



松嫩平原拜泉地区 50 米以浅地表基质化学元素垂向特征及含量等级

曹龙宇,邵兴坤,侯红星,任柄璋,时凌峰,詹泽东,西广越,李俊华

中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心,河北 廊坊 065000

摘 要: 对黑龙江省拜泉县 BQZK05 汽车钻取得的 50 m 以浅土质基质样品进行了分析,获得全芯土质主量元素、矿质元素、有益元素和有毒元素垂向分布特征,并对全芯土质部分化学元素进行了质量评价。结果显示,主量元素 CaO 含量属于三等中等级,MgO 含量属于二等较丰富级,Fe₂O₃ 含量属于二等较丰富级;矿质元素 Fe 含量属于四等较缺乏级,Mn 含量属于三等中等级,S 含量属于一等丰富级;有益元素 Se 含量属于适量级,I 含量属于缺乏级,F 含量属于高含量级,K 含量为中上等(3 级);有毒元素含量远低于农用地土壤污染风险筛选值和管制值,土壤环境质量为一等清洁级。

关键词: 黑土地;地表基质;元素含量等级;松嫩平原

Vertical characteristics and content grade of chemical elements in the ground substrate (0–50 m deep) of Baiquan area, Songnen Plain

CAO Long-yu, SHAO Xing-kun, HOU Hong-xing, REN Bing-zhang, SHI Ling-feng,

ZHAN Ze-dong, XI Guang-yue, LI Jun-hua

Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China

Abstract: By analyzing the soil substrate samples in the depth of 0–50 m from borehole BQZK05 in Baiquan County, Heilongjiang Province, the study ascertains the vertical distribution characteristics of major, mineral, beneficial and toxic elements, and evaluates the quality of some chemical elements in the soil. The results show that the CaO content belongs to Grade III (medium), MgO content Grade II (rich), and Fe₂O₃ content Grade II (rich) in terms of major elements. Of the mineral elements, Fe content belongs to Grade IV (deficient), Mn content Grade III (medium), and S content Grade I (abundant). In terms of beneficial elements, the Se content belongs to moderate grade, I content the deficient grade, F content the high grade, and K content the middle-high grade. The content of toxic elements is much lower than the risk screening value and control value of agricultural land soil pollution, and the soil environment quality is first-class clean.

Key words: black soil; ground substrate; element content grade; Songnen Plain

收稿日期:2023-08-16;修回日期:2023-10-30. 编辑:张哲.

基金项目:中国地质调查局项目“松嫩平原齐齐哈尔地区黑土地地表基质调查”(DD20220855).

作者简介:曹龙宇(1997—),男,硕士研究生,主要从事黑土地地表基质调查研究工作,通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号,E-mail//1074453876@qq.com

通信作者:邵兴坤(1985—),男,硕士,高级工程师,主要从事地表基质调查和区域地质矿产调查工作,通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号,E-mail//740703590@qq.com

引用格式:曹龙宇,邵兴坤,侯红星,任柄璋,时凌峰,詹泽东,西广越,李俊华. 松嫩平原拜泉地区 50 米以浅地表基质化学元素垂向特征及含量等级[J]. 地质与资源, 2025, 34(1): 87-93, 136.

Cao L Y, Shao X K, Hou H X, Ren B Z, Shi L F, Zhan Z D, Xi G Y, Li J H. Vertical characteristics and content grade of chemical elements in ground substrate (0–50 m deep) of Baiquan area, Songnen Plain [J]. *Geology and Resources*, 2025, 34(1): 87-93, 136.

0 引言

地表基质是自然资源管理提出的全新概念,它将自然资源的自然属性和管理属性进行了有机统一。2020 年 1 月自然资源部下发的《自然资源调查监测体系构建总体方案》^[1]首次提出了“地表基质”的概念,指出地表基质是地球表层孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类自然资源的基础物质。

黑土地是耕地资源中最宝贵的土壤资源,是世界公认最肥沃的土壤,具有质地疏松、肥力高、持续供肥能力强等特点^[2]。东北地区黑土地提供了全国约 33% 的玉米产量和约 50% 的大豆产量^[3],对国家粮食安全战略起到举足轻重的作用^[4-5]。2022 年 5 月自然资源部下发了《黑土地地表基质调查总体方案》,明确指出开展黑土地地表基质调查,着力查清地表基质类型、分布范围、空间结构、理化性质、碳储碳汇以及其中的附属物特征。前人对区内表层土质部分地球化学元素垂向特征开展过研究工作^[6-13],但未对深层基质的地球化学特征进行探讨。而深层基质对地表土质和植被生态系统具有重要的支撑和孕育作用。本研究以中国地质调查局项目为依托,在松嫩平原开展黑土地地表基质调查,探讨拜泉县 50 m 以浅地表基质主量元素、微量元素、稀土元素特征,为区内地表基质理化性质和元素迁移提供新的证据。

1 研究区概况

拜泉县位于黑龙江省中西部齐齐哈尔市东部,介于东经 125°30′—126°31′,北纬 47°20′—47°55′之间。东以通肯河为界与海伦市、北安市相望,南接明水县,西与依安县毗邻,北连克山县、克东县,南北长 55 km,东西宽 66 km,总面积 3 599.15 km²。

