

doi: 10.11720/wtyht.2022.0047

张一鹤,杨泽,戴慧敏,等. 穆棱河—兴凯湖平原土壤有机碳、全氮的时空变异特征[J]. 物探与化探,2022,46(5):1050–1055. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0047>

Zhang Y H, Yang Z, Dai H M, et al. Spatio-temporal variations in the soil organic carbon and total nitrogen contents in the Muling River-Xingkai Lake Plain[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5):1050–1055. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0047>

穆棱河—兴凯湖平原土壤有机碳、全氮的时空变异特征

张一鹤^{1,2,3}, 杨泽^{1,2,3}, 戴慧敏^{1,2,3}, 刘国栋^{1,2,3}, 韩晓萌^{1,2,3}, 李秋燕^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 自然资源部 黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034; 3. 辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)不仅是可持续农业的基础,更是土壤肥力的关键,对维持土壤养分的含量具有重要作用。基于穆棱河—兴凯湖平原 1:25 万土地质量地球化学调查土壤养分元素数据和第二次全国土壤普查土壤养分元素数据,运用地统计学方法和 GIS 技术,探讨 1979~2019 年穆兴平原表层土壤 SOC 含量和 TN 含量的时空变化规律。结果表明:研究区表层土壤 SOC 含量和 TN 含量主要处于三等以上水平,呈现出整体较丰富和丰富、局部缺乏的分布特征。经过 40 年演变, SOC 含量下降了 25.65%, TN 含量下降了 29.87%, C/N 比增加了 6.00%;与 1979 年相比, 2019 年的表层土壤不同土壤类型中 SOC、TN 含量都在下降,只有水稻土增加;自然生态系统转变为农田导致 SOC、TN 含量都在下降;说明土壤类型和土地利用方式变化等因素对研究区土壤养分的空间变异程度有着显著影响。

关键词: 穆棱河—兴凯湖平原;有机碳;全氮;时空变异

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)05-1050-06

0 引言

穆棱河—兴凯湖平原(以下简称穆兴平原)位于我国黑龙江省东南部,黑土层厚,有机质含量高,是中国最大的粮食生产基地,对保障国家粮食安全,发展绿色食品产业有着重要意义^[1]。黑土是最肥沃的土壤之一,以有机质含量高、土质肥沃而闻名。黑土位于温带半湿润地区,四季分明,其气候特征为雨热同季。黑土是具有强烈胀缩和扰动特性的黏质土壤,并有季节冻土层。温带季风气候影响下,夏季高温多雨,草甸草本植物生长繁茂,地上和地下都积累了大量的有机物质^[2]。土体内盐基遭到淋溶,碳酸盐也移出土体,土壤呈中性至微酸性。季节性上层滞水引起土壤中铁锰还原,并在旱季氧化,形成铁

锰结核,特别是亚表层表现更明显。但在漫长而寒冷的冬季(约有 120~200 d),则土壤冻结,微生物活动微弱,因而有机质缓慢分解,并在土壤中积累,逐步形成深厚的有机质层。所以,黑土是由强烈的有机质累积和滞水潴积过程形成的,是一种特殊的草甸化过程。自然状态下,黑土有机质可厚达 1 m,养分含量丰富,肥力水平高^[3]。

黑土开垦后,有机质含量下降,因母质黏重,土壤侵蚀明显,黑土退化逐渐成为限制东北区域农业发展的重要因素^[4]。土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)是陆地土壤碳库和氮库的重要组成部分,是黑土有机质含量重要影响因素之一,对土壤理化性质、生物学特性具有深远的意义,长期以来一直是土壤学相关广大研究学者的研究热点^[5-11]。但是在穆兴平原区域尺度上,土壤碳氮关系的时空演变的研究

收稿日期: 2022-01-27; 修回日期: 2022-07-23

基金项目: 中国地质调查局项目“东北黑土地 1:25 万土地质量地球化学调查”(121201007000161312)、“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(DD20190520)

