



典型黑土中有机质和养分元素的变化分析

刘希瑶¹, 刘 澎², 刘 驰³

1. 辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110032;
2. 辽宁省矿产勘查院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110032;
3. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 依据 2003–2008 年松辽平原中南部地区多目标区域地球化学调查成果, 选择黑土类型土壤样本 6553 件, 研究典型黑土中有机质及养分元素碳、氮、硫、磷、钙、钾、铁、镁、锌、铜、钼、锰、硼的变化特征。发现典型黑土中有机质结构性元素碳、氮、硫、磷以及铜、镁、铁、钙元素的含量变化与有机质的变化具有正相关性。养分元素含量的变化与成土母质和土壤类型关系密切, 如锰在黑土中含量普遍偏高。中国土壤以及松辽平原土壤的宏观背景是典型黑土中钾偏高和钼、硼偏低。生物气候带是影响有机质和某些养分元素变化的重要因素。温带–寒温带的气候条件影响着土壤的物理性质和化学性质, 如粒级、黏粒性、酸碱性, 进而影响元素含量的变化。

关键词: 黑土; 有机质; 养分元素; 土壤地球化学; 松辽平原

VARIATION CHARACTERISTICS OF ORGANIC MATTERS AND NUTRIENT ELEMENTS IN TYPICAL BLACK SOIL

LIU Xi-yao¹, LIU Peng², LIU Chi³

1. Liaoning Geological and Mineral Survey Institute Co., Ltd., Shenyang 110032, China;
2. Liaoning Mineral Exploration Institute Co., Ltd., Shenyang 110032, China;
3. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: Based on the results of multi-objective regional geochemical survey in central and southern Songliao Plain during 2003–2008, 6553 soil samples are selected to study the variation characteristics of organic matters and nutrient elements including C, N, S, P, Ca, K, Fe, Mg, Zn, Cu, Mo, Mn and B in typical black soil. It is found that the content variation of structural elements such as C, N, S and P, as well as other elements including Cu, Mg, Fe and Ca, has positive correlation with that of organic matters in typical black soil. The content change of nutrient elements is closely related to parent materials and soil types. For instance, Mn content is generally high in black soil. The macro-background of soil in China and Songliao Plain is characterized by high K and low Mo and B in typical black soil. Bioclimatic zone is an important factor affecting the variation of organic matters and some nutrient elements. The climatic conditions of temperate-cold temperate zones affect the physical-chemical properties of soil such as grain size, clay fraction acid-base property of soil and then the change of element content.

Key words: black soil; organic matter; nutrient element; soil geochemistry; Songliao Plain

收稿日期: 2021-07-16; 修回日期: 2022-09-02. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“松辽平原中南部地区多目标区域地球化学系列图编制”(编号 ZTR20070206).

作者简介: 刘希瑶(1985—), 女, 高级工程师, 从事地球化学调查与评价工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区宁山路 42 号羽丰大厦 24 层, E-mail// huangmaoliu8@sina.com

0 前言

黑土地是不可多得的优质土地资源,主要分布在黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古东部地区,统称为东北黑土区^[1-3].这类土壤富含有机质,是土壤肥力的重要标志.同时,土壤中的氮、磷、钾等养分元素对农作物的生长至关重要.因此,了解黑土区有机质及养分元素的变化特点,对农作物生长和土壤生态环境研究具有积极的意义^[4-12].依据2003—2008年松辽平原中南部地区多目标区域地球化学调查所获得的成果,选择了土壤类型为黑土的样本,重点分析黑土中有机质及养分元素的变化特征.

1 数据来源及质量

松辽平原中南部地区多目标区域地球化学调查于2003—2008年由辽宁省地质矿产调查院、吉林省地质调查院和黑龙江省地质调查研究总院共同完成.土壤调查采样方法是分别采集表层土壤和深层土壤.表层采样密度为1个点/ km^2 ,采样深度0~20 cm,每4 km^2 组合一个分析样.深层采样密度为1个点/4 km^2 ,采样深度150~180 cm,每16 km^2 组合一个分析样,同时记录土壤类型和成土母质类型,并测试分析全碳(TC)、有机碳(TOC)、氧化物、微量元素和土壤酸碱性(pH)等54项元素含量及指标.野外采样质量和样品分析测试质量由中国地质调查局组织检查验收,结果显示质量可靠.中国地质调查局沈阳地质调查中心组织上述三省调查单位技术人员,依据调查资料进行了数据整合,编制并出版了《中华人民共和国多目标区域地球化学图集——松辽平原中南部地区》^[13].

