



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

杨贺平

黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 以 20 世纪 80 年代第二次土壤普查时期黑土有机质分析数据为基准, 以目前土地质量地球化学调查土壤有机质分析数据为研究对象, 利用 MapGIS 空间分析功能定量研究绥化市北林区黑土地土壤有机质含量的空间变化特征。研究结果显示, 近 30 a 以来研究区土壤有机质含量由 41.16×10^{-3} 下降到 37.68×10^{-3} , 土壤有机质流失率达 8.45%; 20 世纪 80 年代研究区土壤有机质含量在 $35 \times 10^{-3} \sim 45 \times 10^{-3}$ 的面积占研究区总面积的 73.93%, 而目前研究区土壤有机质含量在 $30 \times 10^{-3} \sim 40 \times 10^{-3}$ 的面积占研究区总面积的 70.24%; 研究区 82.1% 的土地面积土壤中有有机质呈现出不同程度的减少, 仅有 17.9% 的土地面积土壤中有有机质呈现出增加的趋势; 研究区黑土地以轻度 and 轻微土壤有机质流失程度为主, 仅在张维镇和四方台镇中南部、秦家镇中西部以及连岗乡中北部等局部地段土壤有机质流失程度达中度和重度, 这为精准施策开展黑土地土壤有机质流失治理提供了科学依据。

关键词: 黑土地; 有机质; 空间变化; 绥化市北林区; 黑龙江省

SPATIAL VARIATION CHARACTERISTICS OF SOIL ORGANIC MATTER CONTENT IN TYPICAL BLACK SOIL: A Case Study of Beilin District in Suihua City, Heilongjiang Province

YANG He-ping

Heilongjiang Institute of Natural Resources Survey, Harbin 150036, China

Abstract: Based on the analysis data of organic matters in black soil during the second national soil survey in the 1980s and those in the current land quality geochemical survey, the MapGIS spatial analysis is used to quantitatively study the spatial variation of organic matter content in the black land core area of Northeast China. The results show that the content of soil organic matters decreases from 41.16×10^{-3} to 37.68×10^{-3} in recent 30 years, with the organic matter loss rate of 8.45%. In 1980s, the areas with soil organic matter content of $35 \times 10^{-3} \sim 45 \times 10^{-3}$ account for 73.93% of the total study area, while the areas with soil organic matter content of $30 \times 10^{-3} \sim 40 \times 10^{-3}$ make up 70.24% currently. Of the land area, 82.1% shows different degrees of reduction in organic matter, while only 17.9% shows an increasing trend. The black land is dominated by mild and slight loss of soil organic matter, except for local areas with moderate and severe loss degree, which provides scientific basis for soil organic matter loss control in black land region.

Key words: black land; organic matter; spatial variation; Beilin District of Suihua City; Heilongjiang Province

收稿日期: 2021-12-02; 修回日期: 2021-12-31. 编辑: 李兰英.

基金项目: 自然资源部与黑龙江政府合作项目“黑龙江省农业地质调查(松嫩平原南部)(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

土壤有机质是土壤质量的核心,维系着土壤肥力、粮食安全、气候变化等关乎地球和人类生存发展的诸多要素^[1-3]。黑土之所以肥沃是因为富含有机质,东北黑土地是世界三大黑土带之一^[4-5],是我国粮食安全保障的基石^[6-7],有着“耕地里的大熊猫”的美誉。黑龙江省是东北黑土带的重要组成部分。黑龙江省粮食产量和商品粮产量双双连续多年位居全国第一位,其农业经济的持续发展得益于拥有大面积富含有机质的黑土地^[8-10]。然而,黑土地在高产、丰产的同时,也面临着黑土有机质大量减少、土地肥力透支的问题^[11-18]。因此,要保护利用好黑土地就必须首先准确掌握黑土有机质含量的空间变化特征^[19-20],才能精准施策为黑土流失防治提供科学依据,实现黑土生态文明建设和农业经济可持续发展双赢的目的^[21-22]。

1 研究区概况

黑龙江省绥化市北林区是典型东北寒地黑土地分布区域,是本次黑土有机质含量空间变化特征研究的主要对象。研究区位于松嫩平原中东部,地理坐标为46°19′—47°09′N、126°25′—127°27′E,面积2 756 km²,属寒温带大陆性季风气候;年平均气温2.4℃,日照时数2 766 h,积温2 580℃,无霜期约129 d,年均降水量547 mm。区内地势总体相对平坦,东北部地势相对较高,而西南部为平原区。黑土、黑钙土是绥化市北林区最主要的土壤类型,这两类土壤类型约占北林区总面积的90%,仅有约10%的草甸土呈条带状沿河流域区分布。区内主要有呼兰河、诺敏河、克音河、泥河、泥尔根河和津河,属于松花江流域呼兰河水系。绥化市北林区现有耕地面积17.45×10⁴ hm²,盛产水稻、玉米、大豆等农作物。

