

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

宋运红^{1,2}, 张哲寰^{1,2}, 杨凤超¹, 梁 帅^{1,2}, 魏明辉^{1,2}, 刘 凯^{1,2}, 许 江^{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

摘 要: 垦殖前后典型黑土主要养分元素特征研究对东北黑土资源的可持续利用和保护东北大粮仓具有重要作用。在松嫩平原东部海伦地区对比研究了典型黑土区 40 年间土地利用未发生改变的地区(本次对比研究林地和耕地), 布设了 4 条典型黑土剖面, 对垦殖前后典型黑土剖面中土壤肥力的主要指标元素(有机质、全氮、全磷、C:N 及 pH 值)分别对比分析。结果表明:有机质、全氮、全磷含量表现为随土壤深度急剧下降—缓慢下降—基本稳定的变化趋势;垦殖虽然改变了各土层土壤中养分元素的含量,但是并未改变其随土壤深度的变化规律;垦殖在一定程度上影响了表层黑土土壤的 pH 值,导致耕地表层黑土土壤慢慢酸化。研究结果可为黑土资源的可持续利用、保护及修复提供科学依据。

关键词: 典型黑土;土壤养分;土壤 pH 值;垦殖;海伦地区;黑龙江省

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.06.006

VERTICAL DISTRIBUTION OF MAJOR NUTRIENT ELEMENTS IN TYPICAL BLACK SOIL SECTIONS IN HAILUN, HEILONGJIANG PROVINCE: Before and After Reclamation

SONG Yun-hong^{1,2}, ZHANG Zhe-huan^{1,2}, YANG Feng-chao¹, LIANG Shuai^{1,2}, WEI Ming-hui^{1,2},
LIU Kai^{1,2}, XU Jiang^{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

Abstract: The study on the characteristics of major nutrient elements in typical black soil areas before and after reclamation is important for sustainable utilization of black soil resources and protection of the breadbasket in Northeast China. Four sections are laid out in the typical black soil areas where land use has not changed for the past 40 years in Helen area, eastern Songnen Plain, to make a comparative study on the main index elements for soil fertility (organic matter, total nitrogen, total phosphorus, C:N and pH value) in the sections before and after reclamation. The results indicate that the contents of organic matter, total nitrogen and total phosphorus show a change trend of rapid decrease through slow decrease to basically stable with soil depth. Although reclamation has changed the content of nutrient elements in soil, it does not change the content variation rule with soil depth. Reclamation affects the pH value of black topsoil to a certain extent, which led to slow acidification of cultivated land. The research results will expectedly provide scientific basis for sustainable utilization, protection and restoration of black soil resources.

Key words: typical black soil; soil nutrient; soil pH; reclamation; Hailun area; Heilongjiang Province

收稿日期:2020-08-27;修回日期:2020-09-04. 编辑:张哲.

基金项目:中国地质调查局基础性公益性土地调查项目“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(DD20190520).

作者简介:宋运红(1983—),女,硕士,高级工程师,主要从事土地质量地球化学调查及研究工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,

E-mail://yunhong408@163.com

0 引言

黑土地是大自然给予人类的得天独厚的宝藏,它是农业生产的基础,也是我国粮食安全的保障^[1],自然黑土区是环境演化的重要地质记录^[2]. 选取自然黑土土壤剖面,可以减少人为因素干扰,从而获得土壤剖面元素分布的自然规律^[3-5]. 土壤学家对黑土质量已经做了很多的研究^[6-11],土壤的 pH 值和养分状况是土壤质量的重要标准. 人类的垦殖活动导致大量天然植被受到破坏,同时加剧了水土的流失,导致土壤养分下降,从而引起土壤质量的退化.

耕地是一个复杂的农业生态系统,其中气候、土壤和人类活动是主要的功能决定因素^[12]. 这些元素之间的相互作用结合在一起决定产量. 本次研究在 ArcGIS 软件平台支持下,进行不同时期(1970、1995、2010 年 3 期 1:10 万比例尺)土地利用数据信息叠加,在典型黑土区 40 年间(1970~2010 年)土地利用未发生改变的地区(林地和耕地)分别布设土壤剖面,选择与黑土质量关系密切的 pH、有机质、全氮、全磷及碳氮比等作为研究对象,探讨典型黑土垦殖前后黑土土壤质量指标的含量变化、垂直分布规律等,为揭示典型黑土垦殖前后土壤质量的演化规律及黑土质量的提高提供基础资料.

