第 29 卷第 6 期 地 质 与 资 源 Vol. 29 No. 6
2020 年 12 月 GEOLOGY AND RESOURCES Dec. 2020
文章编号:1671-1947(2020)06-0510-08 中图分类号:S158.1;P595 文献标志码:A

东北地区黑土退化地球化学指示与退化强度

戴慧敏[1,2],刘 凯[1,2,3],宋运红[1,2],梁 帅[1,2],张一鹤[1,2],刘国栋[1,2],杨 泽[1,2]
1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034;
2. 中国地质调查局 黑土地演化与生态效应重点实验室,辽宁 沈阳 110034;
3. 中国地质大学,北京 100101

摘 要:利用东北地区土地质量地球化学调查数据,分析探讨了黑土不同退化类型的地球化学指标变化,并与 20 世纪 80 年代对比分析了黑土下降的面积和强度. 结果显示,有机质下降和盐碱化是黑土退化的关键因素,在有机质缺乏区和碱性土壤区,土壤 C/N 值均小于 10.0,且全氮、全磷、全硫、有机碳等指标间呈现弱相关性,而代表黏粒的铝、铁氧化物或指标与易被这些物质吸附的微量元素仍保持"生命共同体"特点. 对比海伦及公主岭地区不同时期土壤锌、钼等微量元素含量,显示锌、钼等微量元素含量 10 年来均明显下降,表明在黑土有机质流失以及土壤盐碱化过程中土壤全氮、全磷、全硫以及锰、锌等营养元素在一定程度上随之流失. 自 20 世纪 80 年代以来,松辽平原区土壤有机碳减少面积达 54.45%,有机碳减少了 131 Mt,其中向大气释放碳数量为 26.2 Mt. 在开垦相对较晚的黑龙江省,黑土有机碳下降程度最强,由北向南随着开垦程度增强,有机碳下降程度反而相对较小,体现随着开垦程度增强,有机碳不断趋于平稳的过程. 通过统计及对比研究认为,在研究黑土退化及黑土开发保护过程中既要重视人为活动导致的土壤养分流失,也要重视黑土向强酸、强碱化发展的趋势.

关键词:黑土;土壤退化;地球化学指示;退化强度;东北地区
DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.06.002
开放科学标志码(OSID):

BLACK SOIL DEGRADATION AND INTENSITY IN NORTHEAST CHINA: Geochemical Indication

DAI Hui-min[1,2], LIU Kai[1,2,3], SONG Yun-hong[1,2], LIANG Shuai[1,2], ZHANG Yi-he[1,2], LIU Guo-dong[1,2], YANG Ze[1,2]
1. *Shenyang Center of China Geological Survey*, *Shenyang* 110034, *China*;
2. *Key Laboratory of Black Land Evolution and Ecological Effects*, *CGS*, *Shenyang* 110034, *China*;
3. *China University of Geosciences*, *Beijing* 100101, *China*

Abstract: Based on the data of land quality geochemical survey in Northeast China, the paper analyzes the geochemical index variation in terms of degradation type of black soil, and also the decreased area of black soil nutrients and degradation intensity compared with that in the 1980s. The results indicate that the decrease of organic matter and salinization contribute to most of black soil degradation. The soil C/N values are less than 10.0 in both organic matter-deficient area and alkaline soil area. Besides, the indexes of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total sulfur (TS) and soil organic carbon (SOC) show weak correlation; while the aluminum and iron oxides or indexes representing clay content and trace elements, which are easily adsorbed by these substances above, still keep the characteristics of "living community". By comparing the trace element contents in Hailun and Gongzhuling areas in

收稿日期:2020-08-31;**修回日期**:2020-10-19. **编辑**:李兰英.
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"(DD20160316).
作者简介:戴慧敏(1979—),女,博士,教授级高级工程师,主要从事地球化学相关调查研究工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//daihuimin78@126.com

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

different periods, the results show the contents of trace elements such as soil zinc and molybdenum have decreased significantly over the past 10 years, indicating that the TN, TP, TS and soil nutrients of manganese and zinc are lost to a certain extent during the process of organic matter loss and soil salinization. Since the 1980s, the reduction area of SOC in Songliao Plain has reached 54.45%, reduced by 131 Mt, among which 26.2 Mt is released into the atmosphere. In Heilongjiang Province where the reclamation is relatively late, the SOC decreases the most, while the SOC decreases relatively less with the reclamation degree increasing from north to south, reflecting the SOC tends to be stable constantly with the increase of reclamation degree. Through statistics and comparative study, it is concluded that the study of black soil degradation and development/protection should pay attention to not only the loss of soil nutrients caused by human activities, but also the trend of black soil becoming strongly acidic or strongly alkaline.

Key words: black soil; degradation; geochemical indication; degradation intensity; Northeast China

0　引言

黑土是一定的地形地貌在较寒冷气候条件下,地表植被经过长时间腐殖演化而形成，有机质含量多在4%~12%之间[1]. 自然黑土 C/N 比值为 10~14,黏粒含量大于 35%[2],土壤呈酸性,粒状和团粒状结构,吸水性和保水性良好，土壤养分丰富，特别适合农作物生长. 一般认为植物必需养分元素主要有 N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Zn、Cu、Mo、B、Cl、C、H、O 等 16 种. 根据植物体内含量不同，又可分为大量元素(N、P、K、Ca、Mg、S、C、H、O)和微量元素(Fe、Mn、Zn、Cu、Mo、B、Cl)[3].