2 试验方法

2.1 样品采集与分析

用于绥化市北林区黑土有机质含量空间变化特征研究有两期的土壤有机质分析数据。一期数据是按照国务院国发〔1979〕111号文件精神要求,于1979—1990年第二次土壤普查期间在绥化市北林区采集的耕作层土壤有机质分析数据^①,这也是绥化市北林区

有记录以来基本涵盖所有村屯耕地的土壤有机质分析数据;另一期数据是2009—2019年按照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)要求在绥化地区开展的1:250 000土地质量地球化学调查,土壤样品的基本采样密度1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。采集后的土壤样品重量大于1 kg,土壤样品自然干燥后过20目(<0.84 mm)尼龙筛,将过筛后土壤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。

2.2 资料收集与分析统计

对绥化市北林区20世纪80年代第二次土壤普查土壤有机质分析数据和目前土地质量地球化学调查土壤有机质分析数据分别进行统计,并以20世纪80年代第二次土壤普查结果为基准值,利用MapGIS空间分析技术定量研究绥化市北林区黑土地土壤有机质含量的空间变化特征,评价研究区黑土地土壤有机质流失程度。

3 结果与分析

3.1 土壤有机质含量统计特征

为了使绥化市北林区不同时期土壤样品分析数据具有可比性,将绥化市北林区土地质量地球化学调查表层土壤有机碳分析数据全部转换成有机质(有机质=有机碳×1.724),并对两期土壤有机质地球化学参数特征进行统计,结果见表1。20世纪80年代第二次土壤普查时期绥化市北林区土壤有机质平均含量为41.16×10⁻³,而目前土地质量地球化学调查土壤有机质平均含量为37.68×10⁻³,土壤有机质平均减少了3.48×10⁻³,土壤有机质流失率达8.45%,有机质流失率=(目前有机质平均值-第二次土壤普查有机质平均值)÷第二次土壤普查有机质平均值×100%。

3.2 土壤有机质分布地球化学特征

根据绥化市北林区第二次土壤普查土壤有机质含量数据和目前土地质量地球化学调查有机质含量数据,按照土壤有机质含量5×10⁻³的等间距编制研究区

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:绥化市耕地农化样品分析结果登记表,1990。

不同时期土壤有机质含量地球化学图。从图 1、2 可见，研究区不同时期土壤有机质含量的分布特征基本相似，土壤有机质含量较高的地区主要分布在三井乡、张维镇、四方台镇、五营乡以及新华乡北部，土壤有机质含量相对较低的区域主要分布在双河镇、东津镇、津河镇、兴福乡、东富镇、宝山镇、西长发镇、红旗满族乡。

对绥化市北林区不同时期土壤有机质含量区间的面积及所占比率进行统计，结果见表 2。相对第二次土壤普查期间，目前研究区有机质高含量区间段所占的面积比率有所降低，而低含量区间段所占的面积比率有所增加。第二次土壤普查期间土壤有机质含量在 $35\times10^{-3}\sim40\times10^{-3}$ 和 $40\times10^{-3}\sim45\times10^{-3}$ 两个区间段的面