1 样品采集和分析

典型黑土剖面位于松嫩平原东部,小兴安岭西麓,海伦市中部地区,行政区域为绥化市. 全区分布多丘陵及平原,区内地势总体呈东北高西南低的特征,东北部一般海拔在 350~450 m,最高处海拔 490 m. 区内属大陆性气候,冬季干寒漫长,夏季湿热短暂. 年平均气温 1.2 ℃,年降水量 550 mm 左右,大部分集中在 7~8 月,11 月至翌年 4 月为冻结期.

野外样品采集时剥去剖面上表层土壤,向剖面内挖 2 m 左右深的竖槽,以到达成土母质为最低标准. 在每个典型黑土剖面采样点处均严格按照采样要求进行样品采集,同时用 GPS 记录采样点经纬度,详细描述采样周围的环境,拍摄相关照片. 具体采样位置如图 1 所示. 样品采集均严格按照要求,离开公路 200~300 m 距离,在同一采样层位多点采样,组合成一个样品. 取样原则:自下而上依次取样,取样间隔 20 cm. 分析测试由辽宁省地质科学研究院完成. 其中全氮、总

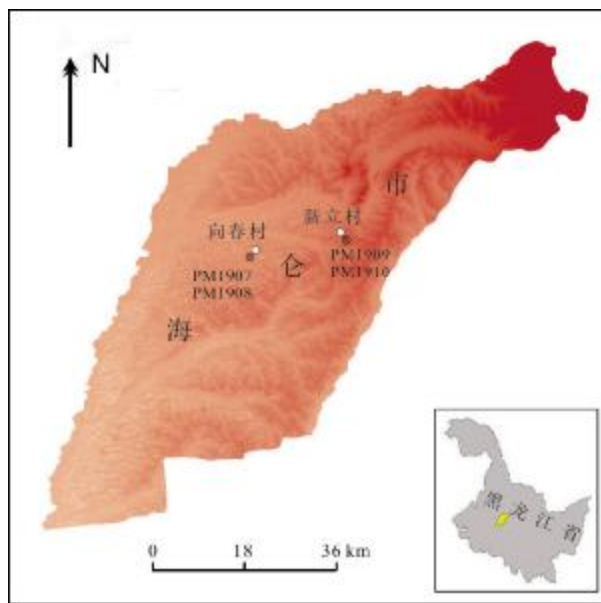


图 1 海伦地区剖面采样位置图

Fig. 1 Sampling location of typical black soil section in Hailun area

碳和有机碳采用容量法, 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.

本次工作以 4 条典型黑土剖面作为研究对象,其中林地剖面 2 条,编号分别为 PM1907、PM1909;耕地剖面 2 条,编号为 PM1908、PM1910. 并以 40 年土地利用方式未发生改变的林地及耕地分别作为垦殖前与垦殖后土壤的研究对象,对比研究土壤指标的变化规律.

2 结果分析

本次对海伦地区垦殖前后典型黑土土壤剖面养分含量的研究结果如表 1、2 所示.

2.1 垦殖前后有机质垂直分布

海伦地区垦殖前后典型黑土剖面土壤有机质垂直分布情况如图 2 所示. 对比土地利用类型为林地和耕地的黑土土壤剖面中有机质含量的变化,整体上有机质含量随土壤深度的变化较一致,呈现急剧下降—缓慢下降—基本稳定的变化趋势. 耕地剖面表层(0~10 cm)土壤中有有机质含量较相对应的林地明显偏低(如 PM1908 为 3.75%,对应林地 PM1907 为 5.66%;而 PM1910 为 4.35%,对应林地 PM1909 为 7.17%). 耕地土壤剖面中 0~20 cm 有机质含量较林地降低趋势更明显,耕地剖面 PM1910 与同等深度的林地剖面

表 1 海伦地区典型黑土开垦前后土壤 PM1907、PM1908 剖面养分含量表

Table 1 Nutrient contents before and after reclamation in typical black soil sections PM1907 and PM1908