2 典型黑土区有机质及养分元素变化特征

一般认为,植物必需的养分元素有:氢、氧、碳、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、锌、铜、钼、硼^[14].土壤有机质的主要元素组成是碳、氧、氢、氮,其次是磷和硫^[15],它们是有机质的结构性元素.以松辽平原中南部地区多目标区域地球化学调查表层土壤样品为依据,选取土壤类型为黑土的样本6 553件,覆盖面积约26 000 km^2 ,南北长约500 km,纬度区间在北纬43~47°,分析有机质和养分元素碳、氮、磷、硫、钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜、钼、硼的变化特征.一般情况下,有机质含量=有机碳含量 $\times 1.724$.

2.1 有机质的变化特征

典型黑土区有机质的分布特征见图1.

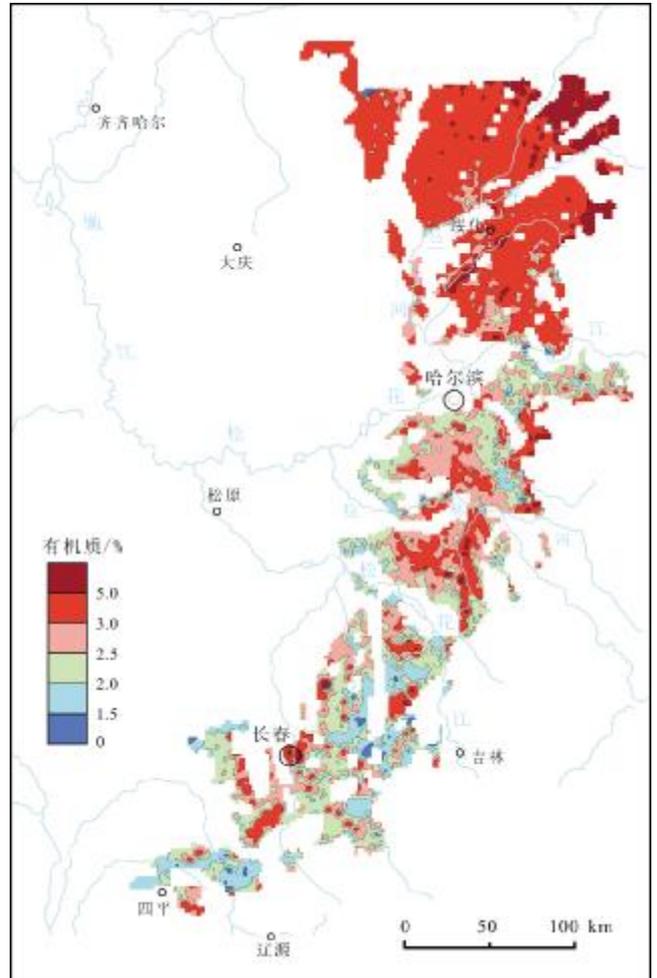


图1 典型黑土区有机质分布图

(据文献[16])

Fig. 1 Distribution of organic matters in typical black soil area

(From Reference [16])

由图1可以清楚地看出有机质含量的分布特征: 1)在哈尔滨以北,以松花江为界的哈尔滨-绥化地区土壤有机质含量大于3%的土地面积占98.49%,且分布均匀. 2)在松花江以南的双城-扶余地区,土壤有机质含量以2.0%~3.0%非均匀分布,有机质含量大于3%的土地面积占87.21%. 3)在长春-四平地区,土壤有机质以1.5%~3.0%非均匀分布为主要特征,有机质大于3%以上的土地面积仅占14.61%,而有有机质小于2%的面积占33.04%.综合3个地区有机质含量的变化特征表明:典型黑土区有机质含量分布具有明显的纬度地带性分布特征,由北向南逐渐降低,并且以主

要河流为界,形成不同的有机质含量分布区域^[16]。

由于地表接收太阳辐射的能量具有纬度分带性,气候、水文、植物、土壤等呈现明显的地带性规律。而元素的化学活动与水、温度、生物、土壤等因素密切相关。因此,表生地球化学环境也具有地带性规律。可见,典型黑土区有机质的这种纬度地带性分布特征与土壤的地理地貌、气候环境、成土母质和土壤性质等条件有重要的时空关系^[17-23]。

2.2 养分元素平均值的变化特征

根据有机质含量具有区域性变化的特点,分别对3个地区的有机质和养分元素含量进行了统计分析,计算平均值,并与中国土壤元素背景值(A层)(中国环境监测总站,1990)进行对比。对于钙、钾、铁、镁元素转换成氧化物含量,以便与采用的土壤样本实测氧化物数据对比分析。由于个别元素在中国土壤元素背景值(A层)未列出,故参照了松辽平原中南部表层土壤元素含量背景值^[13](见表1)。