第一作者: 张一鹤(1992-),女,工程师,东北农业大学土壤学专业毕业,主要从事土地质量地球化学调查工作。Email:343847617@qq.com

通讯作者: 李秋燕(1993-),女,工程师,东北大学环境科学专业毕业,主要从事土地质量地球化学调查工作。Email:2284435292@qq.com

较少。因此,笔者利用第二次土壤普查(1979 年)数据和 2019 年定位采样数据,运用 GIS 技术和地统计学相结合的方法,对表层土壤 SOC 和 TN 的时空变化规律进行研究,探讨穆兴平原表层土壤 SOC、TN 的时空变异特征,进一步解释土壤 SOC、TN 变化规律,有助于揭示有机质转化方式和机理,正确评价农田黑土的退化状况和趋势,对制定合理的耕作计划,推进黑土保护战略的实施及黑土资源的可持续发展 and 利用有重要的理论和实践意义。

1 研究区概况

研究区位于黑龙江省东部偏南,北以完达山为界,南抵兴凯湖之滨,东与俄罗斯接壤,西至张广才岭。行政区隶属虎林市、密山市下辖各县市街道及乡村,均属鸡西市管辖,面积为 16 608 km²。穆兴平原属中纬度寒温带湿润、半湿润大陆性季风气候,1 月气温最低,月平均气温为-17.9℃;7 月气温最高,月平均气温为 21.5℃,年平均气温 2.9~3.1℃。年平均降水量为 526~710 mm,降水多集中在 6~9 月,占全年降水量的 70%。全年日照为 2 343.1 d,大于(等于)10℃积温(活动积温)为 2 654.7℃,无霜期为 141 d。融雪在 2 月下旬,结冻期约 180 d 左右,平均年雷暴日数 20 d。研究区主要土地利用为耕地,以水田为主,占工作区总面积的 60%;其次为林地和沼泽地,分别占工作区总面积的 21% 和 11%。土壤类型以白浆土为主,其次为暗棕壤、沼泽土及草甸土^[1]。

2 样品采集与分析方法

2.1 数据来源

1979 年土壤数据来自于第二次全国土壤普查土壤养分元素调查,普查时间为 1979~1985 年,界定为 1979 年,本次引用中国科学院南京土壤研究所提供的第二次普查栅格数据。

东北地区 1980 年、2019 年土地利用 1:10 万矢量数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所。

2.2 土壤样品的采集

本次土壤样品采集网度为 1 km×1 km,基本采样密度为 1 个点/km²。根据事先设定的坐标进行实地采样,主要采集了农田、林地、园地等位置的土壤,优先选择分布面积最广的农业用地土壤。取样点避开局部低洼地和高岗地,有明显点状污染的地段,有新近搬运的堆积土、垃圾土和水土流失严重的

地段以及田埂等处。采样时刮去地表植物凋落物,采集地表至 20 cm 深处的土柱(采用刻槽方式取样,以保证土样上下的均匀性),并去除杂草、草根、砾石、砖块、肥料团块等杂物。在农田内,在每处采样点垂直垄沟 30 m 范围内采集 3 处土壤样品组合成一件样,若在林地及城市等地域受到限制区域,子坑呈三角形布设。

2.3 测定项目及方法

样品由具有承担多目标地球化学调查样品分析资质的辽宁地研院有限责任公司承担。该研究的分析指标为 2 项,分析方法和检出限见表 1。

土壤样品分析质量采用实验室外部质量监控和内部质量监控相结合,以外部质量监控为主。样品分析过程中采用国家一级标准土样监控分析测试的准确度,采用重复样监控分析测试的精密度,一级标准物质的所有分析指标合格率为 100%,重复样合格率符合《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》(DZ/T 0258—2014))中的分析质量控制要求,测试指标报出率均达到 100%,异常点重复性检验合格率 95.8%。

表 1 土壤中氮和有机质的分析及检出限
Table 1 Analytical methods and detection limits of nitrogen and organic matter in soil

