



松嫩平原中南部黑土氮流失程度及分布特征研究

杨贺平

黑龙江省自然资源调查院,黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 对松嫩平原中南部黑土区 20 世纪 80 年代以及目前土壤中氮含量数据资料分析结果显示,近 40 年来研究区土壤氮的流失率达到 5.02%,总体上呈现出土壤氮含量丰富—较丰富的一级、二级土地面积大量减少,而土壤中氮含量中等—缺乏的三级、四级和五级土地面积逐渐增大。对研究区不同土地利用方式土壤氮含量变化特征统计结果显示,研究区人为活动影响较强的水田和旱田两种主要土地利用方式土壤中氮含量丰富区的土地所占面积比例分别减少了 20.9 和 6.1 个百分点;人为活动影响相对较弱的沼泽湿地、草地和林地 3 种土地利用方式土壤氮含量丰富区的面积有所增加。对不同行政区市县土壤氮含量变化特征空间分析结果表明,研究区有 6 个市县土壤氮流失达到重度程度,建议作为黑土氮流失治理的重点地区;有 8 个市县(区)土壤氮流失达到中度程度,应作为土壤氮流失防与治兼顾的重点地区。

关键词: 松嫩平原;黑土地;氮流失;土地利用方式;人为影响

NITROGEN LOSS DEGREE AND DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF BLACK SOIL AREA IN SOUTH-CENTRAL SONGNEN PLAIN

YANG He-ping

Heilongjiang Institute of Natural Resources Survey, Harbin 150036, China

Abstract: The analysis of nitrogen content data in the black soil area of south-central Songnen Plain in 1980s and at present shows that the soil nitrogen loss rate is up to 5.02% over the past 40 years, generally with the grades 1 and 2 land area of rich-relatively rich soil nitrogen content greatly reducing and the grades 3, 4, and 5 land area of moderate-deficient nitrogen content gradually increasing. The statistics of variation characteristics of soil nitrogen content by land use types indicate the proportions of paddy field and upland field strongly affected by human activities with high nitrogen content have decreased by 20.9 and 6.1 percentage points respectively, while the areas of marsh wetland, grassland and forest less affected by human activities rich in soil nitrogen content have increased. The spatial analysis on variation of soil nitrogen content in different administrative regions reflects the soil nitrogen loss in 6 cities and counties has reached severe degree, which should be the key areas of black soil nitrogen loss control as suggested. The soil nitrogen loss in other 8 cities and counties/districts is moderate, regarded as the key areas for both prevention and control of soil nitrogen loss.

Key words: Songnen Plain; black soil; nitrogen loss; land use type; human impact

收稿日期:2021-01-06;修回日期:2021-04-20. 编辑:张哲.

基金项目:黑龙江省政府和国土资源部合作项目“黑龙江省农业地质调查”(编号 1212010511217)。

作者简介:杨贺平(1972—),男,高级工程师,现从事地质矿产勘查、地质大数据建设工作,通信地址:黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号,E-mail/yhp100@163.com

0 引言

在长期的农业生产和人类活动中,土壤作为可再生的资源,在维护农业生态平衡中具有重要意义^[1-2],氮是土壤肥力的主要营养元素,也是植物生长必需的大量元素之一,对植物生命活动以及作物产量和品质均有极其重要的作用^[3-7],土壤中氮含量的变化对土地资源农业产能的影响巨大^[8-12],松嫩平原黑土区是东北黑土地的重要组成部分,是国家粮食安全保障的重要基地,然而由于连续耕作已经造成大面积黑土营养成分的大量流失^[13-19]。本研究以 20 世纪 80 年代第二次土壤普查数据为基础^[20],对比研究松嫩平原黑土区 40 年来土壤氮含量的变化特征,为黑土地土壤氮流失防治提供基础信息。

