直接的关系。

表 11 研究区土壤环境地球化学综合等级划分

Table 11 Comprehensive classification of soil environmental geochemistry in the study area

等级	一等 (清洁)	二等(轻 微污染)	三等(轻 度污染)	四等(中 度污染)	五等(重 度污染)
样品数	331	1	0	0	0
比例/%	99.72	0.3	0	0	0

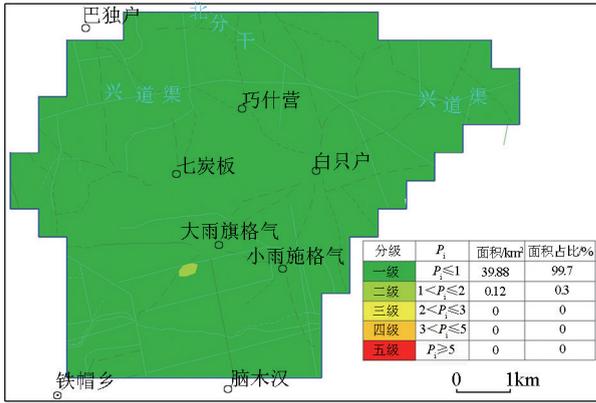


图 6 土壤环境地球化学质量综合等级划分

Fig. 6 The comprehensive grading map of soil environmental geochemical quality

2.4 土地质量地球化学评价

按《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中土壤质量地球化学综合等级划分要求,对研究区土壤养分地球化学等级、土壤环境地球化学等级进行叠加分析,进而对土壤质量地球化学综合等级进行划分。研究区土壤质量地球化学综合等级划分见表 12 和图 7。

表 12 土壤质量地球化学综合等级划分

Table 12 The comprehensive classification of soil quality and geochemistry

等级	一等	二等	三等	四等	五等
样品数	144	151	37	0	0
比例/%	43.37	45.48	11.14	0	0
面积/km <sup>2</sup>	17.35	18.19	4.46	0	0

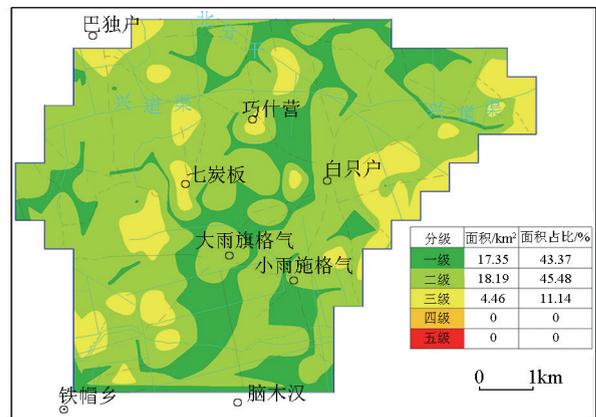


图 7 土壤质量地球化学综合等级划分

Fig. 7 The comprehensive grading map of soil quality geochemistry

可以直观地看出,研究区内一、二等优良土壤占比达 88.85%,其中优质土壤占 43.37%。依据土壤质量地球化学综合等级划分结果和拟定的内蒙古自治区富硒土壤硒含量标准,研究区内圈定了 4 处富硒耕地开发区,共计 25.5 km<sup>2</sup>,1 区位于巴独户村南和七炭板村西部,面积 5.8 km<sup>2</sup>;2 区位于巧什营村,面积 7.3 km<sup>2</sup>;3 区位于北什轴乡西北部,面积 4.0 km<sup>2</sup>;4 区位于大雨施格气村南、小雨施格气村、旗下营村西、脑木汗村北部,面积 8.4 km<sup>2</sup>。

3 结论与讨论

研究区工业化程度低,土壤主要由黄河冲洪积物形成,以农牧业为主。通过土壤养分与环境质量评价可知,研究区部分地区氮和有机质相对缺乏,其余大部分地区土壤养分丰富,未受重金属污染,区内硒含量平均值为 0.32×10<sup>-6</sup>,84.6%地区土壤中的硒含量适量。

从已有农作物分析资料可知,富硒及 Se 含量在 0.3×10<sup>-6</sup> 左右的适量区种植的打籽葫芦籽、打籽西瓜、小麦、胡麻等均富集硒及其他有益元素,贫化有害重金属元素,说明在北方碱性环境下富硒耕地硒含量标准比南方要低。

研究区耕地面积广,土壤硒含量高,生态环境适宜,有发展富硒农业的巨大优势。本次研究工作对该地区富硒特色耕地的开发、现代农业发展及实现农民增收、农业增效具有重大的社会与经济意义。

参考文献 (References):

[1] 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 Science Frontiers, 2014, 21(3):265-306.