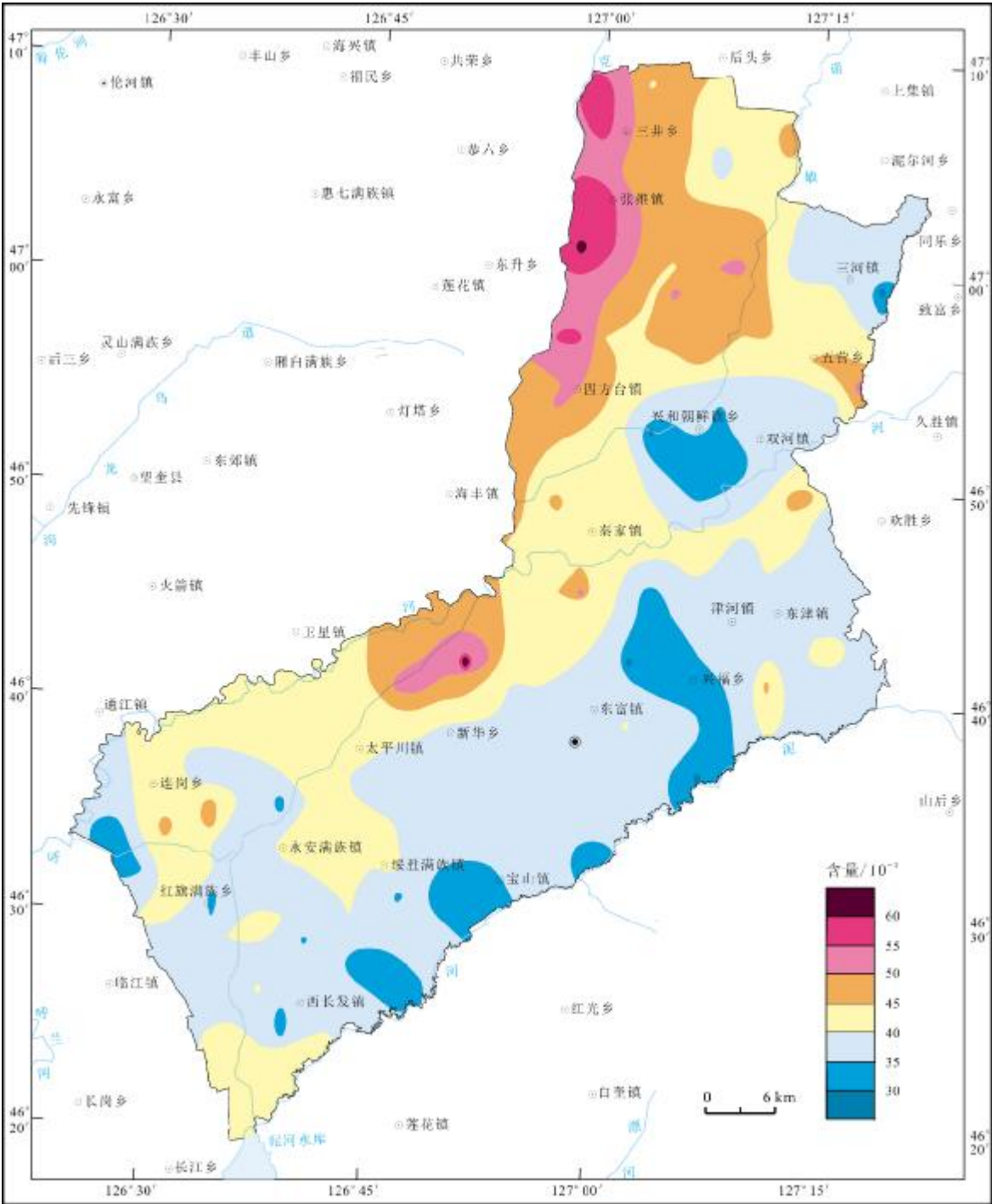


图 1 绥化市北林区第二次土壤普查时期土壤有机质含量图

Fig. 1 Distribution map of soil organic matter content during the second national soil survey in Beilin District, Suihua City

表 1 绥化市北林区土壤有机质地球化学参数特征表

Table 1 Characteristics of geochemical parameters of soil organic matter in Beilin District, Suihua City

时期	样本数	最大值	平均值	最小值	标准离差	变异系数
第二次土壤普查(1979—1990 年)	1032	97.4	41.16	0.4	10.24	0.249
目前土地质量调查(2009—2019 年)	726	119.6	37.68	4.0	10.84	0.288

含量单位:10⁻³.

积分别占研究区总面积的 42.18%和 31.75%,而目前研究区土地质量地球化学调查土壤有机质含量在 30×10⁻³~35×10⁻³ 和 35×10⁻³~40×10⁻³ 两个区间段的面积分别占研究区总面积的 39.63%和 30.61%.

表 2 绥化市北林区不同时期土壤有机质含量特征统计对比表

Table 2 Comparison of soil organic matter content characteristics between different periods in Beilin District, Suihua City

含量区间/10 ⁻³	第二次土壤普查		目前土地质量调查	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
>60	1.07	0.04	40.43	1.47
55~60	44.53	1.61	22.7	0.82
50~55	107.81	3.91	69.25	2.51
45~50	359.22	13.03	195.27	7.08
40~45	875.51	31.75	375.08	13.6
35~40	1163.15	42.18	844.25	30.61
30~35	205.2	7.44	1093.04	39.63
25~30	1.39	0.05	110.12	3.99
≤25	0	0	7.73	0.28

3.3 土壤有机质含量增减空间变化特征

为精确评判研究区黑土地土壤有机质含量增减空间变化特征,以绥化市北林区第二次土壤普查土壤有机质地球化学图为基准,以目前土地质量地球化学调查土壤有机质含量为研究对象,运用 MapGIS 点对区空间分析功能研究各土壤采样点位有机质含量增减变化特征(即以目前土壤有机质含量减去第二次土壤普查有机质含量,土壤有机质增加的数据为正数,土壤有机质减少的数据为负数),从而形成各土壤采样点位有机质含量增减变化特征的一系列数据.