表1 不同地区养分元素平均值

Table 1 Average contents of nutrient elements in different regions

指标	哈尔滨-绥化	双城-扶余	长春-四平	中国土壤元素背景值(A层)
C	2.52	1.76	1.49	1.50*
N	2015	1425	1236	1197*
P	866	708	617	554*
S	268	209	176	198*
CaO	1.62	1.68	1.37	1.30
K ₂ O	2.53	2.57	2.57	2.26
Fe ₂ O ₃	4.85	4.64	4.61	4.24
MgO	1.40	1.37	1.24	1.23
B	30.89	33.48	36.11	41.0
Cu	21.83	21.13	21.44	20.7
Mn	789	768	780	540
Mo	0.62	0.62	0.69	1.10
Zn	65.37	66.26	65.50	68.0
有机质	3.93	2.71	2.39	2.0
pH	6.70	6.75	6.36	7.81*

*为松辽平原中南部表层土壤背景值。含量单位: C、氧化物、有机质为%,其他元素为10⁻⁶。

平均值可以表示元素的区域背景特征。由表1看出,碳、氮、磷、硫作为有机质的结构性元素,它们的区域性变化与有机质的区域性变化相同,由北向南逐渐降低。铁、镁、钙也具有类似的变化趋势,但变化梯度不大。而硼的平均值却具有相反的变化特征,随着有机质的减少,硼的平均值在增加。钾、铜、锰、钼、锌的平均值在3个地区比较相近,说明它们在土壤中分布较均匀,并且没有随有机质的变化而发生明显的改变,与有机质的关系不是很密切。另外,在3个地区的土壤中,氮、磷、钙、钾、铁、锰、镁的平均值都高于背景值,碳、硫则是在有机质大于2%(哈尔滨-绥化、双城-扶余)的土壤中高于背景值,铜的平均值在3个地区都是略高于背景值。而硼、钼、锌元素在3个地区的平均值都低于背景值,说明硼、钼、锌元素在典型黑土中是一种较缺失的状态。

2.3 不同有机质土壤样本中养分元素含量的变化特征

为了进一步了解养分元素在不同有机质土壤样本中的变化,筛选出有机质大于3%、2%~3%、小于2%的3类土壤样本,将每一类中每个土壤样本的养分元素含量高于背景值的比例进行了统计(表2)。可以看出:

1)在有机质 $\geq 3\%$ 的土壤样本中,除了硼、钼、锌以外,其他养分元素高于背景值的样本量都在80%以上,说明在有机质丰富的土壤中,大部分养分元素的含量很高;在有机质 $< 2\%$ 的土壤样本中,除了钾、锰、铁以外,其他元素高于背景值的样本量都在60%以下,说明在有机质缺乏的土壤中,大部分养分元素含量较低;而在 $2.0\% \leq$ 有机质 $< 3.0\%$ 的土壤样本中,养分元素含量高于背景值的占比率介于两者之间。同时也看出养分元素硼、钼、锌在典型黑土中是一种缺乏的状态。

2)养分元素碳、氮、磷、硫、钙、铁、镁、铜、锌的含量变化规律与有机质的变化规律相同,随着有机质的减少,高于背景值的土壤样本量也相应减少。尽管锌普遍低于背景值,但是它的变化规律与有机质变化规律还是一致的。养分元素硫的变化规律与有机质的变化规律一致,但是它的变化梯度却较大,与其他养分元素的变化特点明显不同。而钾、锰不论有机质含量高或低,它们高于背景值的占比率基本都在90%以上。说明它们在黑土中含量较高且空间上分布均匀,不受有机质变化影响。养分元素硼的变化规律与有机质的变化规律相反,随着有机质减少,硼含量高于背景值的占比率

表2 不同有机质样本中养分元素含量高于背景值的占比率

Table 2 Percentages of soil samples with nutrient element contents over background value