序号	元素	检出限			分析方法
		实测	要求	单位	
1	N	17	20	10 ⁻³	容量法
2	Corg	0.02	0.1	10 ⁻³	容量法

2.4 数据处理

采用域法识别异常值,即按标准方差的倍数来识别异常值,一般异常值定为样品均值加 3 倍均方差,然后用正常值最大值代替异常值^[5]。利用 SPSS25.0 软件进行统计分析,地统计软件 GS+10.0 进行半方差函数计算,Office2016 绘制相关表格,ArcGIS10.4、CorelDRAW2018 绘制相关图件。

3 结果与分析

3.1 土壤 SOC、TN、C/N 描述性统计特征

统计结果表明(表 2):研究区 2019 年表层土壤有机碳含量(SOC)、全氮含量(TN)、碳氮比(C/N)分别在 3.47×10⁻³~52.41×10⁻³、0.22×10⁻³~4.30×10⁻³、4.63~23.75,1979 年表层土壤 SOC 含量、TN 含量、C/N 分别在 9.92×10⁻³~80.05×10⁻³、1.00×10⁻³~7.30×10⁻³、7.65~16.38,各指标值域范围波动较大;2019 年 SOC、TN、C/N 平均值分别为 26.47×10⁻³、2.23×10⁻³、11.85,1979 年平均值分别为

35.60×10⁻³、3.18×10⁻³、11.18,经过40年,SOC含量下降了25.65%、TN含量下降了29.87%、C/N增加了6.00%。本次研究将变异程度分为3种类型:C_v<15%为弱变异性,15%≤C_v<35%为中等变异性,C_v≥35%为强变异性。2019年SOC、TN、C/N变

异系数分别为32.24%、30.38%、10.14%,说明SOC含量、TN含量属于中等变异,C/N属于弱变异;1979年SOC、TN、C/N变异系数分别为51.78%、51.48%、11.66%,说明SOC含量、TN含量属于高度变异,C/N属于弱变异。

表 2 研究区土壤 SOC、TN 和 C/N 统计特征

Table 2 Statistical characteristics of soil SOC, TN and C/N in the study area

	指标	样品数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	偏度系数	峰度系数
2019 年	SOC	3920	3.47	52.41	26.47	8.53	32.24	0.53	0.07
	TN	3920	0.22	4.30	2.23	0.68	30.38	0.47	-0.03
	C/N	3920	4.63	23.75	11.85	1.20	10.14	1.59	11.85
1979 年	SOC	3920	9.92	80.05	35.60	18.43	51.78	0.88	0.08
	TN	3920	1.00	7.30	3.18	1.64	51.48	1.08	0.08
	C/N	3920	7.65	16.38	11.18	1.30	11.66	-0.29	0.08

注:SOC、TN 含量单位为 10⁻³。

3.2 土壤 SOC、TN、C/N 空间变异结构特征分析

本次研究利用 GS+软件对符合正态分布的表层土壤 SOC、TN 含量进行半方差函数模型拟合,表 3 中的块金值(C₀)代表采样或试验误差与小于采样尺度上耕作施肥管理等随机因素引起的不同程度的变异;基台值(C₀+C)代表系统内总变异;块金效应[C₀/(C₀+C)]代表空间异质性程度,该比值越高则说明数据由非结构性因素引起的空间变异程度较大,而由空间自相关部分引起的空间变异程度较小^[12]。研究区表层土壤 SOC、TC、C/N 的块金值分

别为32.2%、32.0%、50%,说明C/N受随机因素引起的空间变异和结构性因素双重影响;SOC、TN则与由结构性因素如土壤类型、地形地貌等引起的空间自相关程度较高。

变程表示具有空间自相关性的最大距离,超过该距离则不存在空间自相关^[13]。研究区表层土壤 SOC、TC、C/N 的变程分别为697.8 km、311 km、61.8 km,SOC 和 TN 的变程都较大,说明 SOC 和 TN 在这个较大的空间范围内,其空间自相关性较强。