绥化市北林区自第二次土壤普查至今土壤有机质含量增减变化特征见表 3. 近 30 a 以来,研究区土壤

有机质含量有增也有减,但总体上土壤有机质是减少的,平均土壤有机质减少了 3.35×10⁻³,土壤采样点位有机质增加最大值为 82.1×10⁻³,土壤采样点位有机质减少的最小值为 48.5×10⁻³.

表 3 绥化市北林区土壤有机质增减变化地球化学参数特征统计表

Table 3 Geochemical parameters of soil organic matter changes in Beilin District, Suihua City

最大值	平均值	中位数	众值	最小值	标准离差	变异系数
82.1	-3.35	-5.1	-6.0	-48.5	10.28	-0.326

含量单位:10⁻³.

根据研究区土壤有机质点对区空间分析形成的一系列土壤采样点位有机质增减变化数据,按照 5×10⁻³ 等间距编制研究区近 30 a 以来土壤有机质含量空间变化特征地球化学图(图 3).

由图 3 可见,研究区土壤以有机质减少为主体,其中土壤有机质减少 10×10⁻³ 以上的土地主要分布在张维镇、四方台镇、秦家镇、连岗乡,局部地段土壤有机质减少了 20×10⁻³ 以上,而土壤有机质增加的地区主要分布在三河镇、东富镇、新华乡东北部以及兴福乡西南部.

对研究区土壤有机质增减变化特征进行土地面积统计,结果见表 4. 近 30 a 以来,研究区 82.1%的土地面积土壤中有机质呈现出不同程度的减少,仅有占 17.9%的土地面积土壤中有有机质呈现出增加的趋势. 研究区土壤有机质减少 5×10⁻³ 以下的土地面积有 995.48 km²,占研究区总面积的 36.10%;土壤有机质减少在 5×10⁻³~10×10⁻³ 区间段的土地面积有 1 073.91 km²,占研究区总面积的 38.94%.