指标	有机质 $\geq 3\%$ (n=2938)		2% \leq 有机质 $< 3\%$ (n=2713)		有机质 $< 2\%$ (n=902)	
	样本量	占比/%	样本量	占比/%	样本量	占比/%
C	2908	98.98	1688	62.22	90	9.98
N	2856	97.21	1978	72.91	241	26.72
P	2850	97.00	2186	80.58	410	45.45
S	2746	93.46	969	35.72	68	7.54
CaO	2504	85.23	1678	61.85	235	26.05
K ₂ O	2873	97.79	2697	99.41	897	99.45
Fe ₂ O ₃	2775	94.45	2268	83.60	647	71.73
MgO	2571	87.51	2016	74.31	537	59.53
B	107	3.64	324	11.94	249	27.61
Cu	2384	81.14	1641	60.49	388	43.02
Mn	2886	98.23	2671	98.45	854	94.68
Mo	140	4.77	56	2.06	42	4.66
Zn	1059	36.04	595	21.93	155	17.18
pH < 6.5	1245	42.38	1310	48.28	573	63.52
pH ≥ 6.5	1693	57.62	1403	51.72	329	36.48

却逐渐提高,说明土壤中养分元素硼含量与有机质具有负相关的变化特点。

3) 土壤的酸碱性也有一定的规律性。在 pH < 6.5 的弱酸—酸性土壤中,有机质低含量的样本逐渐增多。与之相反,在 pH ≥ 6.5 的弱碱—碱性土壤中,有机质低含量的样本逐渐减少。说明在研究区的碱性土壤中有有机质含量较高。

3 讨论与认识

黑土肥力质量(如有机质、氮、磷、钾)对农业耕地具有重要的作用,有关学者进行了大量的研究^[10, 24-26]。根据上述发现的典型黑土区有机质和养分元素的变化特点,进行必要的分析探讨,研究有机质以及养分元素的关系和变化因素,对于黑土肥力状况和农作物生长研究都有积极的意义。

3.1 养分元素硫的变化分析

硫是典型的半金属元素,硫化物在自然界中广泛

分布,硫化物多不溶于水。由表2得知,随着土壤有机质的减少,硫含量也相应减少,说明硫与有机质具有极显著的正相关关系。另外一个明显特点是,硫含量在有机质不同的土壤中变化幅度很大。因此,可以认为土壤有机质含量的高低是影响硫含量的重要因素^[27]。土壤硫主要来源于成土母质、灌溉水、大气干湿沉降以及施肥。土壤硫含量与成土母质、土壤质地、土壤酸碱性、气候条件等因素有关。

由图1可知,有机质大于3%的样本主要分布在绥化—哈尔滨地区,成土母质以冲湖积物为主。土壤质地细腻,黏粒性较强。而有机质小于2%的样本主要分布在长春—四平地区,成土母质主要为冲积物,土壤砂粒性较强。通常黏粒性较高的土壤中硫的含量要高于砂性母质(如花岗岩、砂岩等)发育的土壤^[15]。黑土硫含量与土壤粒级小于0.002 mm黏粒量有显著相关关系^[27]。可见成土母质以及土壤的质地(粒级)差异导致土壤硫含量发生了显著的变化。由表2也可以看出,在有机质小于2%的土壤中,pH < 6.5 的弱酸性—酸性样本占63.52%。酸性土壤加剧了硫的淋溶,降低了土壤中硫的含量。长春—四平地区的年平均气温要高于绥化—哈尔滨地区,较高的土壤温度促进了硫转化成气态硫进入大气,也可导致土壤中硫含量减少。本研究表明,土壤中硫与有机质具有显著的正相关关系,而土壤的成土母质、土壤质地(粒级)、酸碱性和气候环境的差异,使得土壤硫含量的变化幅度很大。

3.2 养分元素钾的变化分析

钾是组成生物体的重要元素,对有机体起催化作用。土壤中钾主要来源于成土母质,是土壤钾含量的主体。在岩石风化和成土过程中,世界钾元素损失率为33%,中国只损失14%,钾元素在中国土壤中的迁移能力比世界弱。因此,中国土壤钾元素丰度较高(见表3)。从土壤类型来看,黑土、黑钙土在成土以后钾的含量明显高于草甸土、棕壤、暗棕壤^[28]。由表2得知,不论土壤有机质含量高低,钾含量高于背景值的样本量都在97%以上,说明典型黑土区钾含量普遍高的特点符合我国土壤钾从成土母质到成土后的普遍规律。由于钾的离子半径大,极化率高,易被土壤所吸附,钾元素在土壤中富集能力大于钠^[14]。钾在土壤中迁移能力较弱,淋失少,在土壤中保留的多。这也是典型黑土区钾含量普遍高的原因之一。松辽平原中南部地区土壤