拜泉县地处松嫩平原北缘向小兴安岭过渡地带,地形属于高平原,地势漫川漫岗,低丘陵占比很大。拜泉县位于世界三大黑土带之一的中国东北黑土区上^[14-16],黑土土质肥沃,平缓岗地多为黑土,岗地陡坡为黄黏土,岗下平地多淤积土,低洼平原为沼泽土和盐碱土。水土流失现象较典型,高地多见“破皮黄”,低洼处冲蚀沟较发育(图 1)。

2 样品采集及分析方法

本次在拜泉县兴华乡高海峰村西南 210 m 处部

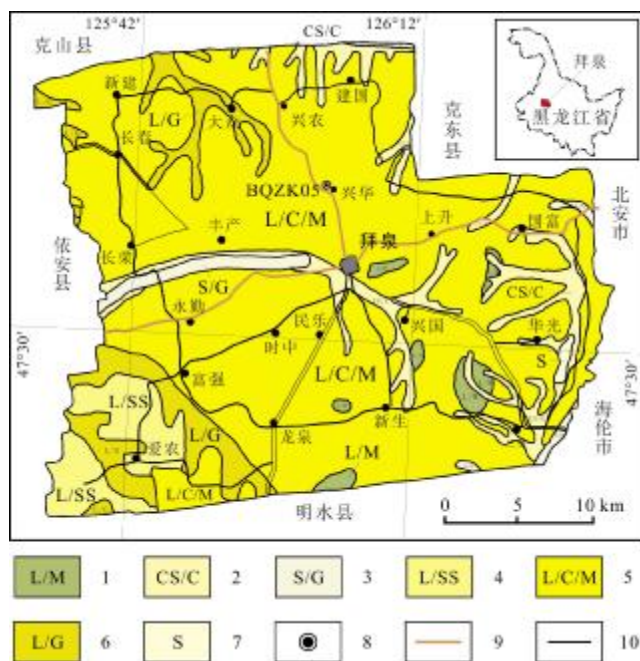


图 1 拜泉县交通位置及地表基质简图

Fig. 1 Traffic location and ground substrate map of Baiquan County

1—壤土/泥岩 (loam/mudstone); 2—粗砂/粗砾 (coarse sand/coarse gravel); 3—淤泥/砂砾 (silt/gravel); 4—壤土/砂土 (loam/sandy soil); 5—壤土/黏土/泥岩 (loam/clay/mudstone); 6—壤土/砂砾 (loam/gravel); 7—淤泥 (silt); 8—钻孔位置 (borehole); 9—国道 (national highway); 10—省道 (provincial highway)

署了 BQZK05 汽车钻,土芯进尺 50 m。样品按照分层等间距全孔取样进行采集。钻孔土芯样品采用劈分法沿长轴方向采取一半土芯送样,每个样品长度为 0.5 m,经过晾干、粉碎、充分混合、取样等工序进行样品采集,使样品更具代表性。共采集样品 96 件。

分析测试工作在华北有色地质勘查局燕郊中心实验室完成,分析测试方法依据《区域地球化学样品分析方法》(DZ/T 0279.3—2016, 34 部分)、《硅酸盐岩石化学分析方法》(GB/T 14506—2019)、《地球化学样品测定 电感耦合等离子体质谱法》(HKY/SY-ZY-FF)等标准规范。主要测试仪器为美国 PE 公司 NexION300Q 电感耦合等离子质谱仪、美国 PE 公司 7300DV 电感耦合等离子体发射光谱仪、北京瑞利分析仪器 WP1 一米平面光栅摄谱仪、北京金索坤 SK-乐析原子荧光分析仪、北京万联达信科仪器有限公司 CS-901B 红外碳硫分析仪和理学电企仪器(北京)有限公司 ZSX Primus IIX 射线荧光光谱仪。

采用 Excel 办公软件进行数据处理和分析。

3 地表基质垂向分布

钻孔 BQZK05 整体表现为从上至下黑色壤土-黄黏土-青色黏土-砖红色黏土-青灰色粉砂质黏土多层垂向结构,具体如下:

- 0~1 m 黑色黏质壤土;
- 1~3.15 m 黄色壤质黏土;
- 3.15~5 m 暗黄色壤质黏土;
- 5~5.9 m 暗绿色黏土;
- 5.9~7.1 m 绿灰色黏土;
- 7.1~8.9 m 灰色壤质黏土;
- 8.9~9.8 m 青灰色黏土;
- 9.8~12.5 m 浅青灰色黏土;
- 12.5~15 m 浅灰色壤质黏土;
- 15~18 m 灰黑色黏土;
- 18~23.7 m 青灰色黏土与砂质黏土互层;
- 23.7~35.9 m 黑色粉砂质黏土;
- 35.9~38.75 m 青灰色砂质黏土;
- 38.75~42 m 深青灰色黏质砂土;
- 42~44.7 m 砖红色黏土;
- 44.7~50 m 青灰色粉砂质黏土。

4 化学元素垂向分布特征

4.1 主量元素分布特征及含量等级

钻孔 BQZK05 样品分析测试结果(表 1,扫描首页 OSID 二维码可见)显示: SiO₂ 含量为 53.83%~80.75%, 平均含量 64.08%, 在 38.75~42 m 深青灰色黏质砂土