1 研究区概况

研究区位于松嫩平原中南部,地理坐标为北纬 44°40′—48°00′、东经 122°15′—128°10′,海拔高度 135~300 m,属寒温带大陆性季风气候;年平均气温 0~4℃,年均降水量 370~670 mm。研究区地貌呈现出东北高、西南低的趋势,即东北部为高平原,而西南部和中部为低平原区。高平原区主要为农耕区,局部地区有林地分布;低平原区为草原,在草原区内局部有沼泽湿地。松花江和嫩江是区内两条主要水系。

2 试验方法

2.1 样品采集与分析

土壤样品的采集按照《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》(DZ/T0258—2014)规定执行。土壤样品的基本采样密度为 1 个点/km²,采样深度为 0~20 cm,在采样点附近 100 m 范围内多点采集以增强土壤样品的代表性。采集后的土壤样品质量大于 1 000 g,样品自然干燥后过 20 目(<0.84 mm)尼龙筛。对过筛后的土壤样品按 1 件/4 km² 进行样品组合,将组合样品送到具有承担多目标区域地球化学样品分析测试资质的实验室进行包括氮在内的 54 项指标的分析测试。样品分析质量采用了外部质量监控和内部质量监控相结合的方法保证测试分析质量的可靠性,样品分析元素的检出限、报出率以及分析的准确度和精密度均满足规范要求,不同分析批次以及相邻图幅之

间各元素无明显的系统偏倚。

2.2 资料收集与分析统计

以第二次土壤普查松嫩平原各剖面土壤样品中氮含量为基准,本次多目标区域地球化学调查土壤样品中的氮含量为统计研究对象,充分利用 MapGIS 空间叠加分析技术,研究不同土壤氮含量级别、不同土地利用方式以及各县市土壤中氮增减变化特征,为黑土地土壤氮流失程度评价以及黑土流失防治提供依据。

3 结果与分析

3.1 不同级别土壤氮含量变化特征

松嫩平原中南部黑土研究区 20 世纪 80 年代第二次土壤普查土壤中氮平均含量为 $1\ 937.4\times 10^{-6}$,目前土壤氮平均含量为 $1\ 840.2\times 10^{-6}$ 。40 多年来,松嫩平原中南部黑土区土壤氮平均减少 97.21×10^{-6} ,平均失率达到 5.02%。

为使不同时期土壤氮含量变化特征具有可比性,本研究将第二次土壤普查土壤氮与目前土壤氮元素含量采用相同的方法编制氮元素等级分布图,分别按大于 $2\ 000\times 10^{-6}$ 、 $1\ 500\times 10^{-6}\sim 2\ 000\times 10^{-6}$ 、 $1\ 000\times 10^{-6}\sim 1\ 500\times 10^{-6}$ 、 $750\times 10^{-6}\sim 1\ 000\times 10^{-6}$ 和小于 750×10^{-6} 五个含量等级划分为一等(丰富)、二等(较丰富)、三等(中等)、四等(较缺乏)和五等(缺乏),不同时期松嫩平原中南部黑土区土壤氮含量分布特征分别见图 1、图 2。

通过土壤氮含量分级图对比可见,土壤氮含量等级分布特征总体相似,土壤氮含量达到一等、二等的土地主要呈半环形分布在研究区地势相对较高的高平原区,而土壤氮含量为四、五等土地主要分布在研究区地势相对较低的低平原区。相对 20 世纪 80 年代,土壤氮含量达到一等、二等的土地面积明显减少,而土壤氮含量为四等、五等的土地面积呈现集中连片大面积增加。

从研究区土壤氮含量等级变化特征统计(表 1)可以看出,目前研究区土壤中氮含量丰富(一等)、较丰富(二等)的土壤面积较 20 世纪 80 年代分别减少了 7.12% 和 10.42%,而土壤中氮中等、较缺乏和缺乏土壤面积分别增加了 10.96%、4.49% 和 281.19%。即松嫩平原中南部黑土氮含量较丰富区的土壤在大面积减少,而中低含量的土壤在大面积增加。

①黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江第二次土壤普查数据册(上册、下册). 1990.