汪景宽等[4]通过试验研究,发现黑土开垦后尚没有对土壤全钾含量产生很大影响，黑土表层中有机质与全氮、全硫和全磷之间都有极显著的正相关,有机质与速效钾也达到显著相关水平，认为土壤有机质可以作为黑土养分方面的综合质量指标. 他们进一步研究公主岭、海伦和北安地区黑土全锌、全锰、全铜和全铁平均含量并与 1980 年第二次土壤普查结果对比,得出各养分元素含量基本一致,有效锌、有效锰、有效铜和有效铁的平均含量都高于缺素的临界值，认为 3 个地区黑土中目前不会出现微量元素严重缺乏的现象. 其他研究也大多集中在土壤有机碳、氮、磷及钾等指标[5-11],认为黑土退化以有机质、氮和磷主要养分流失为特点.

自然黑土形成后，人类活动影响远远超过了自然变化影响的速率和程度. 土地利用行为特别是农业开垦和森林砍伐，会导致陆地生态系统向大气释放大量碳,是工业革命以来甚至全新世大气 CO_2 浓度不断升高的主要原因之一[12-13]. 土地利用方式变化不仅直接改变了地表植被类型和覆盖程度，从而影响土壤有机碳的输入,而且还引起了土壤理化性质的变化,对土壤的固碳能力也产生重要影响[14-15]. 草原植被光合作用的有机产物中 92%以上分布在地下,同时草本植物每年均有大量的根系死亡进入土壤碳循环过程. 在相同的气候条件下，草原土壤有机碳约为森林土壤有机碳的 2 倍[16]. 对于农田土壤,由于收割时农作物的残茬常被移除,地表有机物的淋溶损失较大,存留的作物残体的分解能力较弱，因此其有机碳密度常常低于森林土壤[17];而在缺乏地表植被覆盖的沙漠和荒漠地区,植被和土壤的碳密度几乎为零[18].

土壤 pH 和 $CaCO_3$ 含量对土壤有机质含量有重要影响[19]. 人为活动可导致强酸性或强碱性土壤环境以及土壤 C/N 值的改变,土壤强酸性环境会抑制微生物的活动而降低有机碳分解速率,土壤固碳能力就较强[20]. 当土壤氮素增加时,土壤 C/N 降低,可以促进微生物的活动,提高土壤有机质的分解速率[21],土壤有机碳含量降低. 黑土在垦殖后土壤总有机碳和全氮含量持续下降[6],化肥的大量使用,农作物清种和连作,土壤的矿化速度不断加速,土壤板结,导致土壤中某些营养元素的严重缺乏,土壤 C/N 值发生改变,造成土壤营养元素比例失调[22]. 有研究显示,黑土总有机碳含量随着开垦时间的增长而降低,开垦 0~50 a,黑土总有机碳含量下降较快,开垦 50 a 后下降缓慢,开垦至 130 a 后，其含量基本上维持在同一水平而不再下降. 黑土耕作 200 a,耕层总有机碳含量损失幅度约 1.76%~24.81%[5]. 而土壤有机碳的微小变化将对大气 CO_2 浓度产生显著影响,农业土壤已被认同是大气 CO_2 的一个重要来源，对大气温室气体累积贡献量占人类活动释放到大气 CO_2 的 1/4，最终会影响土壤乃至整个陆

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

地生态系统的可持续性[23-25]，Lal 等人也估算，农业土壤对大气温室气体累积贡献量占人类活动释放到大气 CO_2 的 1/4，农田土壤因侵蚀而迁移的有机碳 20%被矿化释放到大气中[25-27]。

1 研究区概况

东北黑土区在地域分布上主要包括松嫩平原、三江平原、大兴安岭山前平原、辽河平原，北达黑龙江，东延伸至小兴安岭和长白山山间谷地以及三江平原，南抵辽宁千山，西连内蒙古高原。平原区多为第四纪沉积物覆盖，岩性为冲积、洪积、风积、冰水堆积、海陆交互相碎屑堆积物，局部发育火山岩。基岩露头少，在盆地边缘可见断续出露的中生代地质体。

研究区位于东北黑土核心区，也是东北地区粮食主产区。根据何凡能等对东北黑土区土地利用空间格局动态变化对比[28-29]，研究区自 18 世纪初开始开垦，开垦主要集中在辽宁省，开垦程度比较低，开垦率为 10%左右；至 19 世纪末（1887 年）开垦向北拓展至吉林省，随后东北黑土进入快速开垦时期；至 20 世纪初，吉林省和辽宁省大部分地区开垦率达到 70%左右，黑龙江省黑土区呈现初垦；1990 年，东北平原大部分黑土区垦殖程度均较高，平原大部分地区垦殖率达 90%。辽宁省土地开发约为 280 a，吉林省约为 200 a，黑龙江省开发约为 120 a。研究区最主要土地利用类型为耕地，占研究区总面积的 75.81%，其次为林地、草地、盐碱荒地、内陆滩涂、水域和建设用地，分别占研究区 11.27%、4.39%、2.23%、1.48%、2.47%和 2.33%[30-32]。主要农作物为水稻、玉米、大豆、高粱、小麦、甜菜。土壤类型主要为暗棕壤、棕壤、白浆土、黑土、黑钙土、草甸土、栗钙土、盐碱土、潮土、水稻土、沼泽土、风沙土、褐土[33-36]。