土层深度 /cm	SOM/%		TN/10 ⁻⁶		C:N		TP/10 ⁻⁶		pH 值	
	林地	耕地	林地	耕地	林地	耕地	林地	耕地	林地	耕地
0~10	5.66	3.75	2423	1770	13.55	12.27	777	851	6.40	6.05
10~20	2.86	2.74	1302	1347	12.74	11.82	567	635	6.40	6.79
20~40	2.34	2.23	1041	1149	13.06	11.26	542	592	6.39	6.59
40~60	1.92	1.83	880	937	12.63	11.33	495	546	6.45	6.48
60~80	1.19	1.46	659	768	10.52	11.01	457	498	6.49	6.39
80~100	0.81	0.97	505	591	9.28	9.54	445	461	6.47	6.13
100~120	0.81	0.57	528	438	8.87	7.56	459	479	6.51	6.56
120~140	0.83	0.63	544	460	8.86	7.93	452	471	6.69	6.49
140~160	1.09	0.55	615	446	10.30	7.13	503	510	6.64	6.60
160~180	0.59	0.63	411	463	8.35	7.88	523	474	6.57	6.52
180~200	0.42		341		7.17		524		6.55	

SOM: 有机质; TN: 全氮; TP: 全磷.

表 2 海伦地区典型黑土开垦前后土壤 PM1909、PM1910 剖面养分含量表

Table 2 Nutrient contents before and after reclamation in typical black soil sections PM1909 and PM1910

土层深度 /cm	SOM/%		TN/10 ⁻⁶		C:N		TP/10 ⁻⁶		pH 值	
	林地	耕地	林地	耕地	林地	耕地	林地	耕地	林地	耕地
0~10	7.17	4.35	2990	1964	13.90	12.84	1148	1041	6.09	5.95
10~20	6.35	3.52	2818	1645	13.07	12.40	1119	867	6.42	6.26
20~40	4.52	2.66	1799	1223	14.56	12.61	1328	724	6.61	6.54
40~60	2.23	1.60	980	740	13.19	12.55	1141	506	6.64	6.69
60~80	1.26	1.14	674	685	10.83	9.68	915	479	6.64	6.26
80~100	1.23	0.82	625	539	11.41	8.86	795	487	6.61	6.36
100~120	2.72	0.61	1132	490	13.92	7.18	1016	522	6.46	6.65
120~140	2.72	0.56	1082	471	14.55	6.90	916	564	6.67	6.60
140~160	2.03	0.59	861	464	13.67	7.43	807	481	6.80	6.46
160~180		0.61		458		7.67		456		6.58

SOM: 有机质; TN: 全氮; TP: 全磷.

PM1909 土壤相比, 耕地土壤 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 深度的有机质含量分别降低了 39.4%、44.6%、41.1%、28.2%、9.1%和 33.0%. 其中 PM1910 中 0~120 cm, 有机质含量持续下降, 140 cm 以下有机质含量基本稳定, 代表成土母质的有机碳含量, 这与 PM1907、PM1908 变化趋势相类似. 不同的是, 耕地剖面 PM1908、PM1910 中有机质含量

基本稳定是在 120 cm 以下, PM1907 是在 100 cm 处开始稳定.

垦殖后, 耕地 0~20 cm 土层土壤有机质含量降低较明显, 如图 2 所示. 垦殖显著影响黑土表层 0~20 cm 土壤有机质含量, 垦殖虽然改变了各土层土壤有机质含量, 但是并未改变其随土壤深度的变化规律. 垦殖前后土壤有机质含量与深度之间的关系均可用指数函

数来描述.

2.2 垦殖前后全氮垂直分布

垦殖对土壤氮含量的影响与有机碳相似^[13]. 从海伦地区黑土剖面土壤全氮含量的垂直剖面分布情况图(图 3)可以看出,与有机质分布图类似,整体上表现为急剧下降—缓慢下降—基本稳定的变化趋势. 耕地与林地均是在表层土壤中全氮含量最高,随着土层深度的增加,土壤中的全氮含量持续缓慢下降. 耕地和林地相比,剖面中的土壤各层全氮含量均有下降,其中表层土壤全氮含量下降显著,如剖面 PM1910 典型黑土耕地 0~20 cm 土层中的全氮含量较同层林地下降了 34.33%, 20~40 cm 下降了 41.62%; PM1908 的 0~20 cm

下降了 26.96%, 表明海伦地区典型黑土表层土壤的全氮含量也受到了垦殖的影响. 对耕地黑土剖面与林地黑土剖面土壤全氮与有机质含量之间的相关性进行分析(图 4),结果表明,海伦地区典型黑土剖面中有机质与全氮含量之间呈极显著正相关关系,线性方程为 $y=0.002x-0.462$ ($R^2=0.989$, $p<0.05$).