表 3 不同土壤类型钾元素的丰度

Table 3 Abundance of potassium in different soil types

土类	样点数	平均值	土类	样点数	平均值
绵土	12	1.75	沼泽土	20	1.9
黑垆土	7	1.9	盐土	32	1.93
黑土	11	2.06	碱土	3	1.85
黑钙土	18	2.17	风沙土	13	2.06
水稻土	57	1.64	红壤	77	1.75
棕壤	51	1.88	棕漠土	14	1.68
暗棕壤	29	1.93	棕色针叶林土	10	1.76
栗钙土	34	1.91	草甸土	39	1.86

据文献[28],含量单位:%。

全钾丰缺评价也表明了土壤钾富足以上的面积达99.28%。比较松辽平原中南部地区土壤表层氧化钾地球化学图和土壤pH值图也发现^[13],大部分碱性土壤环境中,钾含量较高;而酸性土壤环境中,土壤钾含量较低。典型黑土区土壤基本处于中性—弱碱性的环境,对钾的流失影响不是很大。由于雨水相对少些(与南方相比),低温天气较长,土壤的风化作用相对较弱,致使土壤钾的流失减弱。平坦地势面积大,坡度小,土壤中的钾随水而流失减弱,也提高了土壤钾的含量。从上述分析的情况看,土壤中钾含量高,既有迁移能力弱也有成土过程富集等多种作用的原因。

由此可见,全国土壤以及松辽平原中南部地区土壤钾含量普遍高的特性奠定了典型黑土区钾的高含量基础。钾元素的物理化学性质决定了其容易被土壤所吸附,土壤的酸碱性、地貌和气候条件减少了钾的流失。有机质与钾之间不具有明显的正相关(或负相关)变化规律,即便土壤的有机质和黏粒性质对钾有吸附作用,但有机质的一般变化不足以使土壤中钾发生显著的变化。正是这些因素促使典型黑土区钾含量具有普遍较高的特点。

3.3 养分元素锰的变化分析

锰是较强的亲氧元素,McHargue^[29]于1922年首次提出锰是植物生长必需的营养元素,从此确立锰元素在土壤—植物—动物循环体系中的重要性和不可替代性,成为土壤学研究的新增长点。由表1和表2得知,无论有机质高或低,锰的平均值都较高于中国土壤

元素背景值(A层) 540×10^{-6} 。并且高于背景值的样本量都达到了94%以上,表明典型黑土区土壤锰含量较高,且空间分布较均匀。

土壤中的锰主要来自成土母质,其次是植物残体和大气降尘。地球上所有的岩石都含有锰,总的趋势是沉积岩大于火成岩。中国77.3%的陆地面积为各类沉积岩覆盖。沉积物中锰的含量与沉积物的来源、粒度和生成环境有关。页岩和黏土中锰的含量较高。土壤质地较轻的土壤一般含锰较低。大气降尘、降雨和肥料施入也是土壤锰的来源^[28]。成土母质是土壤锰的最初来源,在一定程度上控制土壤锰的背景值。典型黑土区成土母质主要为流水冲积母质和湖相沉积母质,其本身的锰含量较高(57×10^{-6})。成土后尤其是黑土,锰的含量达 772×10^{-6} ^[28],显著高于中国土壤元素背景值(A层)。锰在风化壳中属移动元素。锰在水中的主要迁移形式是胶体溶液,加之有机质的护胶作用使锰的长途搬运成为可能,并且损失较少。这也是流水冲积和湖积沉积的母质土壤中锰含量较高的因素之一。在形成黑土的过程中,有机质对锰的积累有重要作用。可见,成土母质是决定了土壤锰含量的基础,富含有机质的黑土促进了锰的富集。另外,从松辽平原中南部地区土壤pH图与锰元素地球化学图^[13]也发现在弱碱性—碱性土壤中锰含量相对低些,而在弱酸性—酸性土壤中锰含量相对高些。

3.4 养分元素硼的变化分析

硼是植物必需微量元素。硼不是植物体内的结构成分,但它对植物的某些重要生理过程有着特殊的影响。由表1和表2得知,在有机质不同的土壤样本中,土壤硼的平均值都低于中国土壤元素背景值(A层) 41.0×10^{-6} 。当土壤中有有机质由高变低时,土壤硼含量高于背景值的样本量都低于30%,并且是由少变多(3.64%—27.61%)。这一现象表明典型黑土区土壤普遍缺硼。

与其他微量元素相似,土壤硼主要来自成土母质,其次为火山活动和降雨。海水和湖水中硼含量很丰富,所以海相、湖相沉积物发育的土壤硼含量分别高达 59.7×10^{-6} 和 53.8×10^{-6} ,显著高于中国土壤元素背景值 41.0×10^{-6} ,流水冲积沉积物发育的土壤硼含量(40.3×10^{-6})与中国土壤元素背景值(A层)基本相同。不过由于硼在风化壳中的易移动性,各种成土过程能够不同