处出现峰值,可能与长英质碎屑有关; Al₂O₃ 含量 9.54%~17.98%,平均含量 14.59%,随着深度增加含量变化不明显,有少量降低,其中峰值出现在 8.9~9.8 m 处青灰色黏土,谷值出现在 38.75~42 m 处深青灰色黏质砂土; CaO 含量 0.56%~9.6%,平均含量 2.02%; MgO 含量 0.49%~2.78%, 平均含量 1.735%, MgO 含量与 K₂O、Na₂O 含量呈负相关; Fe₂O₃ 含量 1.05%~7.13%, 平均含量 4.65%, TiO₂ 含量 0.37%~0.81%, 平均含量 0.67%; P₂O₅ 含量 0.05%~0.36%, 平均含量 0.14%, TiO₂、P₂O₅、Fe₂O₃ 含量呈正相关,峰值出现在 42~44.7 m 处残坡积相砖红色黏土层(图 2)。

根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^[17]中《国家-省级/省级-区级土地质量评价钙、镁、硫等养分等级划分标准》,全芯 CaO 含量属于三等中等级, MgO 含量属于二等较丰富级, Fe₂O₃ 含量属于二等较丰富级。

4.2 矿质元素特征及含量等级

根据钻孔 BQZK05 样品分析测试结果(表 2,扫描首页 OSID 二维码可见),矿质元素中, K 含量为 0.9%~3.14%, 平均含量 1.77%; Na 含量 0.11%~1.32%, 平均含量 0.56%; Ca 含量 0.4%~6.86%, 平均含量 1.44%; Fe 含量 0.88%~5.07%, 平均含量 3.52%; Mn 含量 204×10⁻⁶~4 074×10⁻⁶, 平均含量 561.2×10⁻⁶; Ti 含量 2 223×10⁻⁶~4 867×10⁻⁶, 平均含量 4 036×10⁻⁶; S 含量 0.002%~1.708%, 平均含量 0.109%。

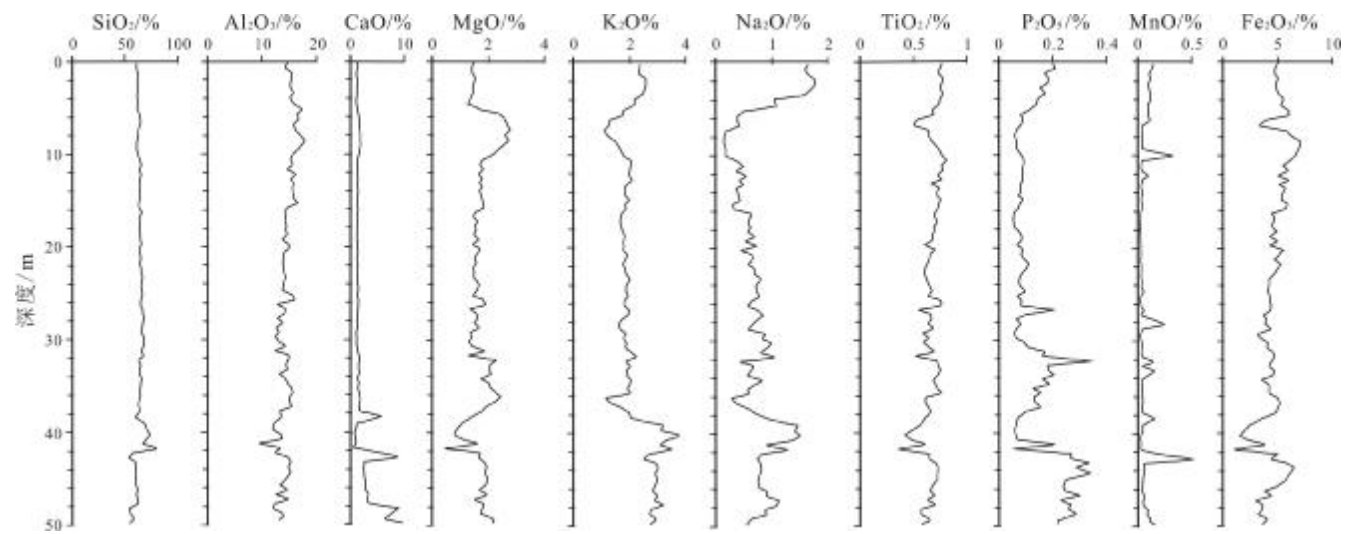


图 2 钻孔 BQZK05 主量元素垂向分布
Fig. 2 Vertical distribution of major elements in borehole BQZK05

K、Na、Fe、Ti、P 呈正相关性,在 42~50 m 处砖红色黏土(42~44.7 m)和青灰色粉砂质黏土(44.7~50 m)为峰值,在 5~8.9 m 处暗绿色黏土(5~5.9 m)、绿灰色黏土(5.9~7.1 m)和灰色壤质黏土(7.1~8.9 m)含量最小;Mg、Al 呈正相关,5.9~8.9 m 处绿灰色黏土(5.9~7.1 m)和灰色壤质黏土(7.1~8.9 m)含量最高,在 39~42 m 处深青灰色黏质砂土含量最小;Ca 在 38.75~50 m 处深青灰色黏质砂土(38.75~42 m)、砖红色黏土(42~44.7 m)和青灰色粉砂质黏土(44.7~50 m)含量突然增高,可能与后期搬运过来的长英质碎屑有关;元素 S 含量较少,在 25~37 m 青灰色砂质黏土处含量突然增高(图 3)。矿质元素分布特征总体表现为氧化风化搬运环境下矿质元素含量较高,在还原的湖相沉积环境下矿质元素含量较少。