[2] 成杭新,李括,李敏,等. 中国城市土壤微量元素的管理目标值和整治行动值[J]. 地学前缘,2015,22(5):215-225.  
Cheng H X, Li K, Li M, et al. Management target value (MTV) and rectification action value (RAV) of trace metals in urban soil in China[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(5):215-225.

[3] 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 Science Frontiers, 2019, 26(6):128-158.

[4] 陈印军,杨俊彦,方琳娜. 我国耕地土壤环境质量状况分析[J]. 中国农业科技导报,2014,16(2):14-18.  
Chen Y J, Yang J Y, Fang L N. Analysis of soil environmental quality status of cultivated land in my country[J]. Journal of Agri-

- cultural Science and Technology, 2014, 16(2): 14-18.
- [5] 李金哲, 刘宁强, 龚庆杰, 等. 广东汕头市内海湾沉积物重金属环境质量调查与评价[J]. 现代地质, 2021, 35(5): 1441-1449.
- Li J Z, Liu N Q, Gong Q J, et al. Investigation and evaluation on environmental quality of heavy metals in sediments of the inland bay of Shantou City, Guangdong Province[J]. Geoscience, 2021, 35(5): 1441-1449.
- [6] 奚仲伟. 上海市典型地区土地质量地球化学评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016: 19-45.
- Xi Z W. Study on geochemical evaluation of land quality of the typical area, Shanghai Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016: 19-45.
- [7] 苏旭. 镇江—扬州典型地区土地质量地球化学评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016: 12-48.
- Su X. Land quality geochemical evaluation in the typical Area, Zhenjiang and Yangzhou[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016: 12-48.
- [8] 任家强, 汪景宽, 杨晓波, 等. 辽河中下游平原土地质量地球化学评价及空间分布研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(2): 208-211.
- Ren J Q, Wang J K, Yang X B, et al. Geochemical land quality evaluation and space distribution in the Liao middle-downriver Plain[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2011, 42(2): 208-211.
- [9] 刘道荣, 郑基滋, 占玄, 等. 临安市核桃主产区林地土壤重金属生态风险评价[J]. 物探与化探, 2019, 43(6): 1382-1388.
- Liu D R, Zheng J Z, Zhan X, et al. Ecological risk evaluation of heavy metals in soils of Carya cathayensis plantations, Lin'an[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(6): 1382-1388.
- [10] 赵秀芳, 张永帅, 冯爱平, 等. 山东省安丘地区农业土壤重金属元素地球化学特征及环境评价[J]. 物探与化探, 2020, 44(6): 1446-1454.
- Zhao X F, Zhang Y S, Feng A P, et al. Geochemical characteristics and environmental assessment of heavy metal elements in agricultural soil of Anqiu area, Shanghai Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(6): 1446-1454.
- [11] 代雅建, 崔健, 郭常来, 等. 辽宁锦州城区土壤环境质量及潜在生态危害评价[J]. 地质通报, 2021, 40(10): 1671-1679.
- Dai Y J, Cui J, Guo C L, et al. Evaluation of soil environmental quality and potential ecological hazards in Jinzhou City Liaoning Province[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(10): 1671-1679.
- [12] 任明强, 冷洋洋, 周尔春, 等. 贵州1:5万耕地质量地球化学调查评价方法技术[J]. 贵州地质, 2020, 37(3): 227-232.
- Ren M Q, Leng Y Y, Zhou E C, et al. The method and technology of 1:50000 cultivated land quality geochemical survey and evaluation in Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2020, 37(3): 227-232.
- [13] 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, 26(5): 873-878, 909.
- [14] 刘倩. 土地质量地球化学调查与成果应用绩效评价以西北地区为例——以西北地区为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017: 41-42.
- Liu Q. Land quality geochemical survey and application performance evaluation: Taking Northwest China as a case [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017: 41-42.
- [15] 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.
- [16] 王立胜, 汪媛媛, 余涛, 等. 土地质量地球化学评估与绿色产能评价研究: 以吉林大安市为例[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 879-885.
- Wang L S, Wang Y Y, Yu T, et al. Study on geochemical assessment of land quality and green productivity evaluation in Da'an City, Jilin Province [J]. Geoscience, 2012, 26(5): 879-885.
- [17] 谢薇, 杨耀栋, 侯佳渝, 等. 多种评价方法应用于天津核桃主产区的土壤环境质量评价[J]. 物探与化探, 2021, 45(1): 207-214.
- Xie W, Yang Y D, Hou J Y, et al. The evaluation of soil environmental quality of main walnut producing areas based on various methods of heavy metal contamination assessment in Tianjin [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(1): 207-214.
- [18] 王加恩, 胡艳华, 宋明义, 等. 土地质量地球化学评估与农用地分等成果整合方法——以浙江省嘉善县为例[J]. 广东土地科学, 2012, 11(2): 25-31.
- Wang J E, Hu Y H, Song M Y, et al. Land quality geochemical assessment and the results of the agricultural land gradation integration and application—The case of Jiashan County, Zhejiang [J]. Guangdong Land Science, 2012, 11(2): 25-31.
- [19] 康鹏宇, 刘传朋, 梁成, 等. 沂蒙山区土壤质量地球化学评价方法[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2021, 51(3): 877-886.
- Kang P Y, Liu C P, Liang C, et al. Geochemical evaluation method of soil quality in Yimeng Mountain area [J]. Journal of Jilin university: Earth Science edition, 2021, 51(3): 877-886.
- [20] 包凤琴, 李佑国, 李晶, 等. 内蒙古河套地区土壤环境质量评价[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 947-952.
- Bao F Q, Li Y G, Li J, et al. Evaluation on soil environmental quality in the Hetao area of Inner Mongolia [J]. Geoscience, 2012, 26(5): 947-952.
- [21] 包凤琴, 李佑国, 王沛东, 等. 内蒙古河套地区神地球化学特征[J]. 物探与化探, 2015, 39(5): 1032-1040.
- Bao F Q, Li Y G, Wang P D, et al. The geochemical characteristics of Arsenic in the Hetao area of Inner Mongolia [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(5): 1032-1040.
- [22] 马逸麟, 谢长瑜, 胡晨琳, 等. 江西省吉泰盆地土地质量评价[J]. 物探与化探, 2015, 39(2): 387-395.