2.3 垦殖前后全磷垂直分布

从海伦地区黑土剖面土壤全磷含量的垂直分布情况(图 5)可以看出,整体上全磷含量在剖面上层富集,随着深度的增加而逐渐降低. 除 PM1909 外,全磷在表层含量最高,表现为急剧下降—缓慢下降—基本稳定的变化趋势. PM1907、PM1908 两曲线形态基本一致,

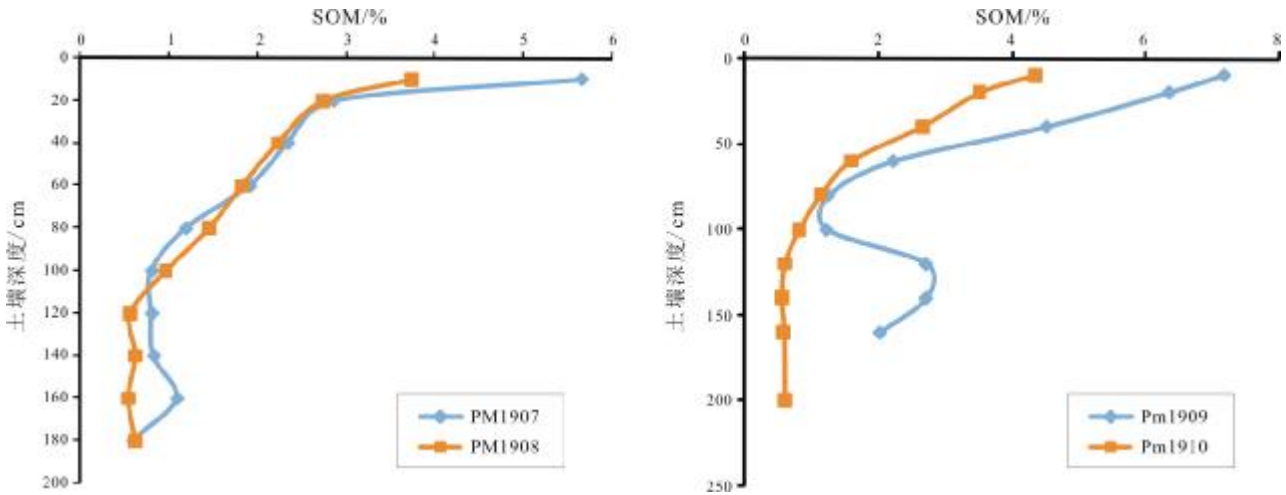


图 2 垦殖前后典型黑土剖面有机质含量垂直分布图

Fig. 2 Vertical distribution of organic contents before and after reclamation in typical black soil sections