2 材料与方法

2.1 数据来源

研究数据来源于 2016~2018 年开展的东北黑土地 1∶25 万质量地球化学调查项目。表层土壤采样密度为 1 点/km^2，采样深度为 0~20 cm，4 km^2 组合样品进行分析测试；深层土壤采样密度为 1 点/4 km^2，采样深度为 150~180 cm，16 km^2 组合样品进行分析测试。分析 Mn、Se、SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、K_2O、Na_2O、CaO、MgO、总碳、有机碳、pH 等 54 项指标。样品分析分别由辽宁省地质矿产研究院、吉林省地质科学研究所和黑龙江省地质矿产测试应用研究所承担。全碳和有机碳采用容量法，CaO、MgO、Fe_2O_3、K_2O、Na_2O、SiO_2、Al_2O_3、Mn 采用 X 射线荧光光谱法，pH 采用玻璃电极法测试。测试分析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的方法监控分析质量。

2.2 数据处理

土壤中有机质、氮、磷、钾全量评价参照全国第二次土壤普查养分分级标准进行养分等级划分，在氮、磷、钾土壤单指标养分地球化学等级划分基础上，按照下列公式计算土壤养分地球化学综合得分。

$$f_{养综}=\sum_{i=1}^{n} k_i f_i \quad (1)$$

式中，$f_{养综}$为土壤 N、P、K 评价总得分，$1 \leqslant f_{养综} \leqslant 5$；$k_i$ 为 N、P、K 权重系数，分别为 0.4、0.4、0.2；f_i 分别为土壤 N、P、K 的单元素等级得分。5 等、4 等、3 等、2 等、1 等所对应的 f_i 得分分别为 1、2、3、4、5 分。

3 黑土退化地球化学指示

3.1 土壤养分平衡特征

对有机质丰富（>3.0）、有机质缺乏（<2.0）、强酸性（pH<5.5）、强碱性（pH >7.5）的土壤以及 30 a 以来土壤呈现碳亏损区分别统计计算土壤 C/N 值显示，强碱性土壤以及相对于 20 世纪 80 年代的碳亏损区土壤 C/N 值分别为 8.94 和 9.49，黑土土壤养分不平衡（表 1），在有机质缺乏区土壤 C/N 值为 8.85（图 1）。这些参数特征表明，土壤有机碳消耗及向盐碱化发展过程中，土壤养分明显下降，当黑土演变为强碱性土壤及土壤有机碳消耗至缺乏时，土壤养分平衡被破坏，N、P、S 等元素同时降到缺乏状况；而在土壤有机质丰富区，土壤 C/N 值为 13.2，适合土壤微生物累积，土壤 N、P、S 等元素也为明显的高含量特征。从上述土壤属性参数及主要养分元素含量特点可以看出，人类活动以及自然因素导致的黑土土壤有机质消耗和盐碱化是退化重要因素。

3.2 黑土退化元素协同特征

有实验显示，典型黑土土壤中 pH 的微弱变化（0.5 左右），会对土壤中某些微量营养元素产生难以想象的影响[37]。因此，本次研究对上述各种对有机质丰富、有

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

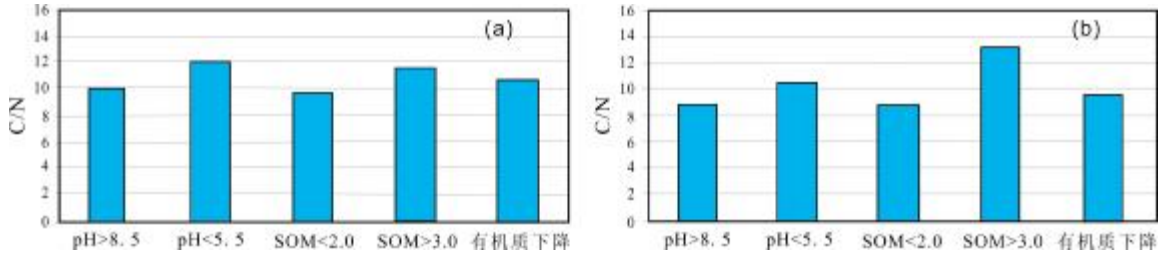

图 1　不同属性特征土壤 C/N 平均值

Fig. 1　Average C/N values of major elements in different soil properties

a—本次研究(the present study); b—全国第二次土壤普查结果(the second national soil survey)

表 1　不同土壤属性 C/N 值及大量元素平均值

Table 1　C/N values and average contents of major elements by soil properties

土壤性状特征	C/N	有机质/10^{-3}	N/10^{-3}	P/10^{-3}	S/10^{-3}
强碱性(pH>8.5)	8.94	18.1	1.2	0.47	273
强酸性(pH<5.5)	10.64	30.4	1.6	0.76	244
有机质缺乏(SOM<2.0)	8.85	12.9	0.87	0.47	190
有机质丰富(SOM>3.0)	13.2	45.7	2.3	0.88	400
碳亏损区	9.49	20.0	1.2	0.56	235