根据《国家-省级/省级-区级土地质量评价钙、镁、硫等养分等级划分标准》^[17],全芯 50 m 土质基质 Fe 含量属于四等较缺乏级,Mn 含量属于三等中等级,S 含量属于一等丰富级。

4.3 有益元素分布特征及含量等级

有益元素中, K 含量为 0.9%~3.14%, 平均含量 1.77%; N 含量 0.0087%~0.1351%, 平均含量 0.0384%; P 含量 119×10^{-6} ~ 781×10^{-6} , 平均含量 297.17×10^{-6} ;全碳(TC)含量 0.056%~2.32%,平均含量 0.498%;有机碳(C_{org})含量 0.05%~1.76%,平均含量 0.31%; Se 含量 0.012×10^{-6} ~ 5.911×10^{-6} , 平均含量

0.31×10^{-6} ; I 含量 0.003×10^{-6} ~ 7.1×10^{-6} ,平均含量 0.91×10^{-6} ; F 含量 226×10^{-6} ~ $1\,120\times10^{-6}$, 平均含量 669.72×10^{-6} (表 3,扫描首页 OSID 二维码可见)。

N、P、K、全碳(TC)、I 含量呈正相关,整体表现为表层黑色黏质壤土(0~1 m)和底层砖红色黏土(42~44.7 m)和青灰色粉砂质黏土(44.7~50 m)处含量高,中间 1~42 m 处青灰色浅湖相黏土含量较低,5~25 m 处青灰色黏土含量最低。有机碳在表层 0~1 m 黑色黏质壤土含量最高,在 23.7~35.9 m 处黑色粉砂质黏土含量高(图 4)。有益元素分布受沉积环境控制,草甸和沼泽环境草类植物生长茂盛,植物在表层积累腐殖质、土壤多水条件下,沼泽生植物死亡后,土壤有机质大量积累,导致了 N、P、K、 C_{org} 、I 等有益元素的富集。中间浅湖相沉积处于缺氧的还原环境,不利于植物生长,导致有益元素缺乏。

根据根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ / T0295—2016)^[17]中《土壤中氮、磷、钾等养分指标全量与有效量等级划分标准》,全芯 50 m 土质 N 和 P 平均含量属于五等较缺乏级, K 属于三等中等级;土壤养分地球化学等级属于 Se 适量级、I 缺乏级和高含 F 级。全国土壤普查办公室将全国土壤 K 含量分为 6 个等级^[18]: <0.5%为很低(6 级), 0.5%~1%为低(5 级), 1%~1.5%为中下(4 级), 1.5%~2%为中上(3 级), 2%~2.5%为高(2 级), >2.5%为很高(1 级)。区内 K 含量为中上(3 级)。