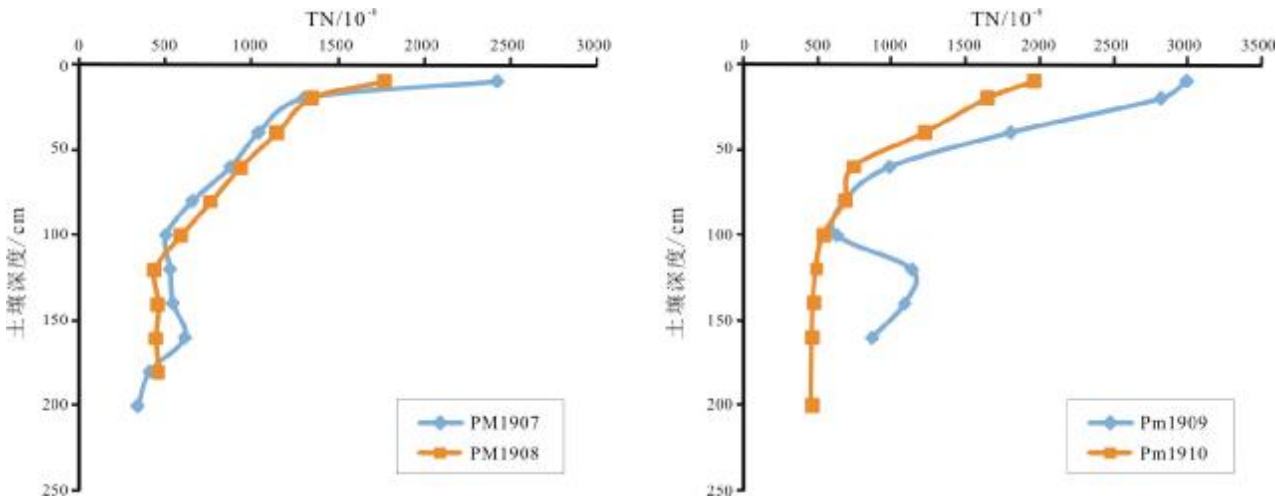


图 3 垦殖前后典型黑土剖面全氮含量垂直分布图

Fig. 3 Vertical distribution of total nitrogen contents before and after reclamation in typical black soil sections

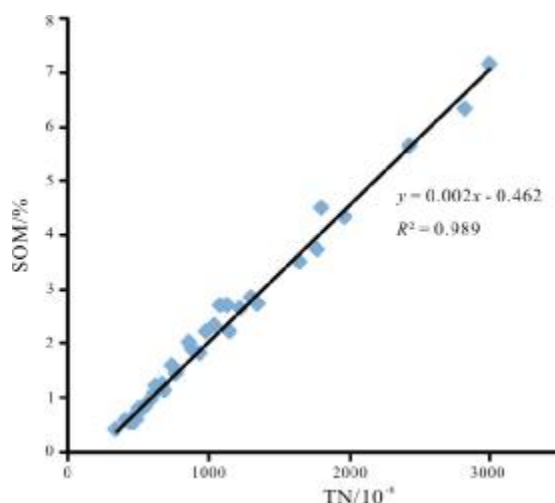


图 4 垦殖前后典型黑土剖面全氮与有机质含量相关关系

Fig. 4 Correlation between total nitrogen and organic matter contents before and after reclamation in typical black soil sections

表现为耕地中全磷含量较林地稍有增加, PM1909、PM1910 则表现为林地中全磷含量较耕地每层均有增加。推测其原因为 P 是组成植物有机体的主要生命元素^[14], 吸收方式主要是根系吸收, 所以耕地剖面中明显表层累积, 0~40 cm 受影响显著。除 PM1909 外, 全磷在 60 cm 以下分布均匀, 变化不大, 达到基本稳定的状态。表明海伦地区典型黑土表层土壤的全磷含量也受到了垦殖的影响。

2.4 垦殖前后碳氮比垂直分布

由土壤碳氮比的剖面分布情况(图 6)可以看出, C:N 与土壤有机质的质量和分解的难易程度密切相

关。与林地相比, 耕地中各个深度层级的碳氮比均有下降。其中 PM1910 与同等深度的林地土壤相比, 耕地土壤在 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100 cm 深度的碳氮比分别下降了 7.68%、5.09%、13.4%、4.88%、10.6%和 22.4%。与有机质下降比率相比, 说明垦殖对有机质分解的影响明显大于全氮矿化的影响。垦殖后土壤组分 C:N 也呈现随深度增加而降低的趋势(表 1、2), 但均不超过 20, 不存在氮限制的现象^[15]。总体来看, 林地土壤 C:N 高于耕地土壤。

2.5 垦殖前后 pH 值垂直分布

土壤酸碱性是土壤许多化学性质的综合反映, 自然状态下的土壤酸碱性主要受成土因子控制, 其酸碱变化的过程十分缓慢^[16]。土壤酸化是土壤质量退化的一个重要指标, 也是严重的世界性生态环境问题之一, 土壤 pH 值直接影响到土壤养分的存在状态、转化及有效性^[17]。

土壤 pH(酸碱度)对土壤中养分存在的形态和有效性、土壤理化性质、微生物活动以及植物生长发育都有很大影响。土壤 pH 过高会使土壤盐碱化, 过低又会使土壤酸化, 都不利于作物的生长和发育。本次在海伦剖面采集的 4 个典型黑土剖面中, 耕地黑土 pH 值在 5.95~6.79 之间, 林地黑土 pH 值在 6.09~6.80 之间(表 1、2, 图 7)。典型黑土剖面 pH 值随深度变化如图 7 所示, 耕地中表层土壤 pH 值较林地明显偏小, 土壤酸性较强。0~20 cm pH 值变化较大, 可见, 人类的耕作活动对土壤 pH 值的影响较大。林地土壤由于受人类