- Ma Y L, Xie C Y, Hu C L, et al. Evaluation of land quality in Jitai Basin, Jiangxi Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2015, 39(2): 387-395.
- [23] 王增辉, 王存龙, 赵西强, 等. 山东省黄河下游流域土地质量地球化学评估及方法研究[J]. *物探与化探*, 2013, 37(4): 743-748.
- Wang Z H, Wang C L, Zhao X Q, et al. Land quality geochemical assessment and method research based on geochemical data obtained from the downstream basin of the Yellow River in Shandong [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2013, 37(4): 743-748.
- [24] 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.
- [25] 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 of the People's Republic of China. DZ/T 0295—2016 Specification for land quality geochemical evaluation[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.
- [26] 生态环境部. 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.
- Ministry of Ecology and Environment. GB 15618—2018 Soil environmental quality risk control standard for soil contamination of agricultural land[S]. Beijing: China Standard Press, 2018.
- [27] 曾希柏, 陈同斌, 胡清秀, 等. 中国粮食生产潜力和化肥增产效率的区域分异[J]. *地理学报*, 2002, 57(5): 539-546.
- Zeng X B, Chen T B, Hu Q X, et al. Regional differentiation of grain production potential and fertilizer production efficiency in china[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 539-546.

## The comprehensive evaluation of farmland soil environmental quality and suggestions on the development of agriculture with distinctive local features in Tumed Left Banner, Inner Mongolia

BAO Feng-Qin<sup>1,2</sup>, CHENG Hang-Xin<sup>2</sup>, YONG Sheng<sup>3</sup>, YANG Yu-Liang<sup>1</sup>, MA Zhi-Chao<sup>1</sup>, ZHAO Li-Juan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Metallization and Ore Prospecting for Magmatic Activities in Inner Mongolia Autonomous Region, Geological Exploration Institute of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010020, China; 2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 3. Public Security Management Department, Inner Mongolia Police Vocational College, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** Land is an important basic resource for human survival and stable social and economic development, and cultivated land is an integral part of land resources. Ascertaining the quality of cultivated land is of great significance for the scientific and rational utilization of cultivated land and the sustainable development of green ecological agriculture. Using the methods for 1:50,000 geochemical survey and evaluation, this study conducted the quality evaluation and the classification of land in the study area based on the contents of beneficial nutrient elements and toxic and harmful elements in soils and analyzed the distribution and controlling factors of elements in soils. The results of this study are as follows. The soils in the study area consist mainly of alluvial-proluvial deposits from the Yellow River and are primarily used for agriculture and animal husbandry. The soils are not contaminated by heavy metals and are rich in nutrients, with the first- and second-grade excellent soils collectively accounting for 88.85%. Moreover, most soils in the study area have moderate selenium content. Therefore, it is recommended that selenium-rich land resources should be incorporated into the government land planning to develop agriculture with distinctive local features.

**Key words:** environmental quality; comprehensive evaluation; agriculture with distinctive local features; farmland soil; Tumed Left Banner

(本文编辑:蒋实)