表 3 土壤 SOC、TN、C/N 半方差函数模型参数

Table 3 Soil SOC, TN, C/N semi-variance function model parameters

指标	拟合模型	块金值(C ₀)	基台值(C ₀ +C)	[C ₀ /(C ₀ +C)]/%	变程/km	拟合度 R ²
SOC	指数模型	46.3	143.6	32.2	697.8	0.955
TN	球状模型	0.26	0.799	32.9	311	0.971
C/N	指数模型	0.72	1.433	50	61.8	0.894

3.3 土壤 SOC、TN、C/N 空间插值分析

研究区表层土壤 SOC 含量、TC 含量及 C/N 空间分布见图 1。可以看出,SOC 含量呈现东北高西南低的趋势。参照土地质量地球化学评价规范(DZ/T 0295—2016)^[14],SOC、TC 不同等级的分布面积和比例见表 4,SOC 主要处于三等以上水平,属于丰富—中等状态,面积 16 296 km²,占总面积的 98.12%。可见,研究区土壤 SOC 含量整体呈现出较丰富和丰富、局部缺乏的分布特征。从研究区表层土壤 TN 含量空间分布可以看出,TN 含量与 SOC 含量分布趋势相近,也呈现东北高西南低的趋势。TN 含量主要处于三等以上水平,属于丰富—较丰富状态,其中一等和二等土壤面积 14 428 km²,占总面积的 86.87%。可见,研究区土壤 TN 含量普遍丰富,大部分呈现适中和较丰富,小面积严重缺氮。综

上,研究区表层土壤养分比较优越,土壤养分缺乏的占比较少。土壤 C/N 比在空间分布上呈现南部和北部向中部逐步降低的趋势,大部分区域土壤 C/N 位于 12~14 之间,低值区则主要在中部呈带状分布。

表 4 土壤 SOC、TN 等级分布面积及比例

Table 4 Distribution area and proportion of soil SOC and TN grade

指标		一等/ 丰富	二等/ 较丰富	三等/ 中等	四等/ 较缺乏	五等/ 缺乏
TN	面积/km ²	10120	4308	1944	112	124
	比例/%	60.93	25.94	11.71	0.67	0.75
SOC	面积/km ²	10364	4120	1812.00	260	52
	比例/%	62.40	24.81	10.91	1.57	0.31