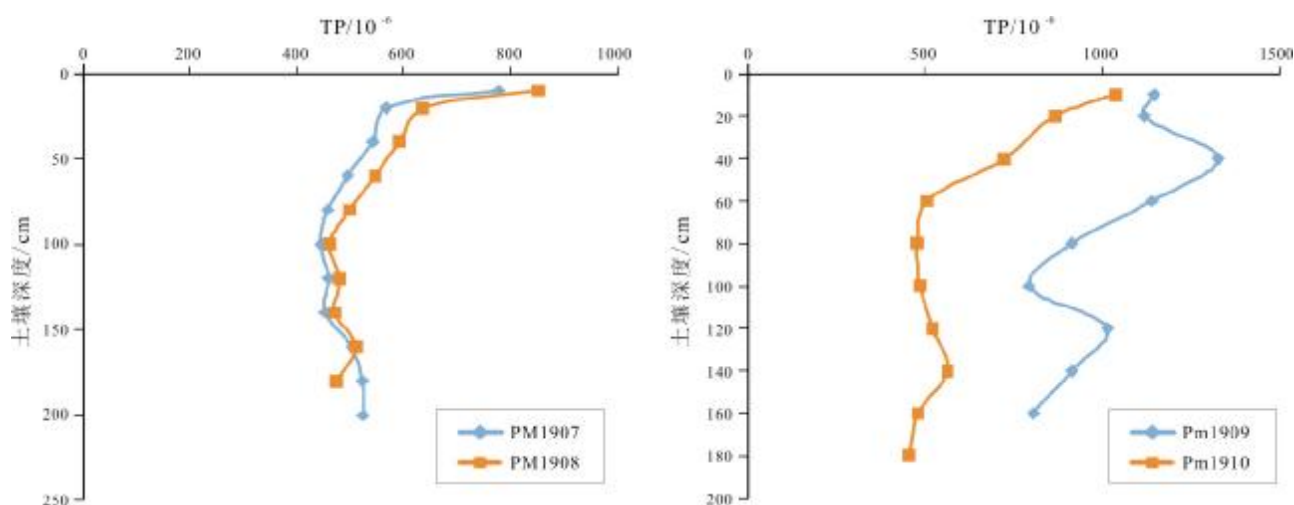


图 5 垦殖前后典型黑土剖面全磷含量垂直分布图

Fig. 5 Vertical distribution of total phosphorus contents before and after reclamation in typical black soil sections

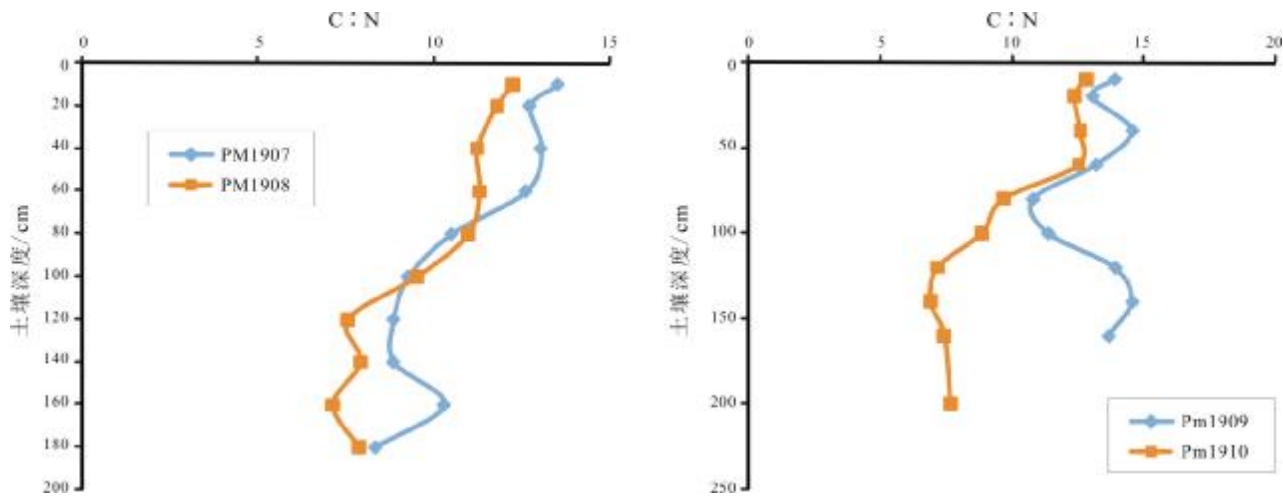


图 6 垦殖前后典型黑土剖面碳氮比垂直分布图

Fig. 6 Vertical distribution of C:N ratios before and after reclamation in typical black soil sections