3.4 土壤有机质流失程度评价

土壤有机质的减少也就意味着该地区土壤中有机质年减少的量明显大于年积累的量,造成土壤中有机质的流失. 分别按土壤有机质增减量(有机质增加为

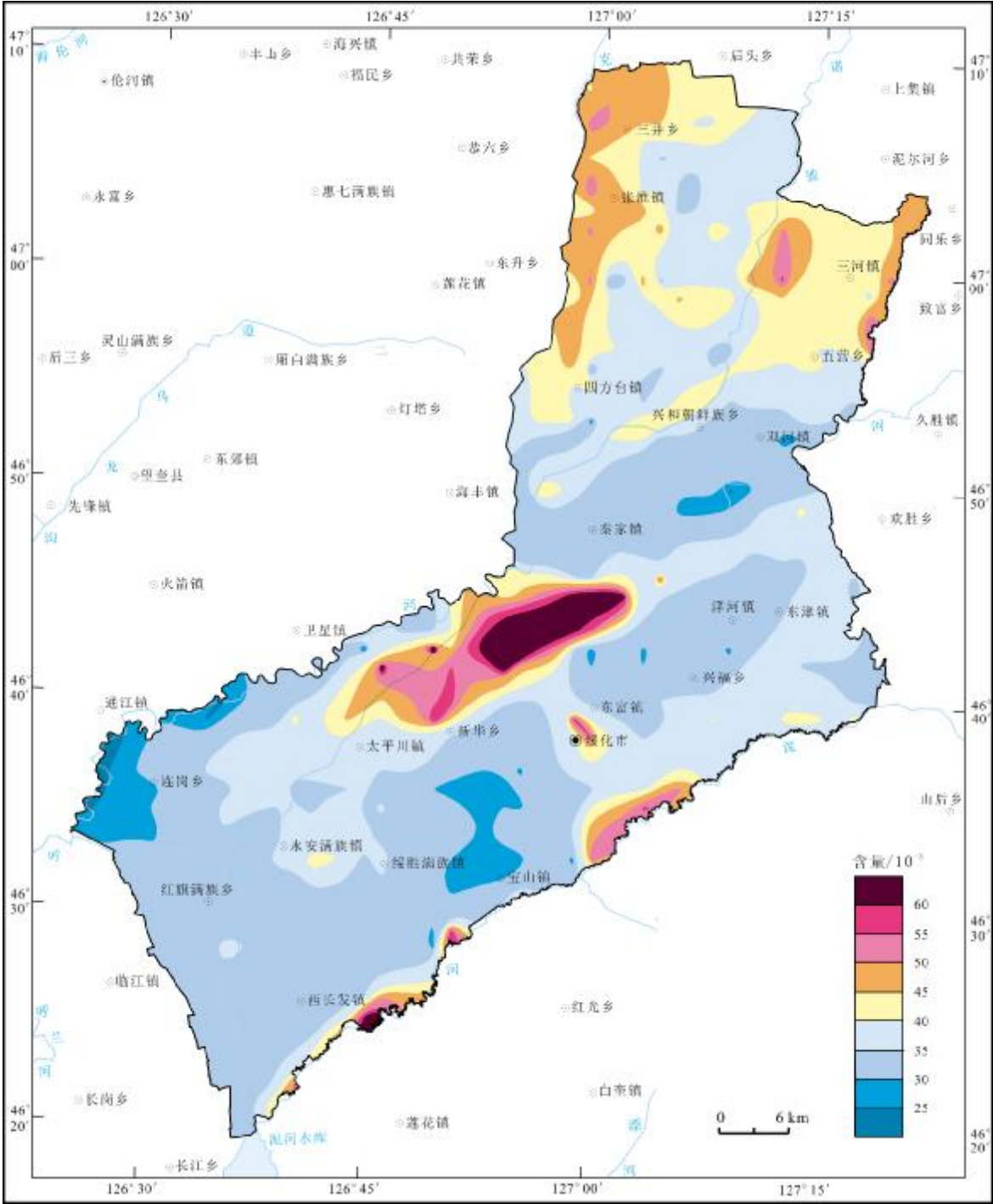


图 2 绥化市北林区目前土壤有机质含量图

Fig. 2 Distribution map of soil organic matter content in Beilin District, Suihua City

正数,有机质减少为负数)含量间隔评价研究区黑土地土壤有机质流失程度,结果见表 5. 研究区没有发生土壤有机质流失的一级土地资源仅占研究区总面积的 7.9%,属于轻微土壤有机质流失的二级土地资源占研究区总面积的 36.1%,属于轻度土壤有机质流失的三

级土地资源占研究区总面积的 38.94%,属于中度土壤有机质流失的四级土地资源占研究区总面积的 6.72%,达到重度土壤有机质流失的五级土地资源占研究区总面积的 0.34%. 研究区土壤有机质流失达到中度和重度区域主要分布在张维镇中南部、四方台