机质缺乏、强酸性、强碱性的土壤以及 30 a 以来土壤呈现碳亏损区、pH 增加 0.45 以上的数据进行聚类分析. 分析结果显示，强酸性土壤与有机质丰富区土壤元素组合特征极为相似（图 2、3). 第一类组合为 TC、C_{org}、N、P、S、Mo,代表着土壤养分中植物生长必需的大量元素,在一定程度上体现了自然黑土的基本特征;第二类为 Fe_2O_3、Al_2O_3、Cu、Zn、Mn(MgO),代表土壤质地的特征元素组合. 强碱性土壤、30 a 以来土壤 pH 值增加0.45 以上区域及 30 a 以来碳源区土壤元素组合特征相似（图 4~6). 第一类组合均为代表土壤质地的特征元素组合(Fe_2O_3、Al_2O_3、Cu、Zn、Mn(MgO)),第二类组合为大量元素 TC、C_{org}、N 组合. 土壤有机质缺乏区聚类分析显示，只有代表土壤质地的特征元素组合(Fe_2O_3、Al_2O_3、Cu、Zn、Mn)相关性较强,土壤有机碳、N、P 之间相关性明显弱. 在盐碱化及碳源区等黑土退化过程中的元素组合特征表明，土壤养分的大量元素协同规律逐渐被破坏，但代表土壤质地的特征元素仍具有保持“生命共同体”密切相关的特点,表明黑土有机质降

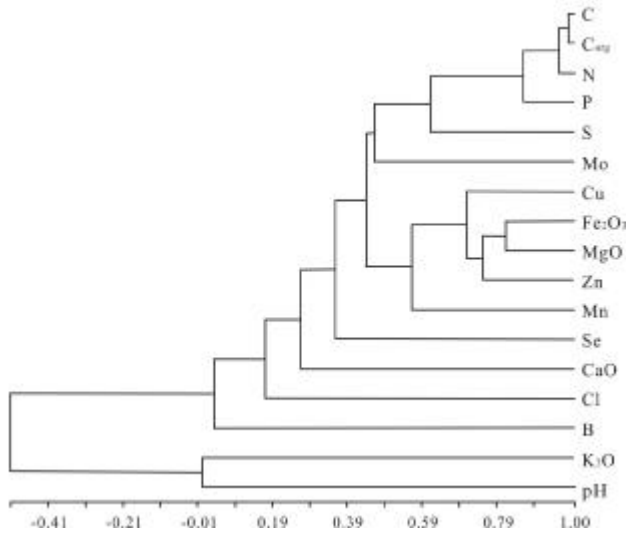

图 2　强酸性土壤养分元素聚类分析谱系图

Fig. 2　Cluster analysis pedigree diagram of nutrient elements in strongly acidic soil

C–C_{org} 0.983; C–N 0.958; C–P 0.862; Fe_2O_3–MgO 0.816; Fe_2O_3–Zn 0.753; Cu–Fe_2O_3 0.711; C–S 0.613; Cu–Mn 0.563; C–Mo 0.463; C–Cu 0.443; C–Se 0.358; Cu–CaO 0.267; C–Cl 0.174; B–C 0.036; K_2O–pH 0.003; B– K_2O –0.510

低是导致土壤结构破坏和养分元素比例失衡的关键控制因素,当土壤有机质含量降到小于 2.0%(缺乏)时,土壤养分失衡(图 7).

将本次研究获取的吉林省公主岭和黑龙江省海伦地区微量元素 Cu、Zn、全铁、Mn 分别计算平均值,与 2000 年监测[6]对比显示:在公主岭和海伦地区,除 Cu 元素平均值差别不明显外，近 20 a 微量元素 Mn、全铁、Zn 三个指标明显降低，其中海伦地区全铁降低达 45%以上(表 2). 黑土在退化过程中,不可忽视微量元素的下降.

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

表 2 20 年来海伦及公主岭地区土壤微量元素含量变化情况

Table 2 Content variation of soil trace elements in Hailun and Gongzhuling areas over the past 20 years

指标	海伦地区			公主岭地区		
	2000 年	2010 年	下降比例/%	2000 年	2010 年	下降比例/%
Cu/10^{-6}	23.1	22.33	3.33	18.78	18.32	2.45
Fe/10^{-3}	24.99	13.71	45.14	18.59	10.8	41.90
Zn/10^{-6}	111.5	64.7	41.97	69.38	52.28	24.65
Mn/10^{-6}	728.5	678.9	6.81	649	581	10.48

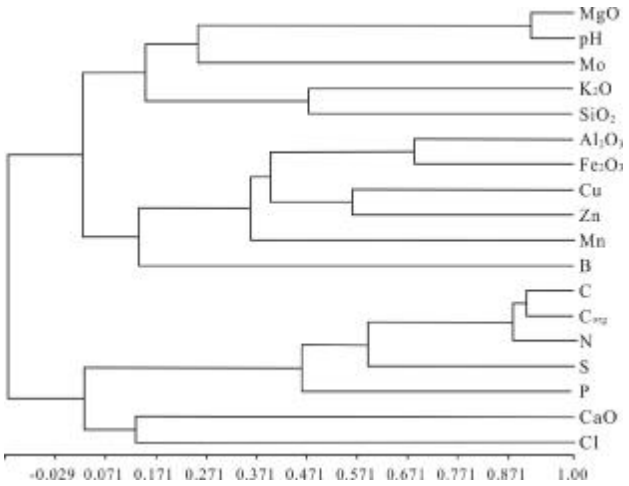

图 3 有机质丰富区土壤养分元素聚类分析谱系图

Fig. 3 Cluster analysis pedigree diagram of soil nutrient elements in area rich in organic matters