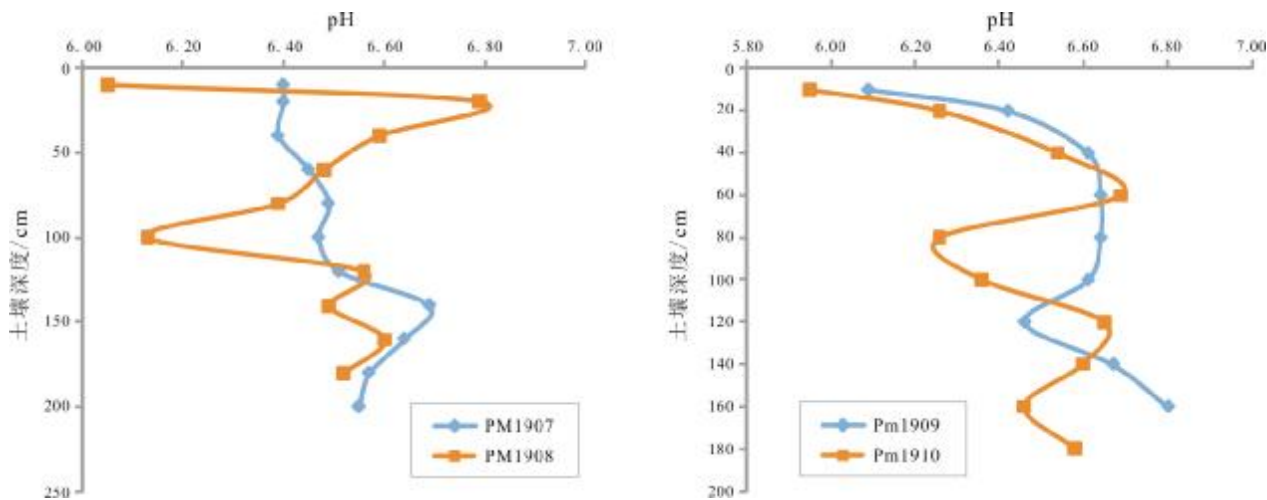


图 7 垦殖前后典型黑土剖面 pH 垂直分布图

Fig. 7 Vertical distribution of pH values before and after reclamation in typical black soil sections

活动的影响较小,剖面土壤中 pH 值从表面到底部 2 m 左右 pH 值的变化幅度不大.

3 讨论与结论

本次对海伦地区 4 条典型黑土剖面土壤进行分层分析,研究垦殖前后土壤中主要养分元素有机质、全氮、全磷、pH 值的垂直分布规律.结果发现,垦殖后耕地表层(0~10 cm)土壤中有机质含量较林地明显偏低,耕地、林地土壤有机质含量均随土层加深而降低,且 0~100 cm 随深度增加降低趋势更明显.垦殖对于土壤有机质的影响主要表现在:垦殖后耕地土壤中地上和地下生物量减少,通过植物残体输入到土壤中的有

机质减少^[18-19],所以垦殖后土壤有机碳含量降低.耕作影响了表层土壤的有机碳,所以黑土耕地中 0~20 cm 有机碳降低趋势明显.而耕作对土壤的扰动较浅,在土壤深处,由于缺乏土壤扰动,有机质变化不明显.

剖面中全氮、全磷均表现出上层累积,其含量随剖面深度的增加而降低,最后基本稳定.由于 N、P 是组成植物有机体的主要生命元素,通过根系吸收,所以受垦殖的影响较为明显,表现为在土壤剖面上层富集.