3.4 土壤 SOC、TN 空间变异影响因素分析

3.4.1 不同土壤类型下 SOC、TN 含量变化

不同土壤类型具有不同的矿物组成、成土过程、发育程度及耕作管理措施^[15-17],因而其土壤特性存

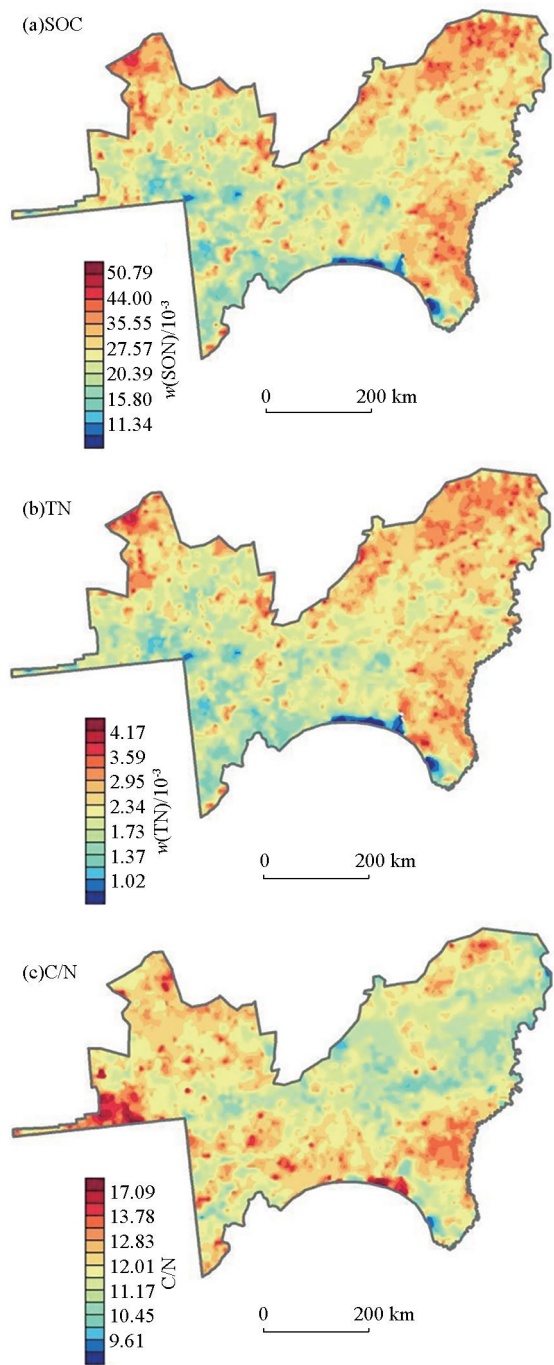


图1 土壤 SOC、TN、C/N 空间分布

Fig.1 Spatial distribution of soil SOC, TN and C/N

在差异,故导致不同土壤类型下 SOC、TN 含量不同。如表 5,研究区表层土壤 SOC 含量以如下趋势递减:沼泽土>草甸土>白浆土>黑土>暗棕壤>水稻土,与 1979 年相比,沼泽土 SOC 含量下降 23.89×10^{-3} ,草甸土下降 2.65×10^{-3} ,白浆土下降 1.14×10^{-3} ,黑土下降 5.22×10^{-3} ,暗棕壤下降 16.06×10^{-3} ,水稻土增加 2.59×10^{-3} 。土壤 TN 含量以如下趋势递减:沼泽土>白浆土>草甸土>黑土>暗棕壤>水稻土,与 1979 年相比,沼泽土 TN 含量下降 2.17×10^{-3} ,白浆土下

降 0.29×10^{-3} ,草甸土下降 0.34×10^{-3} ,黑土下降 0.61×10^{-3} ,暗棕壤下降 1.56×10^{-3} ,水稻土增加 0.01×10^{-3} 。土壤 C/N 以如下趋势递减:暗棕壤>水稻土>黑土>草甸土>沼泽土>白浆土,与 1979 年相比,暗棕壤 C/N 含量增加 0.75,水稻土增加 1.30,黑土增加 0.64,草甸土增加 0.11,白浆土增加 1.13,沼泽土增加 0.15。

表 5 不同土壤类型下 SOC、TN、C/N 含量特征

Table 5 Content characteristics of SOC, TN and C/N in different soil types

土壤类型	2019 年			1979 年		
	SOC	TN	C/N	SOC	TN	C/N
沼泽土	30.14	2.57	11.74	54.03	4.74	11.59
草甸土	25.93	2.19	11.82	28.58	2.53	11.71
白浆土	25.90	2.21	11.72	27.04	2.50	10.59
黑土	25.44	2.12	11.96	30.66	2.73	11.32
暗棕壤	24.98	2.05	12.15	41.04	3.61	11.40
水稻土	24.72	2.04	11.99	22.13	2.03	10.69

注: SOC、TN 含量单位为 10^{-3} 。

3.4.2 土地利用方式改变对土壤 SOC、TN 含量的影响

土地利用方式改变对表层土壤 SOC 含量、TC 含量及 C/N 的影响如表 6 所示。经过 40 年的开垦,湿地开垦为旱地, SOC 含量下降 13.12×10^{-3} ; 湿地开垦为水田, SOC 含量下降 11.81×10^{-3} ; 林地开垦为旱地, SOC 含量下降 11.39×10^{-3} ; 草地开垦为旱地, SOC 含量下降 3.60×10^{-3} ; 40 年间土地利用方式一直为旱地的, SOC 含量下降 4.84×10^{-3} , 一直为水田的, SOC 含量上升 1.43×10^{-3} 。自然生态系统转变为农田引起土壤 SOC 含量减少, 分析其原因, 一是农田在耕作和种植的过程中, 增加了对土壤的扰动, 增加土壤微生物的活性, 进而加快了有机质的分解速率; 二是林草被作物取代后使初级生产固定的碳素向土壤中的分配比例降低, 收割减少地上生物量中碳素向土壤的输入^[18]。