MgO–pH 0.915；C–C_{org} 0.907；C–N 0.879；Al_2O_3–Fe_2O_3 0.686；C–S 0.591；Cu–Zn 0.560；K_2O–SiO_2 0.474；C–P 0.461；Al_2O_3–Cu 0.400；Al_2O_3–Mn 0.359；MgO–Mo 0.253；K_2O–MgO 0.150；Al_2O_3–B 0.137；CaO–Cl 0.131；C–CaO 0.029；Al_2O_3–K_2O 0.025；Al_2O_3–C 0.129

4 黑土退化强度及土壤 CO_2 释放

对研究区土壤有机质评价统计显示，50.54%的土壤有机质缺乏，与 20 世纪 80 年代全国第二次土壤普查对比显示，土壤有机碳下降了 12.8%. 典型黑土区有机碳下降更为明显，为 28.8%；土壤全氮下降 7.5%，全磷下降 4.69%，全钾上升 18.26%. 30 a 以来研究区 54.45%地区为土壤养分下降区(退化区)，土壤有机碳总体减少 131 Mt，按 20%释放到大气计算，东北地区向大气释放碳数量为 26.2 Mt.

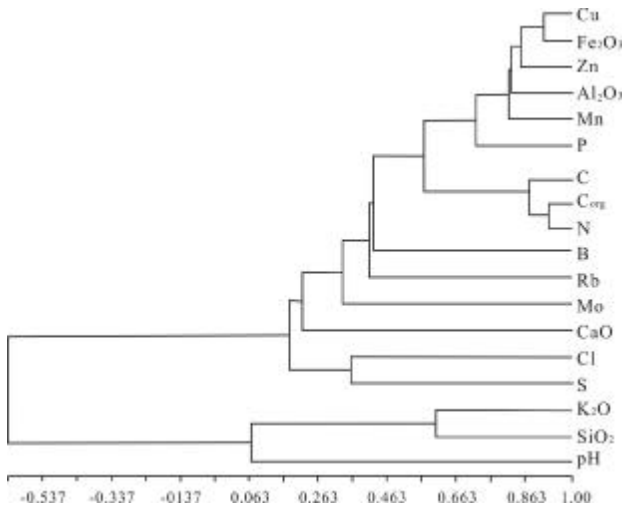

图 4 强碱性土壤区养分元素聚类分析谱系图

Fig. 4 Cluster analysis pedigree diagram of soil nutrient elements in strongly alkaline soils

Cu–Fe_2O_3 0.919；C_{org}–N 0.901；C–C_{org} 0.877；Cu–Zn 0.852；Al_2O_3–Cu 0.825；Al_2O_3–Mn 0.816；Al_2O_3–P 0.721；K_2O–SiO_2 0.605；Al_2O_3–C 0.572；Al_2O_3–B 0.423；Al_2O_3–Rb 0.412；Cl–S 0.360；Al_2O_3–Mo 0.334；Al_2O_3–CaO 0.217；Al_2O_3–Cl 0.180；K_2O–pH 0.069；Al_2O_3–K_2O 0.637

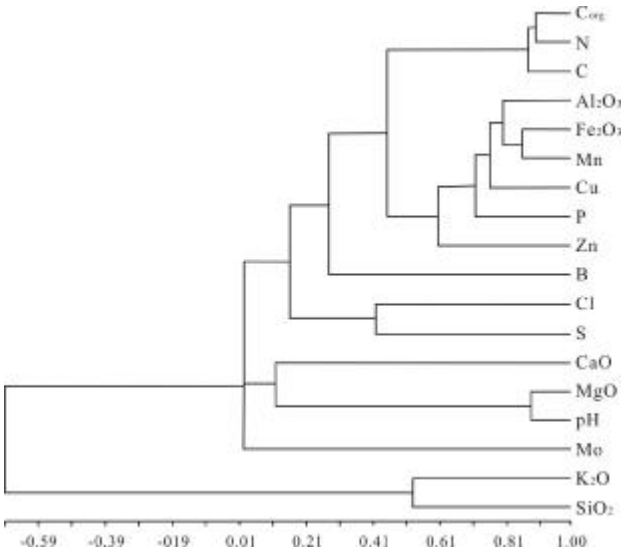

图 5 30 年来 pH 增加 0.45 以上土壤区养分元素聚类分析谱系图

Fig. 5 Cluster analysis pedigree diagram of nutrient elements in soil with pH value increased by more than 0.45 over the past 30 years

C_{org}–N 0.895；MgO–pH 0.882；C–C_{org} 0.873；Al_2O_3–Fe_2O_3 0.797；Al_2O_3–Cu 0.759；Al_2O_3–P 0.714；K_2O–SiO_2 0.529；Al_2O_3–C 0.453；Cl–S 0.417；Al_2O_3–Cl 0.162；CaO–MgO 0.119；Al_2O_3–CaO 0.028；Al_2O_3–K_2O –0.690