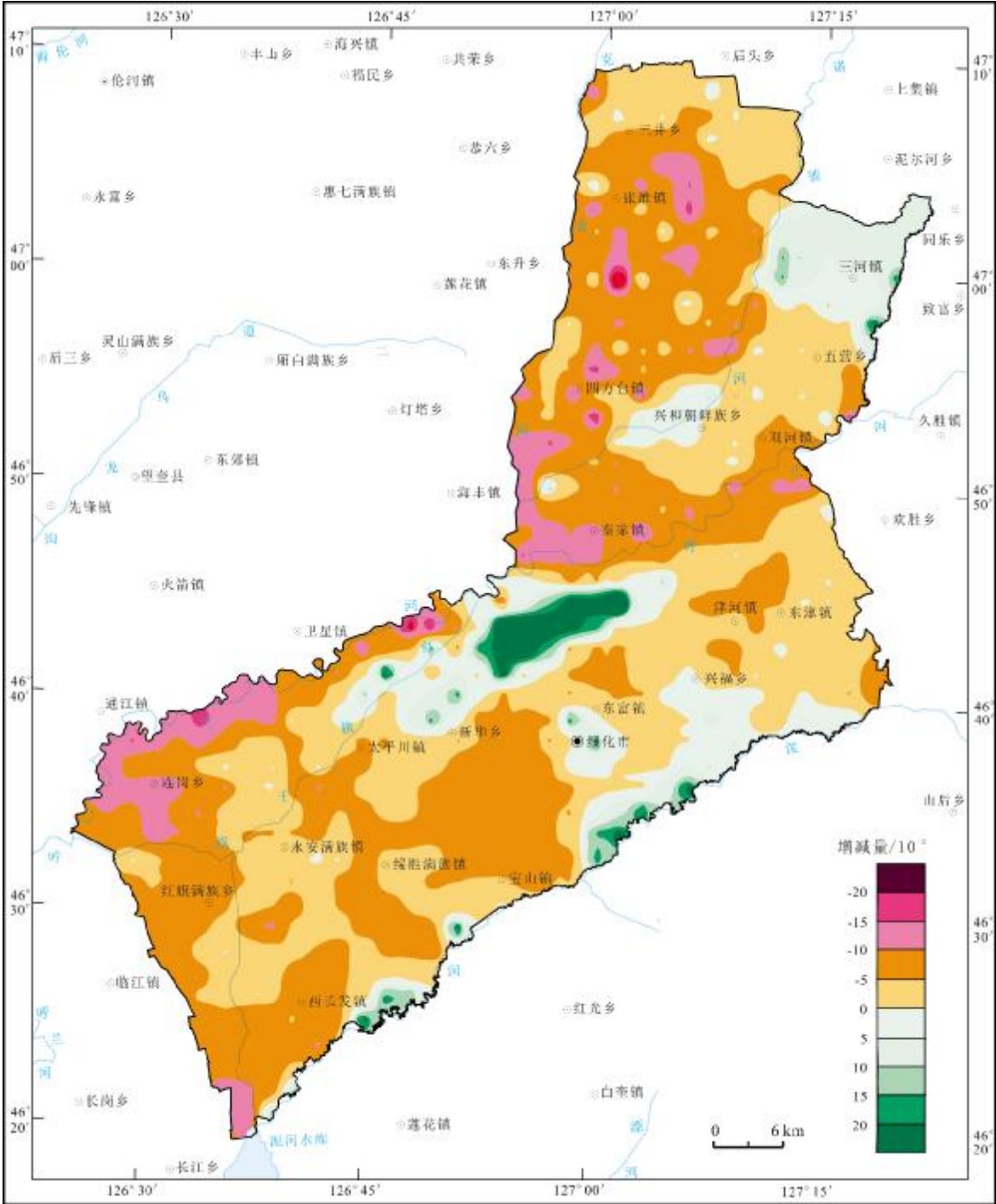


图 3 绥化市北林区近 30 a 土壤有机质含量增减变化特征图

Fig. 3 Changes of soil organic matter contents in the past 30 years in Beilin District, Suihua City

镇中南部、秦家镇中西部以及连岗乡中北部等局部地段。

4 结论

(1)对绥化市北林区土地质量地球化学调查土壤

有机质分析数据与第二次土壤普查期土壤有机质分析数据进行统计对比研究,发现在近 30 年来研究区土壤有机质平均减少了 3.48×10^{-3} ,土壤有机质流失率达 8.45%。

(2)根据绥化市北林区不同时期土壤有机质含量特征土地面积统计对比,发现第二次土壤普查时期研究

表 4 绥化市北林区土壤有机质增减变化特征土地面积统计表
Table 4 Land areas and proportions of soil organic matter changes in Beilin District, Suihua City

增减量变化区间/ 10^{-3}	面积/ km^2	占比/%
<-20	1.84	0.07
-20~-15	7.42	0.27
-15~-10	185.44	6.72
-10~-5	1073.91	38.94
-5~0	995.48	36.10
0~5	268.70	9.74
5~10	127.15	4.61
10~15	42.01	1.52
15~20	21.46	0.78
≥ 20	34.49	1.25

表 5 绥化市北林区土壤有机质流失程度评价表
Table 5 Evaluation of soil organic matter loss degree in Beilin District, Suihua City

评价	增加	轻微流失	轻度流失	中度流失	重度流失
等级	一级	二级	三级	四级	五级
增减量/ 10^{-3}	>0	-5~0	-10~-5	-15~-10	≤ -15
面积/ km^2	493.81	995.48	1073.91	185.44	9.26
占比/%	17.90	36.10	38.94	6.72	0.34

区 73.93%土地面积土壤有机质含量在 $35\times 10^{-3}\sim 45\times 10^{-3}$ 区间,而目前研究区占 70.24%土地面积土壤有机质含量在 $30\times 10^{-3}\sim 40\times 10^{-3}$ 区间。

(3)运用 MapGIS 点对区空间分析研究了绥化市北林区近 30 年来土壤有机质含量增减空间变化特征。研究区 82.1%的土地面积土壤中有机质呈现出不同程度的减少,仅有占 17.9%的土地面积土壤中有机质呈现出增加的趋势。

(4)分别按土壤有机质不同减少量的含量间隔(表 5)评价研究区黑土地土壤有机质流失程度,结果表明研究区黑土地以轻度和轻微土壤有机流失为主,中度有机质流失区次之,而重度土壤有机质流失区面积 9.26 km^2 ,占研究区总面积的 0.34%。