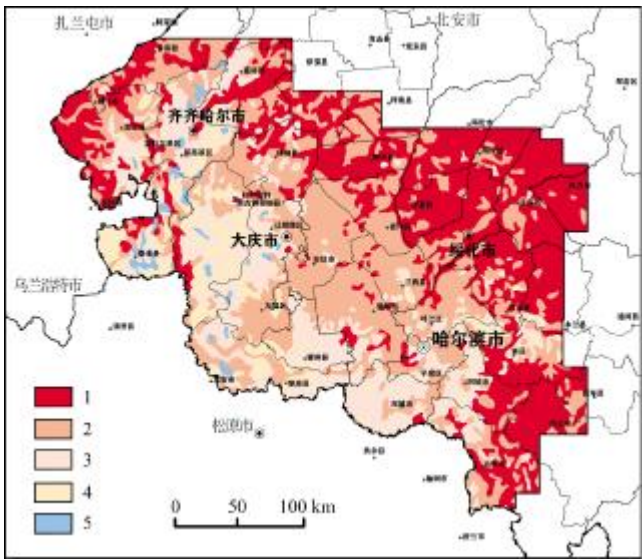


图 1 20 世纪 80 年代松嫩平原中南部黑土区土壤氮含量分级图

Fig. 1 Grading map of soil nitrogen content in the black soil area of south-central Songnen Plain in 1980s
1— 一级 ($>2000\times10^{-6}$); 2— 二级 ($1500\times10^{-6}\sim2000\times10^{-6}$); 3— 三级 ($1000\times10^{-6}\sim1500\times10^{-6}$); 4— 四级 ($750\times10^{-6}\sim1000\times10^{-6}$); 5— 五级 ($\leq750\times10^{-6}$)

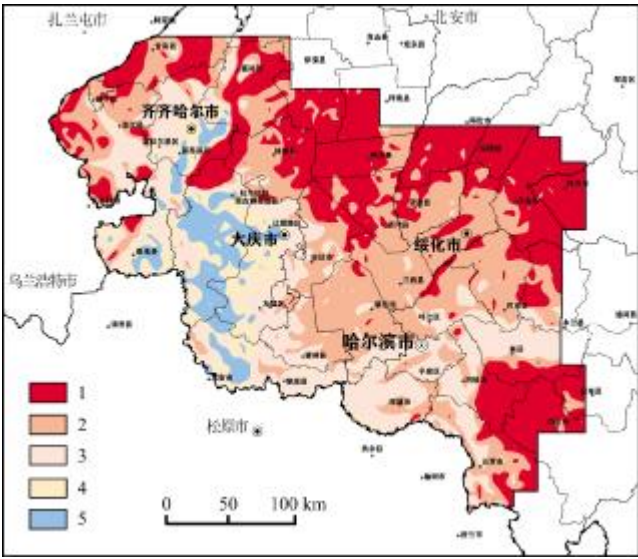


图 2 松嫩平原中南部黑土区土壤氮含量分级现状图

Fig. 2 Current grading map of soil nitrogen content in the black soil area of south-central Songnen Plain
1— 一级 ($>2000\times10^{-6}$); 2— 二级 ($1500\times10^{-6}\sim2000\times10^{-6}$); 3— 三级 ($1000\times10^{-6}\sim1500\times10^{-6}$); 4— 四级 ($750\times10^{-6}\sim1000\times10^{-6}$); 5— 五级 ($\leq750\times10^{-6}$)

表 1 研究区土壤氮含量等级变化特征统计表
Table 1 Variation characteristics of soil nitrogen content grades in the study area

分级	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五(缺乏)
含量/ 10^{-6}	$>20\ 000$	$1\ 500\sim2\ 000$	$1\ 000\sim1\ 500$	$750\sim1\ 000$	≤750
20 世纪 80 年代面积/ km^2	35 265.3	36 769	270221.7	6 932.6	1 356.4
目前面积/ km^2	32 756.1	32 937.6	227437.1	7 243.8	5 170.4
面积变化/ km^2	-2 509.2	-3 831.4	27215.4	311.2	3 814
变化率/%	-7.12	-10.42	10.96	4.49	281.19

