

黑龙江省兴凯湖平原土壤 pH 值时空变化特征分析

杨 泽^{1,2}, 刘国栋^{1,2}, 戴慧敏^{1,2}, 张一鹤^{1,2}, 许 江^{1,2}, 肖红叶^{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:土壤酸碱度是影响土壤化学和生物学性质的一个重要因素,会对土地生产力产生重要影响。为掌握兴凯湖平原土壤 pH 值近年来变化状况,采用空间统计方法,基于全国第二次土壤普查及 2019 年土壤 pH 值数据,对工作区近 30 年土壤 pH 值时空变化特征进行了分析。结果表明:兴凯湖平原土壤 pH 值总体呈下降趋势,但整体上土壤 pH 值变幅不大,主要集中在 $\pm 0.5 \sim \pm 1$ 区间。从土地利用类型上来看,兴凯湖平原耕地区土壤 pH 值均呈下降趋势,西部的林地区 pH 值整体保持不变或略有上升。在兴凯湖平原 4 种主要土壤类型中,除暗棕壤外,其他 3 类土壤在近 30 年间 pH 平均值均呈下降趋势。因此需要对工作区土壤 pH 值变化的原因进行多因素、定量分析,以进一步明确具体原因。

关键词:土壤;pH;时空变化;兴凯湖平原;黑龙江省

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyz.2020.06.018

ANALYSIS ON THE SPATIOTEMPORAL VARIATION OF SOIL pH IN XINGKAI LAKE PLAIN, HEILONGJIANG PROVINCE

YANG Ze^{1,2}, LIU Guo-dong^{1,2}, DAI Hui-min^{1,2}, ZHANG Yi-he^{1,2}, XU Jiang^{1,2}, XIAO Hong-ye^{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: Soil pH is an important factor affecting the chemical and biological properties of soil. It also has an important impact on land productivity. To learn about the variation of soil pH in Xingkai Lake Plain in recent years, on the basis of the second national soil survey and soil pH data of 2019, the spatial statistics is used to analyze the spatiotemporal variation characteristics of soil pH in the study area over the past 30 years. The results show that the soil pH is generally declining, but does not vary greatly (± 0.5 to ± 1). In terms of land use types, the soil pH of cultivated land show a downward trend, while that in the western forest area remains unchanged or increases slightly. Among the 4 main soil types in Xingkai Lake Plain, except for dark brown soil, the other three are all falling in average pH values during the past 30 years. Therefore, it is necessary to conduct multi-factor and quantitative analysis to further clarify the specific causes of soil pH variation in the study area.

Key words: soil; pH; spatiotemporal variation; Xingkai Lake Plain; Heilongjiang Province

收稿日期:2020-08-31;修回日期:2020-09-16. 编辑:李兰英.

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(编号:DD20190520).

作者简介:杨泽(1981—),男,高级工程师,主要从事生态地球化学调查与研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//61421078@qq.com

通信作者:刘国栋(1983—),男,高级工程师,主要从事生态地球化学研究、土地质量地球化学调查工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//9760677@qq.com

0 前言

土壤酸碱度是影响土壤化学和生物学性质的一个重要因素^[1],也是影响土壤肥力的重要因素,土壤中几乎所有的反应和过程都涉及到氢离子的传递和转换,它对土壤的其他一系列性质以及整个生态环境都有着深刻的影响^[2].自然状态下的土壤酸碱性主要受成土因子控制,其酸化的过程十分缓慢^[3],pH 值每下降一个单位往往需要上百年甚至上千年的时间^[4].然而随着人类活动的不断增强,土壤酸碱化的进程被加速了,产生了一系列地质环境问题.土壤酸化会打破土壤中原有的生态平衡,H⁺浓度升高会影响植物根系细胞膜渗透性,影响植物根系对营养的吸收^[5],使土壤理化性质改变,结构变差,肥力降低;对酸比较敏感的微生物数量减少进而影响有机质的分解和各种元素的有效循环.同时能活化土壤中的镉、铬、汞、铅等重金属离子,不仅对植物根系造成直接损伤,更会随着食物链富集从而影响粮食健康^[6-7].而土壤盐碱化是导致土地荒漠化的主要原因之一,降低土壤肥力,限制土地生产力的发展^[8].因此,有针对性地减缓土壤 pH 值变化进程及提出合理、有效的防治措施成为亟待解决的科学问题.目前关于土壤 pH 值的空间变化的研究多集中于市、县^[9-11],时间变化虽有长期定点监测结果的报道^[12-13],但大数据量、大区域、宏观分析研究还不多见.