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

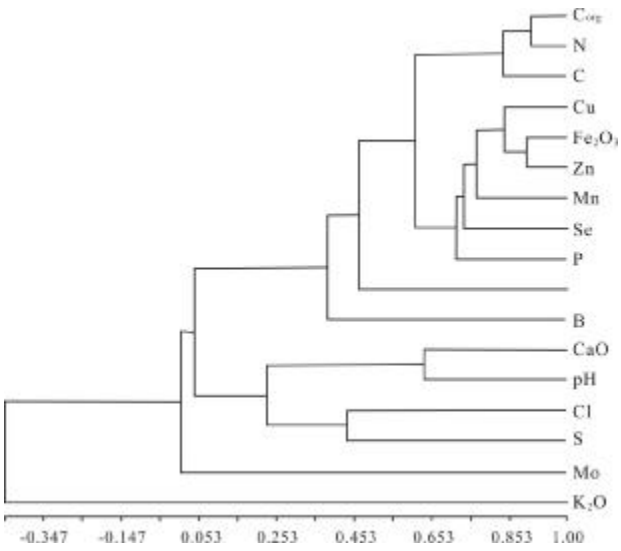

图 6　30 年来土壤碳源区养分元素聚类分析谱系图

Fig. 6　Cluster analysis pedigree diagram of nutrient elements in soil carbon source area over the past 30 years

C_{org}–N 0.910; Fe_2O_3–Zn 0.897; Cu–Fe_2O_3 0.840; C–C_{org} 0.836; Cu–Mn 0.767; Cu–Se 0.735; Cu–P 0.716; CaO–pH 0.633; C–Cu 0.610; C–MgO 0.466; Cl–S 0.435; B–C 0.383; CaO–C 0.228, B–CaO 0.044; B–Mo 0.0071; B–K_2O 0.637

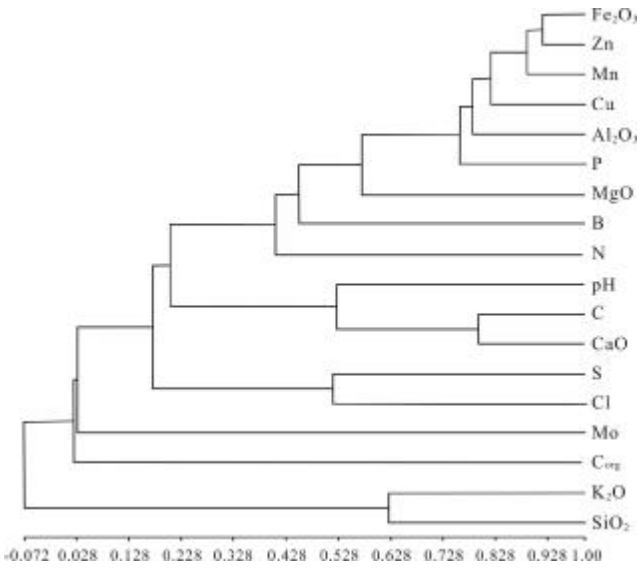

图 7　土壤有机质缺乏区养分元素聚类分析谱系图

Fig. 7　Cluster analysis pedigree diagram of nutrient elements in area lack of organic matters

Fe_2O_3–Zn 0.920; Fe_2O_3–Mn 0.889; Cu–Fe_2O_3 0.820; C–CaO 0.796; Cu–Al_2O_3 0.785; Cu–P 0.762; K_2O–SiO_2 0.625; Cu–MgO 0.575; pH–C 0.525; S–Cl 0.518; Cu–B 0.454; Cu–N 0.408; Cu–pH 0.207; pH–S 0.173; Cu–Mo 0.030; C_{org}–Cu 0.022; C_{org}–K_2O –0.072

研究区不同生态系统对土壤有机碳变化具有明显影响,农田生态系统土壤有机碳下降 14.58%,森林生态系统土壤有机碳基本保持不变,草地生态系统土壤有机碳下降最为明显,达 20.5%(图 8). 农田生态系统的土壤有机碳明显下降,且有机碳下降过程中的 N、P、S 等元素含量较低,表明开垦荒地和翻耕农田一方面消耗土壤有机碳,同时加剧营养元素流失,土壤成分破坏. 已有研究表明,草原生态系统土壤有机碳库随温度增加呈指数下降[38],草原群落土壤呼吸速率与土壤温度间存有显著的相关关系,呼吸量随温度升高呈指数上升[39-42],但森林土壤有机碳分解速率并不受温度控制,升温不会加速森林矿质土壤有机碳分解[43]. 本研究中草地生态系统土壤有机碳明显下降而森林生态系统土壤有机碳基本不变的结果与上述研究结果一致.