3.2 土地利用方式与氮变化特征

20 世纪 80 年代至今 40 年来,松嫩平原中南部黑土区不同土地利用方式变化较小,各种土地利用方式面积变化均在 1%左右. 因此在不同土地利用方式土壤氮含量等级变化统计(表 2)中,视作两个时期土地利用方式面积无变化. 从表 2 可见,相对 20 世纪 80 年代,人类活动影响较强的水田、旱田、建筑用地等土地利用方式土壤氮含量丰富区面积占比呈现出大幅度减少. 水田、旱田是研究区所占面积比例较大的土地利用方式,水田、旱田土壤氮含量丰富的土地面积分别由占该土地利用方式的 49.3%和 34.6%减少到 28.4%和

28.5%,分别减少了 20.9 和 6.1 个百分点. 水田和旱田两种土地利用方式土壤氮含量较丰富和中等的土地面积相对增加了,土壤氮含量较缺乏和缺乏的土地面积相对减少. 水田和旱田土壤氮含量在丰富区和缺乏区土地面积减少,而在土壤氮含量中等区的土地面积增大,这种变化特征与水田和旱田在农业生产过程中肥料(主要为氮肥)投入的数量有关,即土壤肥沃的土地施肥相对较少而土壤相对较贫的土地施肥较多.

研究区沼泽湿地、草地和林地土壤氮含量变化特征与水田、旱田土地利用方式土壤氮含量变化特征基本相似,即土壤氮含量丰富区和缺乏区的土地面积增

表 2 研究区不同土地利用方式土壤氮含量等级变化特征统计表

Table 2 Variation characteristics of soil nitrogen content grades by land use types in the study area

时代	土地利用	面积/km ²	一等(丰富)/%	二等(较丰富)/%	三等(中等)/%	四等(较缺乏)/%	五等(缺乏)/%
20 世纪 80 年代	旱田	58 116.1	34.6	40.1	19.3	5.2	0.8
	水田	4 155.0	49.3	28.0	18.3	3.3	1.0
	草地	18 832.4	20.0	38.4	26.5	12.3	2.6
	林地	9 334.7	70.9	16.3	7.5	4.1	1.1
	未利用地	1 572.8	13.5	29.2	38.8	15.0	3.5
	沼泽湿地	7 307.6	31.6	34.4	21.9	10.1	2.0
	建筑用地	1 226.5	18.5	44.3	28.8	6.3	2.1
目前	旱田	58 116.1	28.5	41.0	23.8	4.4	2.2
	水田	4 155.0	28.4	42.7	27.5	1.3	0.2
	草地	18 832.4	23.7	23.7	22.8	4.0	14.4
	林地	9 334.7	75.5	13.7	4.2	0.37	3.1
	未利用地	1 572.8	11.7	6.5	23.8	19.5	50.4
	沼泽湿地	7 307.6	38.3	15.6	26.7	12.2	7.4
	建筑用地	1 226.5	12.9	30.4	36.2	13.2	6.4

加，而土壤氮含量中等区的土地面积大量减少。相对 20 世纪 80 年代，研究区沼泽湿地、草地和林地土壤氮含量丰富区的土壤面积占比分别增加 6.7、3.7 和 4.6 个百分点，土壤氮含量缺乏区的面积占比则分别增加 5.4、11.8 和 2.0 个百分点。未利用土地和建筑用地土壤中氮含量由丰富到缺乏所占的面积比例逐渐增大。

3.3 区域经济社会发展与土壤氮变化特征

为了准确掌握松嫩平原中南部黑土区土壤氮含量空间变化特征，以目前土壤氮含量与 20 世纪 80 年代土壤氮含量的差值(增减)绘制了研究区 40 年来土壤氮增减程度变化图(图 3)。

由图 3 可见，松嫩平原中南部黑土区的东部、北部局部地带土壤中氮有所增加，而绝大部分地区土壤中氮处于平衡或减少状态，但减少程度有较大差异。

以研究区内市县(区)为评价单元，以土壤中氮变化率小于-8%为重度，-8%~-5%为中度，-5%~-1%为轻度，-1%~0 为轻微分别评价区内黑土地土壤氮流失程度。分别统计了研究区 34 个市县(区)40 年来土壤氮含量变化情况，结果见表 3。