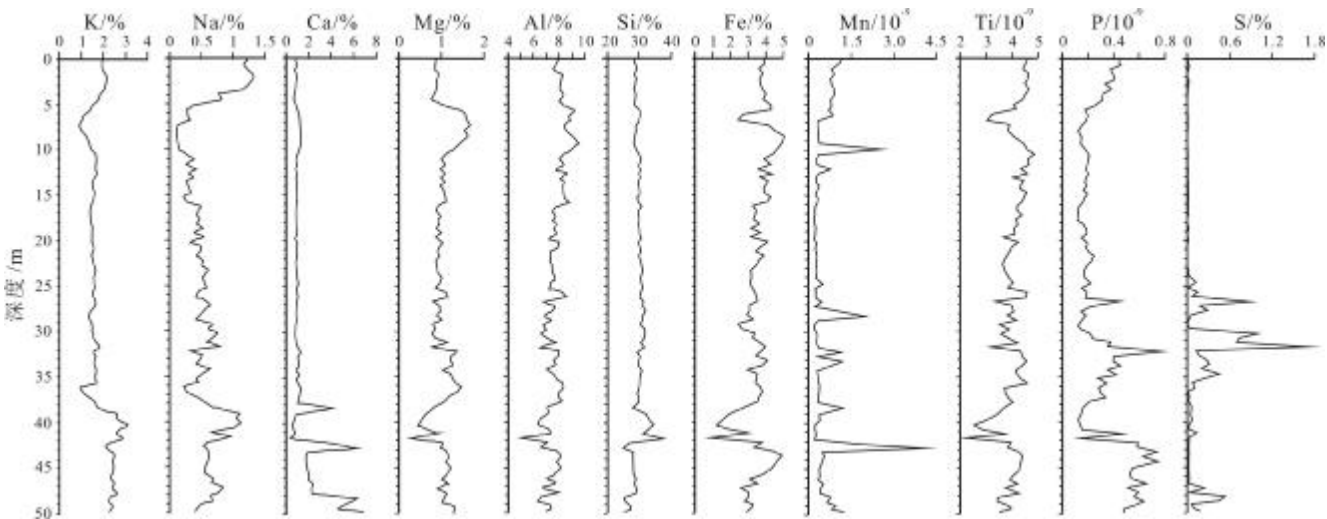


图 3 BQZK05 矿质元素垂向分布

Fig. 3 Vertical distribution of mineral elements in borehole BQZK05

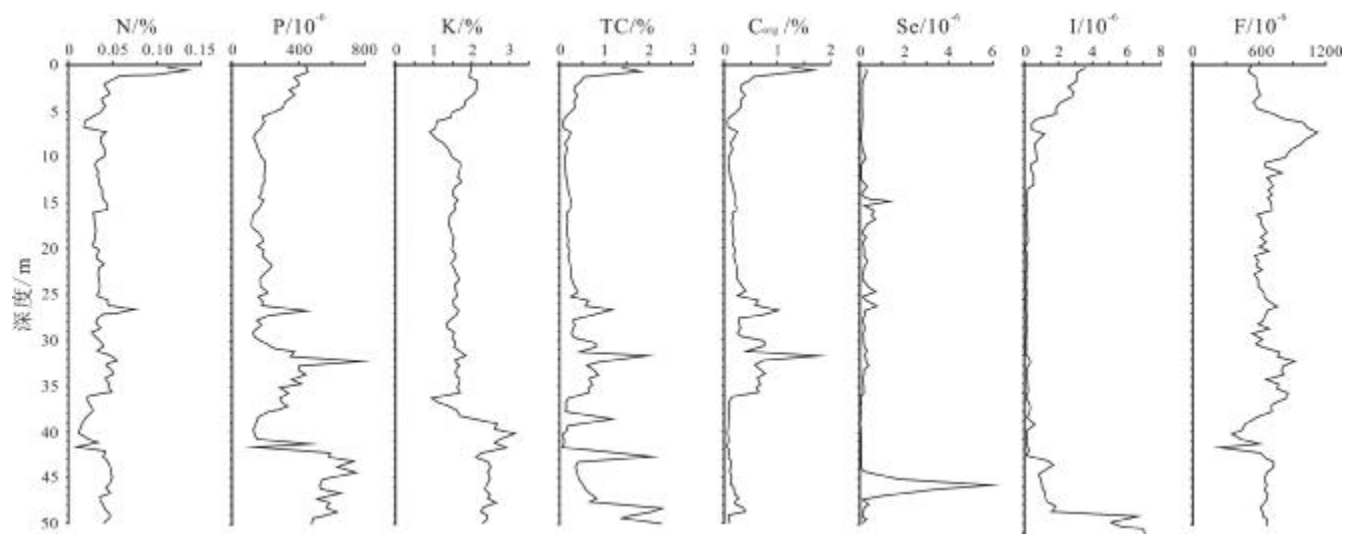


图 4 BQZK05 有益元素垂向分布

Fig. 4 Vertical distribution of beneficial elements in borehole BQZK05

4.4 有毒元素分布特征及含量等级

有毒元素中, As 含量 $0.71\times10^{-6}\sim28.3\times10^{-6}$, 平均含量 4.94×10^{-6} ; Se 含量 $0.01\times10^{-6}\sim5.91\times10^{-6}$, 平均含量 0.31×10^{-6} ; Cd 含量 $0.0\times10^{-6}\sim1.2\times10^{-6}$, 平均含量 0.07×10^{-6} ; Sb 含量 $0.15\times10^{-6}\sim0.83\times10^{-6}$, 平均含量 0.39×10^{-6} ; Hg 含量 $0.003\times10^{-6}\sim0.07\times10^{-6}$, 平均含量 0.014×10^{-6} ; Tl 含量 $0.52\times10^{-6}\sim1.87\times10^{-6}$, 平均含量 0.70×10^{-6} ; Pb 含量 $17.9\times10^{-6}\sim54.6\times10^{-6}$, 平均含量 26.4×10^{-6} (表 4,扫描首页 OSID 二维码可见).

其中, As、Sb 含量呈正相关,As、Sb 在黑色黏质壤土(0~1 m)、黄色壤质黏土(1~3.15 m)和暗黄色壤质黏土(3.15~5 m)处和 25~35 m 黑色粉砂质黏土中含量较高. Pb 在黑色黏质壤土(0~1 m)、黄色壤质黏土(1~3.15 m)、暗黄色壤质黏土(3.15~5 m)、暗绿色黏土(5~5.9 m)和绿灰色黏土(5.9~7.1 m)处含量较高. Se 和 Cd 的含量较低, 其中 Se 在 45~48 m 处青灰色粉砂质黏土中含量较高, Cd 在 15~17 m 处灰黑色黏土中含量最高(图 5).

钻孔 BQZK05 表层(0~5 m)黑色黏质壤土和黄色壤质黏土 As 元素平均值为 11.51×10^{-6} ,略高于中国土壤背景值(11.2×10^{-6})^[19]; Cd 元素平均值 0.056×10^{-6} ,略低于中国土壤背景值 (0.097×10^{-6}); Pb 元素平均值 28.61×10^{-6} ,略高于中国土壤背景值(26×10^{-6}); Hg 元素平均值 0.017×10^{-6} , 略低于中国土壤背景值 (0.065×10^{-6}).