程度地改变土壤硼的最初含量及赋存形态. 黑土中硼的含量 (31.0×10^{-6}) 明显低于中国土壤元素背景值(A层). 另外, 黑钙土、棕壤、暗棕壤、草甸土等同属黑土类的土壤, 其硼含量 (29.8×10^{-6} 、 38.2×10^{-6} 、 34.3×10^{-6} 、 21.1×10^{-6}) 比较低; 而碱土、水稻土、盐土硼含量 (51.3×10^{-6} 、 61.6×10^{-6} 、 70.3×10^{-6})^[28] 则高于中国土壤元素背景值(A层). 虽然从成土母质来看, 不论是流水冲积沉积还是湖相沉积, 其硼含量并不低, 但成土后形成的黑土硼含量却较低, 说明土壤硼含量从成土母质到形成不同土壤类型的过程中, 发生了显著的改变. 土壤硼含量与土壤类型至关重要, 与成土环境等因素密切相关. 这也佐证了典型黑土区土壤硼含量普遍较低的特点. 不论是植物界或土壤圈, 硼缺乏区分布最为广泛, 中国大约一半土壤处于缺硼状态^[28].

硼也是微量元素中移动性最大的元素. 表生带风化过程中, 硼是个不稳定的元素, 多硼酸盐易溶解于冷水中, 使硼在水中作长时间的迁移. 在冷温带土壤中, 硼向土壤剖面下部淋失, 而在温湿土壤或干旱和半干旱地区, 硼可能集中在土壤表层^[14]. 硼元素的这种性质也体现在相对低温和湿润的绥化-哈尔滨地区土壤表层硼含量较低, 而在相对高温和干燥的长春-四平地区土壤表层硼含量较高. 分析认为, 典型黑土区硼含量很低, 既是黑土本身的一个特征, 也符合中国土壤普遍缺硼的规律. 土壤类型是重要的影响因素. 相对低温湿润环境, 表层土壤硼含量减少; 相对高温干燥环境, 表层土壤硼含量增加. 土壤硼含量的变化与有机质的变化具有一定的弱负相关变化规律.

3.5 养分元素钼的变化分析

钼是植物必需的微量元素. 由表1和表2得知, 在有机质不同的土壤样本中, 土壤钼的平均值都低于中国土壤元素背景值(A层) 1.10×10^{-6} . 当土壤中有有机质由高变低时, 土壤钼含量高于背景值的样本量都低于5%, 这一现象表明典型黑土区土壤普遍缺钼, 与有机质含量变化的相关性不明显.

土壤中钼主要来源于成土母质. 流水冲积沉积和湖相沉积母质的钼平均值为 1.0×10^{-6} , 与中国土壤元素背景值(A层) 1.10×10^{-6} 接近, 而火山喷发沉积和海相沉积母质的钼平均值分别为 3.5×10^{-6} 和 3.2×10^{-6} . 王云等^[28] 的研究统计了黑土的平均值为 1.0×10^{-6} . 可见, 从成土母质到成土后钼的平均含量并不高. 一般而

言, 土壤发育程度越高, 母质的影响作用越弱. 世界土壤中钼的平均值为 2.0×10^{-6} , 可见中国土壤钼的平均值低于世界平均值. 我国土壤钼含量低于 1.5×10^{-6} 的缺钼土壤占67%. 迟清华等^[30] 研究了松辽平原土壤地球化学基准值, 钼为 0.61×10^{-6} , 与典型黑土区土壤中钼平均值 0.64×10^{-6} 基本一致. 说明典型黑土区钼含量低与中国土壤普遍缺钼的背景环境有关, 同时也符合松辽平原土壤地球化学现状.

此外, 成土过程则或多或少改变了钼的最初含量及其结合状态, 这种改变能力取决于土壤母质的类型、原生矿物组成和土壤所处的环境——生物气候带. 依据气候带探讨土壤中钼含量分布规律是土壤钼研究的另一途径. 温带和寒温带的土壤中钼的含量最低, 常常小于 1.0×10^{-6} , 干旱和半干旱地区土壤中钼含量最高^[28]. 因此, 地处温带湿润、半湿润季风气候类型的典型黑土区钼含量低的现象也表明了土壤钼含量具有生物气候带分布的地球化学特点.