土壤碳氮比是土壤质量评价的重要因子,可以暗示土壤生物分解过程中碳和氮转化作用之间的密切关系^[20].有研究认为,正常耕地中土壤生物获得平衡营养的土壤碳氮比约为 25,当碳氮比小于 15 时,土壤提

供的有效氮量会超过微生物的同化量,使植物有可能从有机质矿化过程中获得有效的氮供应^[20]。本次海伦剖面中土壤的碳氮比均小于15(最大值14.56),数值相对较低,表明耕地和林地土壤有机碳的腐殖化程度较高,有机碳容易矿化也导致土壤有机质的分解和矿质氮的增加。

垦殖对土壤pH值(酸碱度)的影响主要为表层土壤,推测人类活动(大量施用生理酸性肥料、不合理的种植方式等)在一定程度上影响了表层黑土土壤的pH值,导致耕地黑土土壤慢慢酸化。

综合以上分析发现,表层土壤作为气候、土壤和人类活动相互作用的关键层次,与下层土壤相比,其有机质、全氮、酸碱度特征对垦殖的影响更加敏感。烧荒、深翻土地、耕作、施肥等人为活动的影响,使典型黑土表层的主要养分元素有机质、全氮含量变化较明显。希望本研究可为揭示东北黑土土壤质量的演化规律及提高黑土质量产生积极的作用。

参考文献:

- [1] Powlson D S, Gregory P J, Whalley W R, et al. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services[J]. Food Policy, 2011, 36: S72-S87.
- [2] 宋运红, 刘凯, 戴慧敏, 等. 东北松辽平原典型黑土-古土壤剖面 AMS¹⁴C 年龄首次报道[J/OL]. 中国地质, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20191225.1615.006.html>.
- [3] 段轶仁, 杨忠芳, 杨琼, 等. 广西北部湾地区土壤锆分布特征、影响因素及其生态环境评价[J/OL]. 中国地质, <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.1167.P.20200407.1753.004.html>, 2020-04-08.
- [4] 张哲寰, 赵君, 戴慧敏, 等. 黑龙江省讷河市土壤-作物系统 Se 元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 38-43.
- [5] 张玉芬, 李长安, 熊德强, 等. 长江三峡巫山黄土稀土元素特征及古气候环境意义[J/OL]. 中国地质, <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.1167.P.20200421.1251.004.html>, 2020-04-21.
- [6] 张哲寰, 宋运红, 赵君, 等. 黑龙江省讷河市土壤某些微量元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2019, 28(4): 378-382.
- [7] 贾树海, 张佳楠, 张玉玲, 等. 东北黑土区旱田改稻田后土壤有机碳、全氮的变化特征[J]. 中国农业科学, 2017, 50(7): 1252-1262.
- [8] 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.
- [9] Song Y H, Dai H M, Yang F C, et al. A preliminary study on soil degradation and nutrient imbalance of typical black soil in northeast China[C]//Proceedings of the 6th Academic Conference of Geology Resource Management and Sustainable Development. Beijing: Academic Publishing, 2018: 328-335.
- [10] Song Y H, Dai H M, Yang F C, et al. Temporal and spatial change of soil organic matter and pH in Cultivated Land of the Songliao plain in northeast China during the Past 35 Years[J]. Acta Geologica Sinica: English Edition, 2019, 93(S3): 142-143.
- [11] 宋运红, 刘凯, 戴慧敏, 等. 东北松辽平原 35 年来耕地土壤全氮时空变化最新报道[J/OL]. 中国地质, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20191225.1612.004.html>.
- [12] Zhang Y, Zang S Y, Sun L, et al. Characterizing the changing environment of cropland in the Songnen Plain, Northeast China, from 1990 to 2015[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(5): 658-674.
- [13] 许士麒, 王义东, 郭长城, 等. 天津咸化湿地土壤碳、氮特征对长期垦殖的响应[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2017, 37(1): 63-68, 75.
- [14] 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.
- [15] Craft C, Redlinski I, Vymazal J, et al. Soil properties, carbon sequestration and nutrient (N, P) accumulation in wet meadows[R]. 2011: 35-43.
- [16] 徐仁扣, Coventry D R. 某些农业措施对土壤酸化的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385-388.
- [17] 侯立恒, 王熊飞, 王汀忠, 等. 海南省耕地有机质和 pH 值变化分析[J]. 农业科技通讯, 2018(1): 120-123.
- [18] 宋日, 刘利, 吴春胜, 等. 东北松嫩草原土壤开垦对有机质含量及土壤结构的影响[J]. 中国草地学报, 2009, 31(4): 91-95.
- [19] 迟美静, 侯玮, 孙莹, 等. 东北黑土区荒地开垦种稻后土壤养分及 pH 值的变化特征[J]. 土壤通报, 2018, 49(3): 546-551.
- [20] 霍莉莉. 沼泽湿地垦殖前后土壤有机碳垂直分布及其稳定性特征研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2013: 40-44.