钻孔内有毒元素含量远低于《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618—2018)^[20]中农用地土壤污染风险筛选值和管制值(表 5),土壤未被

表 5 土壤环境质量标准值

Table 5 Standard values of soil environment quality

级别		一级	二级	三级
土壤 pH 值		自然背景	6.5~7.5	>7.5
镉		≤0.2	0.2~1	>1
汞		≤0.15	0.15~1.5	>1.5
砷	水田	≤15	15~30	>30
	旱地	≤15	15~40	>40
铜	农田等	≤35	35~400	>400
	果园	-	150~400	>400
铅		≤35	35~500	>500
铬	水田	≤90	90~400	>400
	旱地	≤90	90~300	>300
锌		≤100	100~500	>500
镍		≤40	40~200	>200
六六六		≤0.05	0.05~1	>1
滴滴涕		0.05	0.05~1	1

含量单位:10⁻⁶.

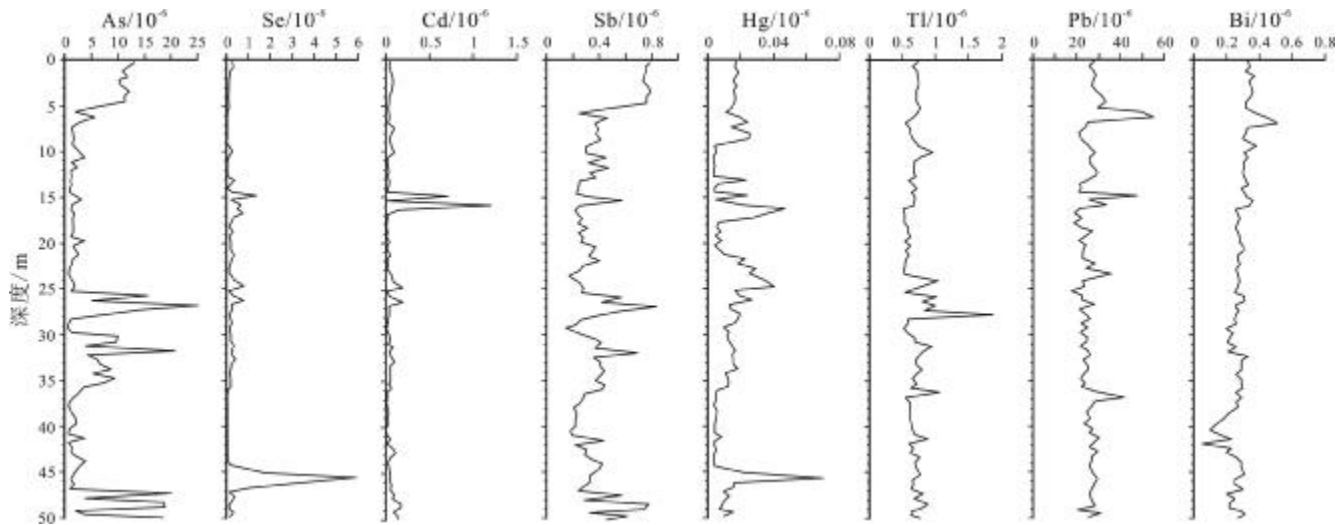


图 5 BQZK05 有毒元素垂向分布

Fig. 5 Vertical distribution of toxic elements in borehole BQZK05

污染. 根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295—2016)^[17]中土壤环境地球化学等级,按照公式(1)计算出土壤中污染物指标*i*的单项污染指数 P_i :

$$P_i=C_i/S_i$$

式中, C_i 为土壤中污染物指标*i*的实测质量分数(10^{-6}); S_i 为土壤中污染物指标*i*在《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618—2018)^[20]中给出的二级标准值(10^{-6}). 根据表 6,区内各有毒元素 $P_i\leq 1$,土壤环境质量为—等清洁级.

表 6 土壤环境地球化学等级划分
Table 6 Geochemical grading of soil environment

质量等级	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)
环境指数	$P_i\leq 1$	$1<P_i\leq 2$	$2<P_i\leq 3$	$3<P_i\leq 5$	$P_i>5$

5 结论

通过 BQZK05 汽车钻获得的土芯样品数据,对拜泉县 50 m 以浅土质基质主量元素、矿质元素、有益元素和有毒元素进行分析和等级评价,结果如下.

1)主量元素: SiO_2 平均含量为 64.08%,在 38.75~42 m 深青灰色黏质砂土处出现峰值,与长英质碎屑有关; Al_2O_3 平均含量 14.59%,随着深度增加略有降低,在 8.9~9.8 m 处青灰色黏土出现峰值,在 38.75~42 m 处深青灰色黏质砂土出现谷值; CaO 平均含量 2.02%, MgO 平均含量 1.735%, MgO 与 K_2O 、 Na_2O 含量呈负

相关; TiO_2 平均含量 0.67%, Fe_2O_3 平均含量 4.65%, P_2O_5 平均含量 0.14%, TiO_2 、 P_2O_5 、 Fe_2O_3 含量呈正相关,在 42~44.7 m 处残坡积相砖红色黏土层出现峰值. 全芯 CaO 含量属于三等中等级, MgO 含量属于二等较丰富级, Fe_2O_3 含量属于二等较丰富级.