4 结论

(1) 典型黑土区有机质具有地带性分布特征, 而多数养分元素含量的变化与有机质含量的变化关系密切. 如碳、氮、硫、磷这些有机质的结构性元素以及铜、镁、铁、钙元素, 它们的含量变化与有机质变化具有正相关的变化规律. 即: 有机质丰富的土壤中养分元素含量较高, 有机质缺乏的土壤中养分元素含量较低.

(2) 养分元素的变化与成土母质和成土后土壤类型关系密切. 无论有机质高低, 养分元素钾和锰都具有较高的含量. 流水冲积、湖积的成土母质和黑土类型决定了土壤中钾和锰的含量基础, 而中国土壤和松辽平原土壤钾和锰普遍高的环境背景也是重要的因素. 气候条件以及土壤的酸碱性也是影响它们变化的重要条件.

(3) 生物气候带也是影响养分元素变化的重要因素. 气候条件影响着土壤的物理性质和化学性质, 如粒级、黏粒性、酸碱性, 进而影响元素的淋溶、迁移、吸附等. 养分元素硼和钼在典型黑土中普遍缺失并且与有机质变化关系不密切的特点, 一是由于松辽平原土壤乃至中国土壤普遍缺硼和钼, 二是典型黑土区所处的温带-寒温带的气候条件也是重要的因素.

(4) 表生地球化学环境决定了土壤中有有机质和养

分元素的含量背景. 本文对典型黑土中有机质和养分元素变化的研究, 所选用的样本量之大和养分元素之多是以前未曾有过的, 因此期望其分析与认识可以为黑土地的研究提供参考.

参考文献(References):

- [1] 李世泉, 王岩松. 东北黑土区水土保持监测技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 1-3.
Li S Q, Wang Y S. Monitoring technology of soil and water conservation in black soil area of Northeast China[M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2008: 1-3.(in Chinese)
- [2] 刘春梅, 张之一. 我国东北地区黑土分布范围和面积的探讨[J]. 黑龙江农业科学, 2006(2): 23-25.
Liu C M, Zhang Z Y. Discussion of the area and distribution of black soils in Northeastern China[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2006(2): 23-25.
- [3] 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.
- [4] 方宏宾, 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: 158-198.
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: 158-198. (in Chinese)
- [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 the Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 206-212.
- [6] 王文娟, 邓荣鑫, 张树文. 东北典型黑土区沟蚀发生风险评估研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2058-2067.
Wang W J, Deng R X, Zhang S W. Preliminary research on risk evaluation of gully erosion in typical black soil area of northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(12): 2058-2067.
- [7] 李家熙, 吴功建, 黄怀曾, 等. 区域地球化学与农业和健康[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000: 77-86.
Li J X, Wu G J, Huang H Z, et al. Regional geochemistry with agriculture and human health [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2000: 77-86.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 房娜娜, 刘凯, 刘国栋, 等. 黑土肥力质量评价的生物指标研究进展[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 518-524, 542.
Fang N N, Liu K, Liu G D, et al. Research progress on biological indicators of black soil fertility quality evaluation[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 518-524, 542.
- [11] 宋运红, 张哲寰, 杨凤超, 等. 黑龙江海伦地区垦殖前后典型黑土剖面主要养分元素垂直分布特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 543-549.
Song Y H, Zhang Z H, Yang F C, et al. Vertical distribution of major nutrient elements in typical black soil sections in Hailun, Heilongjiang Province: Before and after reclamation[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 543-549.
- [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] 国土资源部中国地质调查局. 中华人民共和国多目标区域地球化学图集——松辽平原中南部地区[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 1-308.
China Geological Survey, Ministry of Land and Resources. Multi-objective regional geochemical atlas: Central and southern Songliao Plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 1-308. (in Chinese)
- [14] 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: 9-11.
Shang L, Ti F K, Wang S H, et al. Element ecological geochemistry and its application[M]. Shenyang: Liaoning University Press, 1997: 9-11. (in Chinese)
- [15] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 55-64.
Chen H M. Environmental soil science[M]. Beijing: Science Press, 2005: 55-64. (in Chinese)
- [16] 刘驰, 刘希瑶, 刘澎. 松辽平原典型黑土区有机质的变化及影响因素分析[J]. 地质与资源, 2020, 29(6): 550-555.
Liu C, Liu X Y, Liu P. Analysis on the changes of organic matters and their influencing factors of typical black soil areas in Songliao plain[J]. Geology and Resources, 2020, 29(6): 550-555.
- [17] 蒋辉. 环境地质学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 50-52.
Jiang H. Environmental geology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 50-52. (in Chinese)
- [18] 张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 76-77.