(5)绥化市北林区的成土母质均为冲洪积型,土壤类型主要为黑土、黑钙土,总体地势相对平坦。但从微

地形地貌特征分析以及河流特征分析,土壤有机质流失较严重的地区基本处于河流流速相对较快、地形坡度相对较大的地段(存在陡坎),甚至有部分地段存在耕地的方向顺着地块缓坡的方向,这些因素可能是造成北林区土壤有机质流失的主要因素。

(6)东北黑土地是我国土壤有机质含量较高的土地资源,也是我国重要的粮食生产基地和商品粮基地,而地处东北黑土核心区的绥化市北林区总体地势相对平坦,但是仍然有占总研究区面积 65.43%的黑土地存在明显的土壤有机质流失现象。虽然绥化市北林区黑土有机质流失较严重,但是仍然达到中国土壤肥力质量含量高级别($>20\times 10^{-3}$)对有机质的要求^[25]。目前东北黑土地其他市县土壤有机质空间变化特征尚不清晰,因此,有必要全面开展东北黑土地市县级土壤有机质流失程度调查评价工作,为实施精准的黑土地有机质流失治理提供准确、可靠信息。

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]刘希瑶.辽宁南部地区土壤地球化学特征及评价[J].地质与资源,2019,28(5):470-476.
Liu X Y. Geochemistry and evaluation of the soil in southern Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2019, 28(5): 470-476.

[4]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.

[5]宋运红,刘凯,戴慧敏,等.松辽平原典型黑土-古土壤剖面 AMS¹⁴C 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 AMS¹⁴C age of mollisol-paleosol profile of Songliao Plain [J]. Geology in China,

- 2020, 47(6): 1926–1927.
- [6]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.
- [7]杨贺平. 松嫩平原中南部黑土氮流失程度及分布特征研究[J]. 地质与资源, 2021, 30(5): 577–582.
- Yang H P. Nitrogen loss degree and distribution characteristics of black soil area in south-central Songnen Plain [J]. *Geology and Resources*, 2021, 30(5): 577–582.
- [8]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.
- [9]韩晓增, 邹文秀. 东北黑土地保护利用研究足迹与科技研发展望[J]. 土壤学报, 2021, 58(6): 1341–1358.
- Han X Z, Zou W X. Research perspectives and footprint of utilization and protection of black soil in Northeast China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58(6): 1341–1358.
- [10]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.
- [11]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.
- [12]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.
- [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): 167–174.
- [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]方洪宾. 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. Quaternary geological environment and black soil degradation in Songliao Plain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 189–193. (in Chinese)
- [16]梁尧, 韩晓增, 丁雪丽. 东北黑土有机质组分与结构的研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(6): 888–897.
- Liang Y, Han X Z, Ding X L. Review of soil organic matter fractions and structure of black soil in Northeast China [J]. *Soils*, 2012, 44(6): 888–897.
- [17]隋跃宇, 张兴义, 张少良, 等. 黑龙江典型县域农田黑土土壤有机质现状分析[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 186–188.
- Sui Y Y, Zhang X Y, Zhang S L, et al. Soil organic matter actuality of the black soil farmland in Heilongjiang counties [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 186–188.
- [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]张少良, 张兴义, 崔战利. 哈尔滨市辖区黑土有机质、全氮的空间异质性分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3): 333–337.
- Zhang S L, Zhang X Y, Cui Z L. The spatial variability of organic matter and total nitrogen contents in black soil region of Harbin [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2007, 23(3): 333–337.
- [20]孟凯, 王德录, 张兴义, 等. 黑土有机质分解、积累及其变化规律[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 42–46.
- Meng K, Wang D L, Zhang X Y, et al. Decomposition, accumulation and their variant pattern of organic matter in black soil area [J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(1): 42–46.
- [21]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.
- [22]宋运红, 刘凯, 戴慧敏, 等. 35年来东北松辽平原耕地土壤全氮时空变化[J]. 中国地质, 2021, 48(1): 332–333.
- Song Y H, Liu K, Dai H M, et al. Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Songliao Plain in Northeast China during the past 35 years [J]. *Geology in China*, 2021, 48(1): 332–333.