2)矿质元素: K 平均含量为 1.77%, Na 平均含量 0.56%, Ca 平均含量 1.44%, Fe 平均含量 3.52%, Mn 平均含量 561.2×10^{-6} , Ti 平均含量 $4\,036\times 10^{-6}$, S 平均含量 0.109%. K、Na、Fe、Ti、P 呈正相关性,在 42~44.7 m 处砖红色黏土和 44.7~50 m 处青灰色粉砂质黏土为峰值,在 5~8.9 m 处土质(浅湖相)含量最高,在 39~42 m 处深青灰色黏质砂土含量最小; Ca 在 38.75~50 m 处土质含量突然增高,可能与后期搬运过来的长英质碎屑有关;元素 S 含量较少,在 25~37 m 青灰色砂质黏土处含量突然增高. 矿质元素分布特征总体表现为氧化风化搬运环境下元素含量较高,在还原的湖相沉积环境下元素含量较少. 全芯土质 Fe 含量属于四等较缺乏级, Mn 含量属于三等中等级, S 含量属于一等丰富级.

3)有益元素: K 平均含量为 1.77%, N 平均含量 0.0384%, P 平均含量 297.17×10^{-6} , 全碳平均含量 0.498%, 有机碳平均含量 0.31%, Se 平均含量 0.31×10^{-6} , I 平均含量 0.91×10^{-6} , F 平均含量 669.72×10^{-6} . N、P、K、全碳、I 含量呈正相关,整体表现为表层黑色黏质壤土(0~1 m)和底层砖红色黏土(42~44.7 m)、青

灰色粉砂质黏土(44.7~50 m)处含量高,中间 1~42 m 处青灰色浅湖相黏土含量较低,5~25 m 处青灰色黏土含量最低。有机碳在表层 0~1 m 黑色黏质壤土含量最高,在 23.7~35.9 m 处黑色粉砂质黏土含量高。有益元素分布受沉积环境控制,草甸和沼泽环境 N、P、K、C_{org}、I 等有益元素富集,浅湖相沉积有益元素缺乏。全芯 50 m 土质 N 和 P 平均含量属于五等较缺乏级,K 属于三等中等级,Se 属于适量级,I 属于缺乏级,F 属于高含量级,K 含量为中上(3 级)。

4) 有毒元素: As 平均含量为 4.94×10^{-6} , Se 平均含量 0.31×10^{-6} , Cd 平均含量 0.07×10^{-6} , Sb 平均含量 0.39×10^{-6} , Hg 平均含量 0.014×10^{-6} , Tl 平均含量 0.70×10^{-6} , Pb 平均含量 26.4×10^{-6} 。As、Sb 含量呈正相关,在 0~5 m 土质和 25~35 m 黑色粉砂质黏土含量较高; Pb 在 0~7 m 处土质含量较高; Se 和 Cd 含量较低, Se 在 45~48 m 处青灰色粉砂质黏土含量较高, Cd 在 15~17 m 处灰黑色黏土含量最高。表层 0~5 m 土质 As、Pb 元素平均值略高于中国土壤背景值, Cd、Hg 元素平均值略低于中国土壤背景值。有毒元素含量远低于农用地土壤污染风险筛选值和管制值,土壤未被污染。土壤环境质量为一等清洁级。

参考文献(References):

- [1]自然资源部. 自然资源调查监测体系构建总体方案[Z]. 2020.
Ministry of Natural Resources. General scheme for construction of natural resources survey and monitoring system[Z]. 2020. (in Chinese)
- [2]魏丹, 杨谦, 迟凤琴. 东北黑土区土壤资源现状与存在问题[J]. 黑龙江农业科学, 2006(6): 69-72.
Wei D, Yang Q, Chi F Q. The soil resource conditions and the problems in Northeast black soil regions[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2006(6): 69-72.
- [3]Hao C L, Xiao W H, Zhou Y Y, et al. Phosphorus balance in typical rainfield of black soil region in Northeast China[J]. Geosciences Journal, 2019, 23(4): 637-648.
- [4]曹野. 东北地区耕地质量等级评价与现状分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
Cao Y. Cultivated land quality evaluation and present situation analysis in Northeast China[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.
- [5]韩晓增, 邹文秀. 我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 206-212.
Han X Z, Zou W X. Effects and suggestions of black soil protection

- and soil fertility increase in Northeast China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 206-212.
- [6]张哲寰, 宋运红, 赵君, 等. 黑龙江省讷河市土壤某些微量元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2019, 28(4): 378-382.
Zhang Z H, Song Y H, Zhao J, et al. Trace element geochemistry of the soil in Nehe City, Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2019, 28(4): 378-382.
- [7]张哲寰, 戴慧敏, 宋运红, 等. 黑龙江省乌裕尔河流域土壤中某些微量元素地球化学特征[J]. 物探与化探, 2022, 46(5): 1097-1104.
Zhang Z H, Dai H M, Song Y H, et al. Geochemical characteristics of some soil trace elements in the Wuyuer River Basin, Heilongjiang Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5): 1097-1104.
- [8]李延生. 黑龙江省扎龙湿地土壤地球化学特征及生态环境意义[J]. 物探与化探, 2010, 34(4): 512-516.
Li Y S. Soil geochemical characteristics and ecological environment significance of the Zhalong wetlands in Heilongjiang Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(4): 512-516.
- [9]陆继龙, 周云轩, 周永昶, 等. 黑土农业区常量和微量元素环境地球化学特征[J]. 农业环境与发展, 2002(1): 27-29.
Lu J L, Zhou Y X, Zhou Y C, et al. Environmental geochemical characteristics of major and trace elements in black soil of agricultural areas[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2002(1): 27-29. (in Chinese)
- [10]刘银飞, 孙彬彬, 贺灵, 等. 福建龙海土壤垂向剖面元素分布特征[J]. 物探与化探, 2016, 40(4): 713-721.
Liu Y F, Sun B B, He L, et al. Vertical distribution of elements in soil profiles in Longhai, Fujian Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(4): 713-721.
- [11]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.
- [12]韩晓萌, 戴慧敏, 梁帅, 等. 黑龙江省拜泉地区典型黑土剖面元素地球化学特征及其环境指示意义[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 556-563.
Han X M, Dai H M, Liang S, et al. Element geochemistry of the typical black soil sections in Baiquan area, Heilongjiang Province: Environmental implication[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 556-563.
- [13]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.
Liu X Y, Liu P, Liu C. Variation characteristics of organic matters and nutrient elements in typical black soil[J]. Geology and Resources, 2022, 31(4): 500-507.