兴凯湖平原隶属于我国著名的三江平原商品粮基地,作为全国重要的粮食产区,在保障我国粮食输出与自给方面占有重要地位.目前该区地质工作程度较低,关于该区土壤 pH 值的区域分布情况及变化特征迄今未见报道.基于 20 世纪 80 年代第二次土壤普查(下文用 1980P 表述)及 2019 年兴凯湖平原 1:25 万土地质量地球化学调查(下文用 2019P 表述)的数据,分析兴凯湖平原土壤 pH 值空间分布与时间变化特征,探讨土壤 pH 值变化及其影响因素,为因地制宜地调控土壤酸碱度、提升耕地质量提供依据.

1 研究区概况

兴凯湖平原位于黑龙江省东部,与俄罗斯接壤(图 1).本区东起乌苏里江,西到张广才岭,北依完达山,南濒兴凯湖,总面积逾 16 000 km²,行政区跨越虎林市、密山市.工作区水系极为发育,河网密布.主要河流从南向北有穆稜河、七虎林河、阿布沁河,均为乌苏

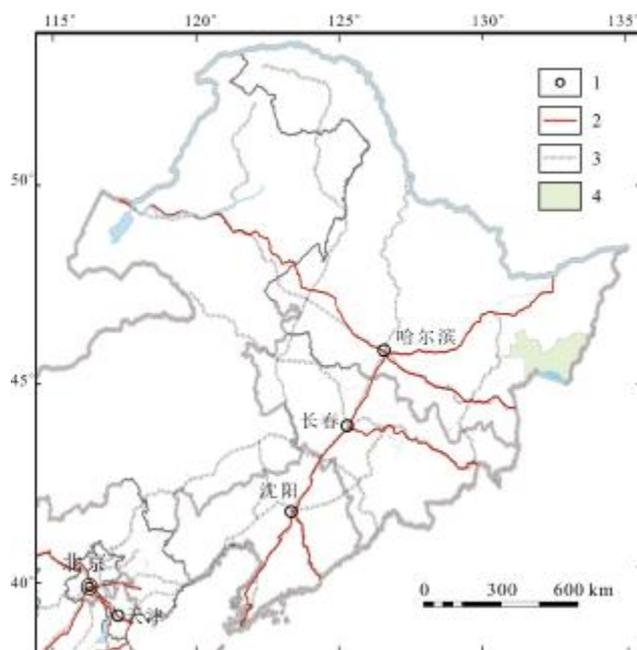


图 1 研究区交通位置图

Fig. 1 Traffic location map of the study area

1—城市(city); 2—主要公路(highway); 3—主要铁路(railway); 4—研究区范围(study area)

里江左翼支流.此外工作区湖泊、湿地也较为发育.区内拥有风景优美的中俄界湖——兴凯湖.

本区属中纬度寒温带湿润、半湿润大陆性季风气候,冬季漫长,严寒而干燥,夏季短促,温暖且湿润,年平均温度 2.9~3.1 °C.区内雨量充沛,多年平均降水量为 526~710 mm, 6~9 月占全年总量 70%.蒸发量为降水量 1.5~2 倍, 5~9 月占全年总量 70%.

兴凯湖平原地形总体由西向东倾斜.工作区东部为冲洪积、湖积平原区,地势低平,微有起伏,仅在虎林和虎头散布着被地堑切割残余的孤山.西部为低山丘陵区.平原区分布着广泛的第四系冲洪积、湖积地层,其中第四系含水层自山前至平原区主要分为中、下更新统坡积、洪积层和上更新统、全新统冲积层.西部低山丘陵区受构造运动影响,地层复杂,主要分布有白垩系酸性、中酸性、中基性火山岩,砾岩,复成分砂岩,凝灰砂岩,泥岩夹煤层.此外还分布花岗斑岩、碱长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩及花岗闪长岩等岩体.