土壤养分综合评价显示,30 a 以来土壤养分缺乏

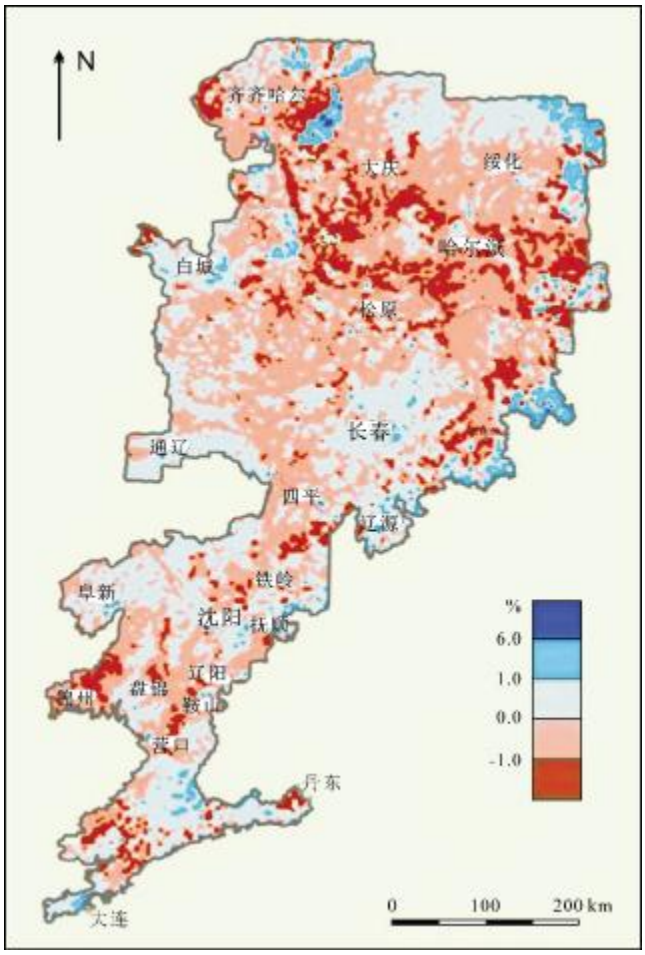

图 8　30 年来研究区土壤有机碳空间变化程度

Fig. 8　Spatial variation degree of soil organic carbon in the study area over the past 30 years

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn

的面积比例基本保持不变，土壤养分丰富面积比例由16.76%下降到7.36%，土壤养分中等面积比例增加近10%(表3)，表现为优质黑土正逐步向中等黑土变化的过程. 黑龙江省黑土开垦相对较晚，土壤养分下降明显. 因此表明土壤养分在开垦初期下降明显，随开垦年限的增加，土壤养分趋于平衡，下降程度降低.

表3 30年来研究区土壤养分丰缺演变状况

Table 3 Enrichment-deficiency evolution of soil nutrients in the study area over the past 30 years

养分程度	第二次土壤普查	本次调查
丰富	16.76%	7.36%
较丰富	18.44%	19.17%
中等	30.21%	40.70%
稍缺乏	24.01%	23.15%
缺乏	10.58%	9.62%

5 黑土退化控制因素

土地利用活动通过改变地表植被覆盖，直接造成植被和土壤碳库的变化，这种影响会持续一定时间，碳库损失量和随时间的变化与土地利用类型有关[44]. 从30 a以来黑土有机碳下降程度(图8)对比发现，黑土有机碳在黑龙江省开垦近120 a的地区为明显碳源区，有机碳下降程度最高. 同时显示，30 a以来土壤有机质含量随生态系统发生改变而变化非常明显. 主要表现为：在森林生态系统、草原生态系统转为农田生态系统以及水田改为旱田地区，土壤有机质含量明显为负增长；除此外，在松辽平原中西部荒漠化区，30 a以来一直为未利用地的局部地区，土壤有机质同样呈负增长. 不同时期土地利用类型与土壤盐碱化分布特征对比显示，黑土荒漠化、盐碱化与土地利用程度相关性较弱，以自然因素影响为主. 可以认为土地荒漠化、盐碱化是黑土退化的又一关键因素.

6 讨论

研究区土壤有机质下降、盐碱化是黑土退化的关键因素. 有机质下降过程中，土壤全氮、全磷、全硫及其他大量、微量营养元素均随之流失. 有机质下降至缺乏(含pH>8.5区域)时，土壤养分全氮、全磷等大量元素相关性弱，在黑土盐碱化及有机质下降、有机质缺乏等不同演化过程与状态中，代表土壤黏粒的铁、锰氧化物及易被这些元素吸附的微量元素仍保持密切相关，即在不同的退化方式及退化程度下，铁、锰氧化物及微量元素表现为“生命共同体”特征. 结合海伦及公主岭地区不同时期微量元素指标变化的特征表明，黑土退化过程是大量元素和微量元素同时下降的过程，也是大量元素含量比例平衡被破坏的过程，黑土退化过程中微量元素的流失不可忽视. 自然因素引起的盐碱化、荒漠化和开发利用的程度是导致黑土退化的关键因素. 因此，未来应全面系统地开展盐碱化、荒漠化及土地开发利用导致黑土退化过程中物理及化学指标退化机制研究，进而提出黑土退化的预防措施.

参考文献：

[1]崔明，张旭东，蔡强国，等. 东北典型黑土区气候、地貌演化与黑土发育关系[J]. 地理研究，2008，27(3)：527-535.

[2]张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京：中国农业出版社，2002：142-147.

[3]商翎，提福魁，王淑华，等. 元素生态地球化学及其应用[M]. 沈阳：辽宁大学出版社，1997：15-21.

[4]汪景宽，张旭东，王铁宇，等. 黑土土壤质量演变初探III——不同地区黑土主要微量元素状况及其评价[J]. 沈阳农业大学学报，2002，33(6)：420-424.

[5]于君宝，刘景双，王金达，等. 不同开垦年限黑土有机碳变化规律[J]. 水土保持学报，2004，18(1)：27-30.

[6]李海波，韩晓增，王风，等. 不同土地利用下黑土密度分组中碳、氮的分配变化[J]. 土壤学报，2008，45(1)：112-119.

[7]于洋，刘吉平，徐艳艳. 东北典型黑土区土壤养分空间分异影响因素分析[J]. 水土保持研究，2009，16(5)：66-69.

[8]解宏图，李维福，郑立臣. 东北黑土活性有机碳、氮分布研究[J]. 土壤通报，2008，39(2)：249-253.

[9]汪景宽，李双异，张旭东，等. 20年来东北典型黑土地区土壤肥力质量变化[J]. 中国生态农业学报，2007，15(1)：19-24.