- 化学分册, 2022, 58(4): 406–410.
- Bi C L. Determination of residues of 5 organophosphorus pesticides in crop soil by gas chromatography-tandem mass spectrometry with accelerated solvent extraction and gel permeation chromatography purification [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, 2022, 58(4): 406–410.
- [16] 和莹, 孙谦, 张秦铭, 等. 气相色谱-三重四极杆质谱法测定土壤中有有机氯农药[J]. *环境化学*, 2022, 41(12): 4193–4196.
- He Y, Sun Q, Zhang Q M, et al. Determination of organochlorine pesticide in soil by gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry[J]. *Environmental Chemistry*, 2022, 41(12): 4193–4196.
- [17] 王贵玲, 陆川. 碳中和目标驱动下地热资源开采利用技术进展[J]. *地质与资源*, 2022, 31(3): 412–425, 341.
- Wang G L, Lu C. Progress of geothermal resources exploitation and utilization technology driven by carbon neutralization target[J]. *Geology and Resources*, 2022, 31(3): 412–425, 341.
- [18] 刘强, 林楠, 王长琪, 等. 松嫩平原湿地演变及其驱动因素分析[J]. *地质与资源*, 2023, 32(1): 96–103.
- Liu Q, Lin N, Wang C Q, et al. Wetland evolution and its driving factors in Songnen plain[J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(1): 96–103.
- [19] 息朝庄, 吴林锋, 张鹏飞, 等. 贵州省惠水土壤-灌溉水-雨水-大气降尘中 Cd、As 等微量元素特征及来源讨论[J]. *中国地质*, 2023, 50(1): 192–205.
- Xi C Z, Wu L F, Zhang P F, et al. Characteristics and sources of Cd and As trace elements in soil-irrigation-rainwater-atmospheric dust-fall in Huishui County, Guizhou province[J]. *Geology in China*, 2023, 50(1): 192–205.
- [20] 赵建, 孔繁鹏, 刘洪博, 等. 黑龙江省宝清县万金山乡土壤硒分布特征及其与土壤性质关系[J]. *地质与资源*, 2023, 32(2): 233–237, 210.
- Zhao J, Kong F P, Liu H B, et al. Distribution of soil selenium and its relationship with soil properties in Wanjinshan of Baoqing county, Heilongjiang province [J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(2): 233–237, 210.

(上接第 93 页/Continued from Page 93)

- [14] 杨贺平. 典型黑土地土壤有机质含量空间变化特征研究——以绥化市北林区为例[J]. *地质与资源*, 2022, 31(4): 508–515, 499.
- Yang H P. Spatial variation characteristics of soil organic matter content in typical black soil: A case study of Beilin District in Suihua City, Heilongjiang Province[J]. *Geology and Resources*, 2022, 31(4): 508–515, 499.
- [15] 翟富荣, 梁帅, 戴慧敏. 东北黑土地地球化学调查研究进展与展望[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 503–509, 532.
- Zhai F R, Liang S, Dai H M. Geochemical survey of black land in Northeast China: Progress and prospect[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 503–509, 532.
- [16] 宋运红, 刘凯, 戴慧敏, 等. 松辽平原典型黑土-古土壤剖面 AMS ^{14}C 年龄首次报道[J]. *中国地质*, 2020, 47(6): 1926–1927.
- Song Y H, Liu K, Dai H M, et al. The first report of the AMS ^{14}C age of mollisol-paleosol profile of Songliao Plain [J]. *Geology in China*, 2020, 47(6): 1926–1927.
- [17] 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 Determination of land quality geochemical evaluation[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.
- [18] 龚子同, 黄荣金, 张甘霖. 中国土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 207.
- Gong Z T, Huang R J, Zhang G L. Soil geography of China [M]. Beijing: Science Press, 2014: 207.(in Chinese)
- [19] 陈文轩, 李茜, 王珍, 等. 中国农田土壤重金属空间分布特征及污染评价[J]. *环境科学*, 2020, 41(6): 2822–2833.
- Chen W X, Li Q, Wang Z, et al. Spatial distribution characteristics and pollution evaluation of heavy metals in arable land soil of China [J]. *Environmental Science*, 2020, 41(6): 2822–2833.
- [20] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. GB 15618—2018 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- Ministry of Ecology and Environment, State Administration for Market Regulation. GB 15618—2018 Soil environmental quality risk control standard for soil contamination of agricultural land[S]. Beijing: China Standard Press, 2018.