- Zhang F R. Soil geography [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 76-77. (in Chinese)
- [19]伍光和, 田连恕, 胡双熙, 等. 自然地理学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2000: 256-264.
- Wu G H, Tian L S, Hu S X, et al. Physical geography[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2000: 256-264. (in Chinese)
- [20]刘景双, 于君宝, 王金达, 等. 松辽平原黑土有机碳含量时空分异规律[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 668-673.
- Liu J S, Yu J B, Wang J D, et al. Temporal-spatial variation law of organic carbon content in typical black soil on Songliao Plain [J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(6): 668-673.
- [21]王金达, 刘景双, 刘淑霞, 等. 松嫩平原黑土土壤有机碳库的估算及其影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 687-690.
- Wang J D, Liu J S, Liu S X, et al. Evaluation on soil organic carbon pool and affecting factors in phaeozem region in Songnen Plain [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(4): 687-690.
- [22]张素荣, 张燕, 杨俊泉, 等. 海河流域平原区土壤碳密度分布特征和碳储量估算[J]. 地质调查与研究, 2015, 38(4): 305-310.
- Zhang S R, Zhang Y, Yang J Q, et al. Distribution characteristics of soil carbon density and carbon reserve estimation in the plain areas of Haihe River Basin [J]. Geological Survey and Research, 2015, 38(4): 305-310.
- [23]辛刚, 颜丽, 汪景宽, 等. 不同开垦年限黑土有机质变化的研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 332-335.
- Xin G, Yan L, Wang J K, et al. Changes of organic carbon in black soils with the different reclamation years [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(5): 332-335.
- [24]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.
- Wang J K, Wang T Y, Zhang X D, et al. An approach to the changes of black soil quality (I): Changes of the indices of black soil with the year (s) of reclamation [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2002, 33(1): 43-47.
- [25]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.
- Wang J K, Li S Y, Zhang X D, et al. Spatial and temporal variability of soil quality in typical black soil area in Northeast China in 20 years [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(1): 19-24.
- [26]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.
- Wang J K, Zhang X D, Wang T Y, et al. An approach to the changes of black soil quality (II): The status and changes of organic matter, total N, total S and total P in black soils (isohumols) in different areas [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2002, 33(4): 270-273.
- [27]迟凤琴, 汪景宽, 张玉龙. 东北地区黑土硫的分布特征及其与土壤性质的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 40-45.
- Chi F Q, Wang J K, Zhang Y L. The sulphur distribution in relation to properties of black soil in northeastern China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(1): 40-45.
- [28]王云, 魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 367-370.
- Wang Y, Wei F S. Chemistry of soil environmental elements [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1995: 367-370. (in Chinese)
- [29]Thornton I. Geochemical aspects of the distribution and forms of heavy metals in soils [C]// Leep N W. Effect of heavy metal pollution on plants. Pollution Monitoring Series, vol 2. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-8099-0_1
- [30]迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 87-88.
- Chi Q H, Yan M C. Handbook of elemental abundance for applied geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 87-88.
- (上接第 522 页/Continued from Page 522)
- [26]杨洋, 陈志鹏, 黎红亮, 等. 两种农业种植模式对重金属土壤的修复潜力[J]. 生态学报, 2016, 36(3): 688-695.
- Yang Y, Chen Z P, Li H L, et al. The potential of two agricultural cropping patterns for remediating heavy metals from soils [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): 688-695.
- [27]Hassan S E, Hijri M, St-Arnaud M. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on trace metal uptake by sunflower plants grown on cadmium contaminated soil [J]. New Biotechnology, 2013, 30(6): 780-787.
- [28]Júnior C A L, de Sousa Barbosa H, Galazzi R M, et al. Evaluation of proteome alterations induced by cadmium stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultures [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2015, 119: 170-177.
- [29]刘艳丽, 徐莹, 杜克兵, 等. 无机砷在植物体内的吸收和代谢机制 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 842-848.
- Liu Y L, Xu Y, Du K B, et al. Absorption and metabolism mechanisms of inorganic arsenic in plants: A review [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(3): 842-848.
- [30]王兴明, 刘登义, 涂俊芳, 等. 芜湖钢铁厂周边土壤及油菜籽中镉、铜、锌、铅含量和形态分布研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1924-1931.
- Wang X M, Liu D Y, Tu J F, et al. Cd, Cu, Zn and Pb contents and forms in soils and rapeseeds around Wuhu Plant [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1924-1931.