经过 40 年的开垦, 湿地开垦为旱地, TN 含量下降 1.25×10^{-3} ; 湿地开垦为水田, TN 含量下降 1.20×10^{-3} ; 林地开垦为旱地, TN 含量下降 1.19×10^{-3} ; 草地开垦为旱地, TN 含量下降 0.44×10^{-3} ; 40 年土地利用方式一直为旱地, TN 含量下降 0.58×10^{-3} , 一直为水田, TN 含量下降 0.08×10^{-3} 。开垦土壤 TN 含量都在下降, 主要原因可能是 TN 含量和 SOC 含量相关性极高, 所以 SOC 含量降低, 导致 TN 含量随之降低。

经过 40 年的开垦, 湿地开垦为旱地, C/N 含量增加 0.19; 湿地开垦为水田, C/N 含量增加 0.51; 林地开垦为旱地, C/N 含量增加 1.05; 草地开垦为旱

地,C/N 含量增加 0.72;40 年土地利用方式一直为旱地的,C/N 含量增加 0.93,一直为水田的,C/N 含量增加 0.92。土地利用方式主要通过土壤养分输入控制土壤碳氮积累和释放速度来影响土壤碳氮含量^[19-21]。水田 C/N 升高,主要因为水田处于淹水低温状态,有机碳分解缓慢易于积累,从而使 C/N 处于增加水平^[22-25]。

表 6 主要开垦类型土壤 SOC、TN、C/N 含量变化

Table 6 Changes of soil SOC, TN and C/N contents in main reclamation types				
土地利 用变化	样本数	SOC 变化 10 ⁻³	TN 变化 10 ⁻³	C/N 变化
湿地→旱地	232	-13.12	-1.25	0.19
湿地→水田	629	-11.81	-1.20	0.51
林地→旱地	327	-11.39	-1.19	1.05
旱田→水田	284	-8.47	-0.80	0.22
旱地→旱地	716	-4.84	-0.58	0.93
草地→旱地	62	-3.60	-0.44	0.72
水田→水田	118	1.43	-0.08	0.92

4 结论

1)2019 年研究区表层土壤 SOC、TN 含量及 C/N 比平均值分别为 26.47×10⁻³、2.23×10⁻³、11.85,1979 年平均值分别为 35.60×10⁻³、3.18×10⁻³、11.18。经过 40 年开垦,SOC 含量下降了 25.65%,TN 含量下降了 29.87%,C/N 增加了 6.00%。表层土壤 SOC、TN 表现为中等程度的空间变异性,C/N 表现为弱变异的空间变异性,其空间分布受结构性因素和随机性因素的共同影响,空间自相关范围较大。研究区表层土壤 SOC、TC、C/N 的变程分别为 697.7 km、311 km、61.8 km,SOC 和 TN 的变程都较大。

2)研究区表层土壤 SOC 含量主要处于三等以上水平,整体呈现出较丰富和丰富、局部缺乏的分布特征。表层土壤 TN 含量主要处于三等以上水平,土壤 TN 含量普遍丰富,大部分呈现适中和较丰富,小面积严重缺氮。由此可见研究区表层土壤养分比较优越,土壤养分缺乏的占比较少。

3)研究区表层土壤 SOC、TN、C/N 在不同土壤类型、不同土地利用类型下的养分含量呈一定的差异。表层土壤 SOC 含量与 1979 年相比,不同土壤类型 SOC、TN 含量都在下降,只有水稻土增加;开垦导致 SOC、TN 含量都在下降。土壤类型和土地利用方式变化等因素对研究区土壤养分的空间变异程度有着显著影响。

参考文献(References):

[1] 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.