松嫩平原中南部黑土区土壤氮流失程度达到重度的市县(区)有 6 个，分别为大庆市、肇源县、杜尔伯特

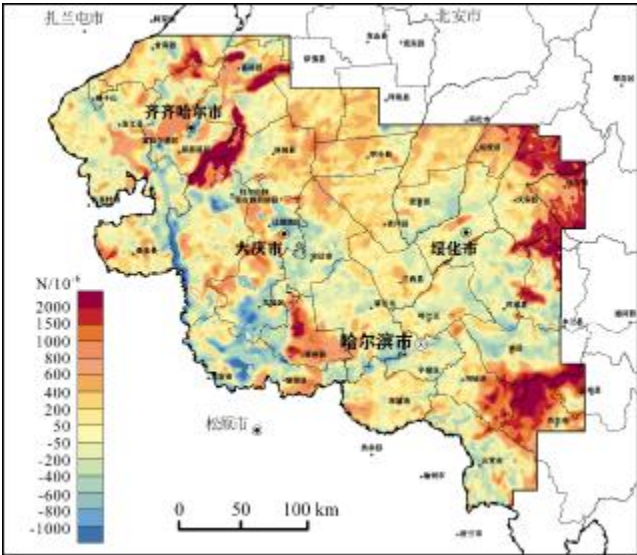


图 3 40 年来松嫩平原中南部黑土区土壤氮含量变化图

Fig. 3 Color scale map of soil nitrogen content change in the black soil area of south-central Songnen Plain over the past 40 years

自治区、泰来县、哈尔滨市、巴彦县；土壤氮流失程度达到中度的市县有 8 个，分别为讷河县、望奎县、宾县、齐齐哈尔市、木兰县、五常市、绥化市、呼兰区；土壤氮流失程度达到轻度的市县(区)有 4 个，分别为肇东市、安达市、龙江县、富裕县；存在轻微土壤氮流失的市县

表 3 不同行政区土壤氮含量变化特征及流失程度评价表
Table 3 Evaluation of variation and loss degree of soil nitrogen content by administrative regions

地区	面积/ km ²	样本/ 个	原均值/ 10 ⁻⁶	现均值/ 10 ⁻⁶	变化量/ 10 ⁻⁶	变化率/ %	评价
哈尔滨市	1647.1	415	1600.2	1437.8	-162.4	-10.15	重度
阿城区	2812.5	723	2217.4	2276.6	59.2	2.67	
呼兰区	2615.2	658	1718.7	1631.9	-86.8	-5.05	中度
双城区	3114.8	778	1360.3	1369.8	9.3	0.68	
五常市	4172.7	1046	1922.8	1813.3	-109.5	-5.69	中度
尚志县	2182.2	563	3471.1	3449.7	-21.4	-0.62	轻微
巴彦县	3138.3	794	2002.3	1830.4	-171.9	-8.59	重度
木兰县	2067.4	528	2555	2406.3	-148.7	-5.82	中度
宾县	3248	830	2036.5	1903	-133.5	-6.56	中度
延寿县	713.1	183	3141.5	3122.1	-19.3	-0.61	轻微
齐齐哈尔市	4449.3	1112	1819.9	1706.1	-113.8	-6.25	中度
龙江县	5880.2	1438	1831.7	1765.3	-66.4	-3.63	轻度
依安县	2041	494	2160.3	2209.3	48.9	2.26	
泰来县	3915.5	965	1322.2	1151.1	-171.1	-12.94	重度
富裕县	3984.7	993	2160.7	2110	-50.7	-2.35	轻度
拜泉县	1516.7	364	2039.6	2109.7	70.1	3.44	
甘南县	2760.9	673	2198.8	2180.2	-14.61	-0.66	轻微
讷河县	275.2	22	1985.3	1827.5	-157.8	-7.96	中度
大庆市	5052.9	1248	1414.2	1029	-385.2	-27.24	重度
杜蒙县	6037.1	1493	1472.2	1113.5	-358.7	-24.36	重度
林甸县	3489.2	862	2102.7	2193.5	90.8	4.32	
肇源县	4141.9	1012	1423.7	1063.9	-359.8	-25.27	重度
肇州县	2445.9	610	1390.3	1460.7	70.4	5.06	
绥化市	2750.4	702	2076.4	1961.8	-114.6	-5.52	中度
安达市	3617.6	891	1757.1	1690	-67.1	-3.82	轻度
肇东市	4327	1095	1690.6	1611.9	-78.7	-4.66	轻度
海伦市	2241.5	555	2203.6	2199.2	-4.4	-0.20	轻微
铁力市	1530	389	3076.2	3066.9	-9.3	-0.30	轻微
绥棱县	1318	328	2559.6	2616.1	56.5	2.21	
望奎县	2314.5	589	2033.9	1876.1	-157.8	-7.76	中度
兰西县	2483.6	630	1738.9	1781.4	42.5	2.44	
青岗县	2677.7	686	1941.2	1995.3	54.1	2.79	
庆安县	3728	954	2851.1	2835.4	-15.7	-0.55	轻微
明水县	2294.7	583	2131.6	2151.5	19.9	0.93	