工作区主要土地利用为耕地,占工作区总面积的 60%,其中绝大多数为水田,分布于工作区东部平原区,旱田主要分布在西部的山间谷地及低山丘陵区向平原的过渡区.其次为林地,占工作区总面积的 21%,

取至点”将二普栅格数据(1980P)提取到 2019P 的采样点后,利用地统计分析模块,采用反距离加权法分别对两个时期的样点进行插值,得到 2 个时期的兴凯湖平原土壤 pH 值分布图. 基于 ArcGIS 对 2 个时期土壤 pH 值数据进行减法运算,得到兴凯湖平原土壤 pH 值变化分布图. 在 Excel 中分别统计各土壤类型平均 pH 值及面积比例.

3 结果与分析

3.1 两期土壤 pH 值的统计特征

1980P 和 2019P 土壤 pH 值统计特征如表 1 所示. 1980P 全区土壤 pH 均值为 6.22,最大值 8.8,最小值为

4.7,标准差 0.91,变异系数 0.14. 2019P 全区土壤 pH 均值为 5.47,较 1980P 年下降了 0.75 个单位,最大值和最小值分别为 7.10 和 4.27,标准差为 0.34,变异系数为 0.06. 从 pH 值变异系数来看,两时期的 pH 值均为低等变异强度. 从偏度看,1980、2019 年土壤 pH 值均呈右偏态分布. 由峰度值可知 1980、2019 年的土壤 pH 值分布均呈陡峭状态. 以上表明,30 年来,兴凯湖平原土壤 pH 值整体上表现出降低的趋势.

3.2 空间分布特征

图 2 所示,1980P 时期,兴凯湖平原土壤整体以酸性为主. 工作区 pH<6.5 的酸性区域面积为 12 580 km²,占工作区面积的 75.75%; 6.5<pH<7.5 的中性地区面

表 1 1980 年和 2019 年土壤采样点 pH 值统计

Table 1 Soil pH statistics of the sampling sites in 1980 and 2019

年份	样本数	最小值	最大值	平均值	中位数	标准偏差	方差	偏度	峰度
1980	4152	4.70	8.80	6.22	6.20	0.91	0.824	1.192	2.019
2019	4152	4.27	7.10	5.47	5.46	0.34	0.114	0.307	0.735