[2] 刘家福,马帅,李帅,等. 1982—2016 年东北黑土区植被 NDVI 动态及其对气候变化的响应[J]. 生态学报,2018,38(21):7647-7657.
Liu J F, Ma S, Li S, et al. Changes in vegetation NDVI from 1982 to 2016 and its responses to climate change in the black-soil area of Northeast China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(21): 7647-7657.

[3] 李发鹏,李景玉,徐宗学. 东北黑土区土壤退化及水土流失研究现状[J]. 水土保持研究,2006,13(3):50-54.
Li F P, Li J Y, Xu Z X. The status quo of black soil degradation and water and soil loss in Northeast China [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(3): 50-54.

[4] 徐晓斌,王清. 我国黑土退化研究现状与展望[J]. 地球与环境,2005,33(S1):588-592.
Xu X B, Wang Q. The current status and prospeis of research in black earth degradation in northeast China[J]. Earth and Environment, 2005, 33(S1): 588-592.

[5] 李忠佩,吴大付. 红壤水稻土有机碳库的平衡值确定及固碳潜力分析[J]. 土壤学报,2006,43(1):46-52.
Li Z P, Wu D F. Organic C content at steady state and potential of C sequestration of paddy soils in subtropical China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(1): 46-52.

[6] 胡延斌,肖国举,仇正跻,等. 西北半干旱区农田土壤有机碳和全氮分布特征及其对地膜玉米产量的影响[J]. 水土保持研究,2021,28(1):58-64,403.
Hu Y B, Xiao G J, Qiu Z J, et al. Distribution characteristics of soil organic carbon and total nitrogen and its influence on film mulched maize in farmland in northwest semiarid region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(1): 58-64, 403.

[7] 张世文,黄元仿,苑小勇,等. 龚关县域尺度表层土壤质地空间变异与因素分析[J]. 中国农业科学,2011,44(6):1154-1164.
Zhang S W, Huang Y F, Yuan X Y, et al. The spatial variability and factor analyses of top soil texture on a county scale[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(6): 1154-1164.

[8] Wiesmeier M, Hübner R, Barthold F, et al. Amount, distribution and driving factors of soil organic carbon and nitrogen in cropland and grassland soils of southeast Germany (Bavaria) [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2013, 176:39-52.

[9] Huang B, Sun W X, Zhao Y C, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. Geoderma, 2007, 139: 336-345.

[10] 王志齐,杜兰兰,赵慢,等. 黄土区不同退耕方式下土壤碳氮的差异及其影响因素[J]. 应用生态学报,2016,27(3):716-722.
Wang Z Q, Du L L, Zhao M, et al. Differences in soil organic carbon and total nitrogen and their impact factors under different restoration patterns in the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(3): 716-722.

[11] 宋小艳,王长庭,胡雷,等. 若尔盖退化高寒草甸土壤团聚体结合有机碳变化[J]. 生态学报,2022,42(4):1538-1548.

Song X Y, Wang C T, Hu L, et al. Changes in soil aggregate-associated organic carbon of degraded alpine meadow in the Zoige Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(4): 1538–1548.

[12] 范如芹, 梁爱珍, 杨学明, 等. 耕作方式对黑土团聚体含量及特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(18): 3767–3775.

Fan R Q, Liang A Z, Yang X M, et al. Effects of tillage on soil aggregates in black soils in Northeast China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(18): 3767–3775.

[13] 张玉铭, 毛任钊, 胡春胜, 等. 华北太行山前平原农田土壤养分的空间变异性研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2049–2054.

Zhang Y M, Mao R Z, Hu C S, et al. Spatial variability of farmland soil nutrients at Taihang piedmont[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2049–2054.

[14] 孙淑梅, 张连志, 闫冬. 吉林省德惠—农安地区土地质量地球化学评估[J]. *现代地质*, 2008, 22(6): 998–1002.

Sun S M, Zhang L Z, Yan D. Experimental study on method and technique of land quality geochemical assessment [J]. *Geoscience*, 2008, 22(6): 998–1002.

[15] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 川中丘陵县域土壤碳氮比空间变异特征及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(1): 177–185.