注:变化量=现均值-原均值,增加为正值,减少为负值;变化率=变化量×100/原均值。

(区)有 6 个,分别为甘南县、尚志县、延寿县、庆安县、铁力市、海伦市。

松嫩平原中南部黑土区土壤氮含量增加的市县(区)有 10 个,分别为双城区、明水县、绥棱县、依安县、兰西县、阿城区、青岗县、拜泉县、林甸县、肇州县,其中肇州县土壤中氮含量较 20 世纪 80 年代增加了 5.06%,也是研究区土壤氮增加幅度最高的市/县。

4 结论与讨论

(1)松嫩平原南部黑土地土壤中氮含量相对 20 世纪 80 年代平均减少了 5.02%,土壤氮流失较严重。其中,土壤氮含量丰富和较丰富地区是土壤氮流失严重的地区。

(2)水田、旱田是松嫩平原南部黑土地两种主要土地利用方式,是研究区土壤氮流失最为严重的土地利用方式。水田、旱田土壤氮丰富区的土地面积占比分别较 20 世纪 80 年代减少了 20.9 和 6.1 个百分点。

(3)土壤氮流失程度达到重度的 6 个市县(区)建议作为黑土区土壤氮流失治理的重点地区;黑土地土壤氮流失程度达到中度的 8 个市县(区)应列为防与治兼顾的重点地区;黑土区土壤氮流失程度为轻度的 4 个市县(区)和有轻微的土壤氮流失的 6 个市县(区)均进行应长期观测,防止土壤氮等营养成分流失程度进一步恶化。

参考文献(References):

[1]董士伟,李红,孙丹峰,等.北京市大兴区土壤养分空间结构及影响因素分析[J].水土保持研究,2015,22(2):32-35.
Dong S W, Li H, Sun D F, et al. Analysis on spatial structure and influence factor of soil nutrients in Daxing District of Beijing [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(2): 32-35.
[2]熊杏,熊清华,郭熙,等.南方典型丘陵区耕地土壤全氮、有机碳和碳氮比空间变异特征及其影响因素[J].植物营养与肥料学报,2020,26(9):1656-1668.
Xiong X, Xiong Q H, Guo X, et al. Spatial variation characteristics of total nitrogen, organic carbon and ratio of carbon to nitrogen of cultivated land in typical hilly areas in south china and its influencing factors [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(9): 1656-1668.
[3]刘沂阳,华伟,张诗雨,等.东北棕壤长期不同施肥处理轮作大豆氮素吸收和土壤硝态氮特征[J].植物营养与肥料学报,2020,26(1):10-18.