[10]汪景宽，王铁宇，张旭东，等. 黑土土壤质量演变初探Ⅰ—不同开垦年限黑土主要质量指标演变规律[J]. 沈阳农业大学学报，2002，33(1)：43-47.

[11]汪景宽，张旭东，王铁宇，等. 黑土土壤质量演变初探II——不同地区黑土中有机质、氮、硫和磷现状及变化规律[J]. 沈阳农业大学学报，2002，33(4)：270-273.

[12]Houghton R A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000[J]. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 2003, 55(2): 378-390.

[13]Ruddiman W F. The anthropogenic greenhouse era began thousands of

PDF pdfFactory Pro www.fineprint.cn

years ago[J]. Climatic Change, 2003,61(3):261-293.
[14]Ellis E C, Goldewijk K K, Siebert S, et al. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000[J]. Global Ecology and Biogeography, 2010,19(5):589-606.
[15]周涛,史培军. 土地利用变化对中国土壤碳储量变化的间接影响[J]. 地球科学进展,2006,21(2):138-143.
[16]周莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(1):99-105.
[17]Esser G. Modelling global terrestrial sources and sinks of CO_2 with special reference to soil organic matter[M]//Bouwman A F. Soils and the Greenhouse Effect. New York: John Wiley & Sons, 1990:247-262.
[18]李克让,王绍强,曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量[J]. 中国科学(D辑),2003,33(1):72-80.
[19]方华军,杨学明,张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展[J]. 土壤通报,2003,34(6):562-568.
[20]Ayanaba A, Jenkinson D S. Decomposition of carbon-14 labeled ryegrass and maize under tropical conditions[J]. Soil Science Society of America Journal, 1990,54(1):112-115.
[21]廖利平,高洪,于小军,等. 人工混交林中杉木、桤木和刺楸细根养分迁移的初步研究[J]. 应用生态学报,2000,11(2):161-164.
[22]衣保中. 近代以来东北平原黑土开发的生态环境代价[J]. 吉林大学社会科学学报,2003(5):62-68.
[23]尹云锋,蔡祖聪,钦绳武. 长期施肥条件下潮土不同组分有机质的动态研究[J]. 应用生态学报,2005,16(5):875-878.
[24]马红亮,朱建国,谢祖彬,等. 不同氮水平下 CO_2 浓度升高对小麦土壤可溶性 C、N 和 P 的影响[J]. 土壤,2005,37(3):284-289.
[25]方华军,杨学明,张晓平. 东北黑土有机碳储量及其对大气 CO_2 的贡献[J]. 水土保持学报,2003,17(3):9-12,20.
[26]Lal R. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon[J]. Advances in Agronomy, 2001,71:145-191.
[27]Lal R, Follett R F, Kimble J M. Achieving soil carbon sequestration in the United States: A challenge to the policy makers[J]. Soil Science, 2003,168(12):827-845.
[28]何凡能,李美娇,肖冉. 中美过去 300 年土地利用变化比较[J]. 地理学报,2015,70(2):297-307.
[29]张丽娟,姜蓝齐,张学珍,等. 19 世纪末黑龙江省的耕地覆盖重建[J]. 地理学报,2014,69(4):448-458.
[30]王学志,张正祥,盛连喜,等. 基于地貌特征的东北土地利用格局[J]. 生态学杂志,2010,29(12):2444-2451.
[31]李蓓蓓,方修琦,叶瑜,等. 中国东北地区过去 300 年耕地开垦导致的碳收支[J]. 中国科学:地球科学,2014,44(9):1987-1996.
[32]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21010-2017 土地利用现状分类[S]. 北京:中国标准出版社,2017:1-10.
[33]于东升,史学正,孙维侠,等. 基于 1:100 万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2279-2283.
[34]史学正,于东升,高鹏,等. 中国土壤信息系统(SISChina)及其应用基础研究[J]. 土壤,2007,39(3):329-333.
[35]Shi X Z, Yu D S, Xu S X, et al. Cross-reference for relating genetic soil classification of China with WRB at different scales[J]. Geoderma, 2010,155(3/4):344-350.
[36]Shi X Z, Yu D S, Warner E D, et al. Cross-reference system for translating between genetic soil classification of China and soil taxonomy[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006,70(1):78-83.
[37]于君宝,刘景双,王金达,等. 典型黑土 pH 值变化对营养元素有效态含量的影响研究[J]. 土壤通报,2003,34(5):404-408.
[38]Lal R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland [J]. Environmental Pollution, 2002,116(3):353-362.
[39]Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. The Botanical Review, 1977,43(4):449-528.
[40]Kucera C L, Kirkham D R. Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri[J]. Ecology, 1971,52(5):912-915.
[41]Medina E, Zelwer M. Soil respiration in tropical plant communities [C]//Golley P M, Golley F B. Proceedings of the Second International Symposium of Tropical Ecology. Athens: University of Georgia Press, 1972:245-269.
[42]陈全胜,李凌浩,韩兴国,等. 水热条件对锡林河流域典型草原退化群落土壤呼吸的影响[J]. 植物生态学报,2003,27(2):202-209.
[43]任军,郭金瑞,边秀芝,等. 土壤有机碳研究进展[J]. 中国土壤与肥料,2009(6):1-7,27.
[44]Giardina C P, Ryan M G. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature [J]. Nature, 2000,404(6780):858-861.

PDF pdfFactory Pro　www.fineprint.cn