Luo Y L, Li Q Q, Wang C Q, et al. Spatial variability of soil C/N ratio and its influence factors at a county scale in hilly area of Mid-Sichuan Basin, Southwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(1): 177–185.

[16] Sanchez P A, Ahamed S. Environmental science: Digital soil map of the world[J]. *Science*, 2009, 325(5941): 680.

[17] Ustin S L, Roberts D A, Pinzón J, et al. Estimating canopy water content of chaparral shrubs using optical methods [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, 65(3): 280–291.

[18] 刘国栋, 戴慧敏, 杨泽, 等. 三江平原土壤碳库时空变化和影响因素研究[J]. *现代地质*, 2021, 35(2): 443–454.

Liu G D, Dai H M, Yang Z, et al. Temporal and spatial changes of soil carbon pool and its influencing factors in the Sanjiang Plain [J]. *Geoscience*, 2021, 35(2): 443–454.

[19] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析[J]. *土壤学报*, 2013, 50(1): 1–11.

Zhao M S, Zhang G L, Wang D C, et al. Spatial variability of soil organic matter and its dominating factors in Xu-Huai alluvial plain [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(1): 1–10.

[20] 顾成军, 史学正, 于东升, 等. 省域土壤有机碳空间分布的主控因子——土壤类型与土地利用比较[J]. *土壤学报*, 2013, 50(3): 425–432.

Gu C J, Shi X Z, Yu D S, et al. Main factor controlling SOC spatial distribution at the province scale as affected by soil type and land use[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(3): 425–432.

[21] Robin G, Viacheslav I, Adamchuk. Precision agriculture and food security[J]. *Science*, 2010, 327(5967): 828–831.

[22] Deng Q, Cheng X L, Yang Y H, et al. Carbon-nitrogen interactions during afforestation in central China [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 69: 119–122.

[23] Nie X J, Zhang H B, Su Y Y. Soil carbon and nitrogen fraction dynamics affected by tillage erosion[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 23.

[24] Sourdille P, Singh S, Cadalen T, et al. Microsatellite-based deletion bin system for the establishment of genetic physical map relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Functional & Integrative Genomics*, 2004, 4(1): 12–25.

[25] Rossel R, Webster R. Predicting soil properties from the Australian soil visible-nearinfrared spectroscopic database[J]. *European Journal of Soil Science*, 2012, 63(6): 848–860.

Spatio-temporal variations in the soil organic carbon and total nitrogen contents in the Muling River-Xingkai Lake Plain

ZHANG Yi-He^{1,2,3}, YANG Ze^{1,2,3}, DAI Hui-Min^{1,2,3}, LIU Guo-Dong^{1,2,3}, HAN Xiao-Meng^{1,2,3}, LI Qiu-Yan^{1,2,3}
(1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China; 3. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Liaoning Province, Shenyang 110034, China)

Abstract: The soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) contents serve as the basis for sustainable agriculture and the key to soil fertility and play an important role in maintaining the soil nutrient content. Based on the soil nutrient element data obtained from the 1 : 250,000 land quality geochemical survey and the second national soil census, this study investigated the spatio-temporal variations in the SOC and TN contents in the surface soil of the Muling River-Xingkai Lake Plain from 1979 to 2019 using the geostatistical method and the geographic information system (GIS) technique. The results show that the SOC and TN contents in the surface soil of the study area are mainly at grade Ⅲ or above. They are rich or highly rich overall but are deficient locally. During 40 years of evolution, the SOC and TN contents decreased by 25.65% and 29.87%, respectively, and the C/N ratio increased by 6.00%. Compared with those in 1979, the SOC and TN contents in the surface soil decreased in different soil types except for paddy soil. The transition from the natural ecosystem into farmland also decreased the SOC and TN contents. These results indicate that factors such as changes in soil types and land uses have significant effects on the degree of the spatial variations in soil nutrients in the study area.

Key words: Muling River-Xingkai Lake Plain; organic carbon; total nitrogen; spatial and temporal variation