- Liu L Y, Hua W, Zhang S Y, et al. Nitrogen uptake of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of Northeast China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(1): 10-18.
- [4] 妙颖, 杨胜科, 黄瑞华. 氮素在土壤-作物中迁移转化的试验研究[J]. *环境保护科学*, 2009, 35(4): 89-91, 120.
- Miao Y, Yang S K, Huang R H. Study on migration and transformation of nitrogen in soil-crop system[J]. *Environmental Protection Science*, 2009, 35(4): 89-91, 120.
- [5] 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.
- [6] 张立, 崔玉军, 刘国栋, 等. 哈尔滨-绥化地区土壤氮储量及其时空变化特征[J]. *地质与资源*, 2014, 23(2): 188-191.
- Zhang L, Cui Y J, Liu G D, et al. Soil nitrogen storage and its variation in space and time in Harbin-Suihua Area[J]. *Geology and Resources*, 2014, 23(2): 188-191.
- [7] 杨忠芳, 汤奇峰, 成杭新, 等. 爱恨交织的化学元素[M]. 北京: 地质出版社, 2019: 31-36.
- Yang Z F, Tang Q F, Cheng H X, et al. Story of the chemical elements[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019: 31-36. (in Chinese)
- [8] 孙泽群. 秸秆腐熟还田及其对黑土肥力的影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- Sun Z Q. Study on straw maturity returning to field and its effect on black soil fertility[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.
- [9] 赵振达, 张金盛, 任顺荣, 等. 北方旱地土壤氮素平衡[J]. *华北农学报*, 1988, 3(4): 67-72.
- Zhao Z D, Zhang J S, Ren S R, et al. The nitrogen balance of crop field soil in north area of China[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1988, 3(4): 67-72.
- [10] 谢雅慧. 黑土区田块土壤养分空间分布预测研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- Xie Y H. Prediction of soil nutrients spatial distribution in black soil area at the field scale[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.
- [11] 戴慧敏, 赵君, 刘国栋, 等. 东北黑土地质量调查成果[J]. *地质与资源*, 2020, 29(3): 299.
- Dai H M, Zhao J, Liu G D, et al. Progress in the quality survey of black soil in Northeast China[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(3): 299.
- [12] 朱霞, 韩晓增. 不同土地利用方式下黑土氮素含量变化特征[J]. *江苏农业学报*, 2008, 24(6): 843-847.
- Zhu X, Han X Z. Effect of land use on nitrogen content in black soil[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 24(6): 843-847.
- [13] 董芳辰, 刘晓光, 于杰, 等. 富锦市湿地不同开垦年限土壤养分时空分布特征研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(8): 167-174.
- Dong F C, Liu X G, Yu J, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of soil nutrient under different reclamation years for wetlands in Fujin City[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(8): 168-174.
- [14] 杨子, 刘晓光, 宁静, 等. 典型黑土垄作区耕地沟蚀对土壤养分的影响研究[J]. *土壤*, 2017, 49(2): 379-385.
- Yang Z, Liu X G, Ning J, et al. Effects of gully erosion on soil nutrients in ridge area of typical black soil[J]. *Soils*, 2017, 49(2): 379-385.
- [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] 方洪宾, 赵福岳, 姜琦刚, 等. 松辽平原第四纪地质环境与黑土退化[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 189-193.
- Fang H B, Zhao F Y, Jiang Q G, et al. Quaternary geological environment and black soil degradation in Songliao Plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 189-193.
- [17] 张一鹤, 杨泽, 戴慧敏, 等. 穆稜河-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.
- [18] 戴慧敏, 刘凯, 宋运红, 等. 东北地区黑土退化地球化学指示与退化强度[J]. *地质与资源*, 2020, 29(6): 510-517.
- Dai H M, Liu K, Song Y H, et al. Black soil degradation and intensity in Northeast China: Geochemical indication[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(6): 510-517.
- [19] 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.
- [20] 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: 中国农业出版社, 1992: 149-179.
- Heilongjiang Land Administration Bureau, Heilongjiang Provincial Soil Survey Office. Heilongjiang soil[M]. Beijing: China Agriculture Publishing House, 1992: 149-179. (in Chinese)