- significance of the ilmenite of the Panzhihua intrusion [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(5): 1432-1442.
- [11] 郭道军, 于海军, 王雪, 等. 攀枝花钒钛磁铁矿地质特征与成矿远景[J]. *四川地质学报*, 2014, 34(4): 523-528.
- Guo D J, Yu H J, Wang X, et al. Geological features and prospecting potential of the Panzhihua vanadic titanomagnetite deposit [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2014, 34(4): 523-528.
- [12] 张晓琪, 张加飞, 宋谢炎, 等. 斜长石和橄榄石成分对四川攀枝花钒钛磁铁矿床成因的指示意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27(12): 3675-3688.
- Zhang X Q, Zhang J F, Song X Y, et al. Implications of compositions of plagioclase and olivine on the formation of the Panzhihua V-Ti magnetite deposit, Sichuan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(12): 3675-3688.
- [13] 赵一鸣, 李大新, 韩景仪, 等. 内蒙古羊蹄子山-磨石山钛矿床锐钛矿、金红石和钛铁矿的矿物学特征[J]. *矿床地质*, 2008, 27(4): 466-473.
- Zhao Y M, Li D X, Han J Y, et al. Mineralogical characteristics of anatase, rutile and ilmenite in Yangtizashan-Moshishan titanium ore deposit, Inner Mongolia [J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(4): 466-473.
- [14] 郭涛, 林明明, 郭勇明, 等. 新疆若羌县沙河湾钛磁铁矿地质特征及找矿意义[J]. *西北地质*, 2016, 49(3): 99-106.
- Guo T, Lin M M, Guo Y M, et al. Geological characteristics and prospecting significance of Shahewan titanium magnetite deposit in Ruoqiang county, Xinjiang [J]. *Northwestern Geology*, 2016, 49(3): 99-106.
- [15] 邵建波, 李景光, 王洪涛, 等. 吉林白山五道羊岔新太古代大型钒钛磁铁矿床地质特征及锆石 U-Pb 年龄[J]. *中国地质*, 2014, 41(2): 463-483.
- Shao J B, Li J G, Wang H T, et al. Geological characteristics and zircon U-Pb age of the Wudaoyangcha Neoarchean vanadic titanomagnetite deposit in Baishan, Jilin Province [J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 463-483.
- [16] 赵一鸣, 李大新, 陈文明, 等. 内蒙古羊蹄子山沉积变质型钛矿床——一个新的钛矿床类型的发现[J]. *矿床地质*, 2006, 25(2): 113-122.
- Zhao Y M, Li D X, Chen W M, et al. Yangtizishan metamorphosed sedimentary titanium deposit: Discovery of new genetic type of titanium deposit [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(2): 113-122.
- [17] 赵一鸣, 李大新, 吴良士, 等. 内蒙古磨石山沉积变质型锐钛矿床: 一个大型新类型钛矿床的发现、勘查和研究[J]. *地质学报*, 2012, 86(9): 1350-1366.
- Zhao Y M, Li D X, Wu L S, et al. Moshishan metamorphosed sedimentary anatase deposit: Discovery, exploration, and study of a new genetic type large titanium deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(9): 1350-1366.
- [18] 杨合群, 苏犁, 宋述光, 等. 论陕西毕机沟钒钛磁铁矿床成因[J]. *地质与勘探*, 2013, 49(6): 1036-1045.
- Yang H Q, Su L, Song S G, et al. On genesis of the Bijigou V-Ti magnetite deposit in Shaanxi Province [J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(6): 1036-1045.
- [19] 李洪奎, 于学峰, 杨永波. 山东莒县棋山钛铁矿地质特征及成因探讨[J]. *地质学报*, 2010, 84(7): 1041-1048.
- Li H K, Yu X F, Yang Y B. Geological characteristics and origin of the Qishan ilmenite deposit in Shandong Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(7): 1041-1048.
- [20] 邢长明, 王焰, 张传林. 塔里木大火成岩省皮羌层状岩体的矿物结晶顺序和钒钛磁铁矿矿石成因探讨[J]. *地学前缘*, 2013, 20(4): 285-298.
- Xing C M, Wang Y, Zhang C L. Crystallization sequence and origin of the Fe-Ti-V oxide ores from the Piqiang layered intrusion in the Tarim large igneous province, NW China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(4): 285-298.
- [21] 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 矿床学[M]. 3版. 北京: 地质出版社, 2011: 329-330.
- Zhai Y S, Yao S Z, Cai K Q. *Mineral deposits* [M]. 3rd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 329-330.

(上接第 515 页/Continued from Page 515)

- [23] 赵军, 葛翠萍, 商磊, 等. 农田黑土有机质和全量氮磷钾不同尺度空间变异分析[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2007, 23(3): 280-284.
- Zhao J, Ge C P, Shang L, et al. Analysis for spatial heterogeneity of soil organic content and total nutrients in black soil crop area with different scales [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2007, 23(3): 280-284.
- [24] 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.
- Han X Z, Li N. Research progress of black soil in Northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1032-1041.
- [25] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 15.
- Chen H M. *Environmental soil science* [M]. Beijing: Science Press, 2005: 15. (in Chinese)