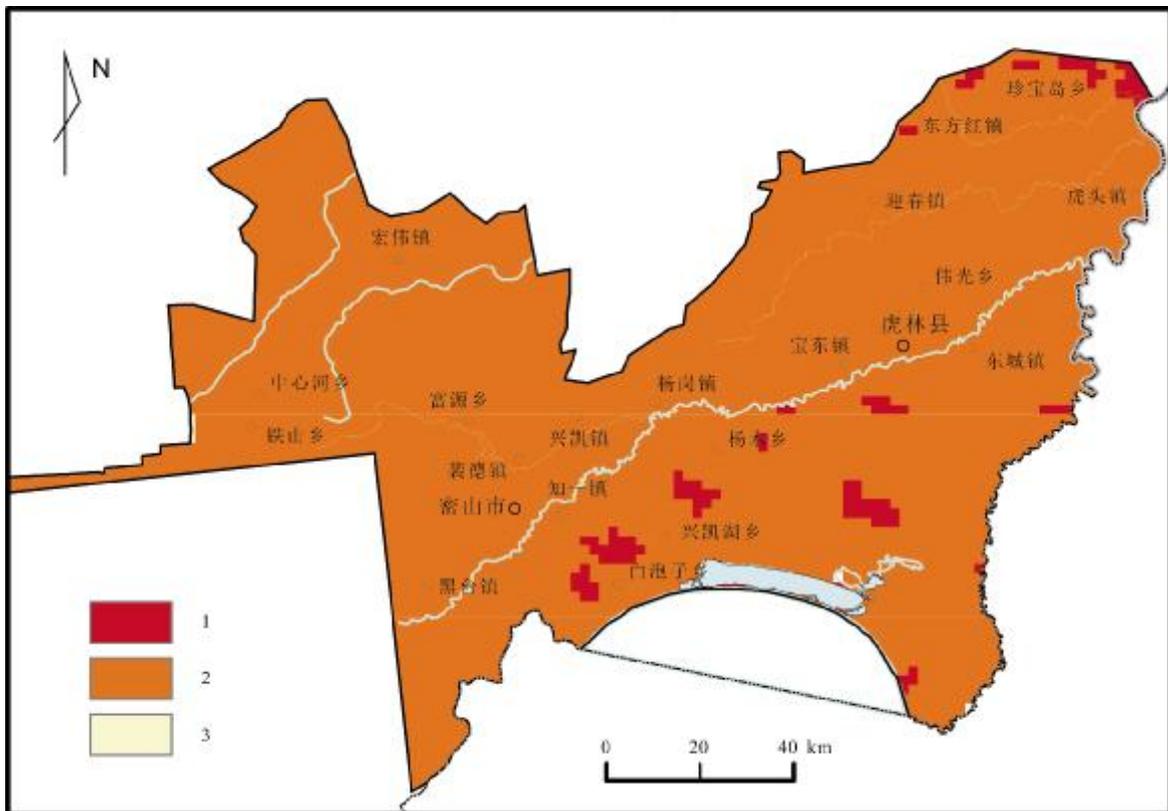


图 3 兴凯湖平原 2019P 时期土壤 pH 值空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution map of soil pH in Xingkai Lake Plain, 2019P

1— pH<5; 2— 5.0≤pH<6.5; 3 —6.5≤pH<7.1

积 2 884 km², 占工作区面积的 17.37%; pH>8.5 的碱性地区面积 1 144 km², 仅占工作区面积的 6.89%. 强酸性主要分布在工作区西部的低山丘陵区. 东部平原区以酸性为主, 仅在迎春镇、虎头镇以及承紫河乡附近呈现中性. 碱性区域主要分布在穆棱河沿岸.

2019P 时期, 兴凯湖平原土壤 pH 值同样表现为以酸性为主, 但与 1980P 不同的是, 无碱性地区出现, 中性地区也大幅度减少, 仅有极个别地块为中性. 工作区 pH<6.5 的酸性区域面积为 16 504 km², 占工作区面积的 99.38%. 酸性区域较 1980P 时期扩大了 3 924 km², 扩大了约 1/3, 表明土壤酸性呈扩大趋势.

3.3 1980P~2019P 土壤 pH 值的时空变异特征

上述统计分析可知, 兴凯湖平原土壤酸化呈扩大趋势, 特别是肥沃的东部平原区土壤 pH 值呈降低趋势. 基于此, 以 2019P 土壤 pH 值数据减去 1980P 土壤 pH 值数据, 得到兴凯湖平原土壤 ΔpH 值变化分布图 (图 4). 鉴于不同时期测试精度或者测量误差的

存在, 本次研究将 ΔpH 值变幅在 ±0.5 区间内作为 pH 值不变化区域.

从全区来看, 兴凯湖平原东部平原区土壤 pH 值整体呈现下降趋势, 仅在迎春镇东部、兴凯湖乡及小兴凯湖附近存在 pH 值未变化区域, 大多数地区 pH 值变幅在 -1~-0.5 区间, 仅有个别地区, 如穆棱河沿岸下降较大, 可达 -4.45. 而西部低山丘陵区土壤 pH 值以不变为主, 局部 pH 值略有上升, 上升幅度也集中在 0.5~1 区间. 故综合来看, 兴凯湖平原整体上土壤 pH 值上升和下降的幅度均不大, 变幅均集中在 0.5~1 区间.

从土地利用类型上来看, 兴凯湖平原耕地区土壤 pH 值仅有少量地区未发生变化, 其余地区均呈现下降趋势, 降幅集中在 -1~-0.5 及 -1.5~-1 区间, 以 -1~-0.5 为主. 而西部的林地区 pH 值整体保持不变或者略有上升.

穆棱河沿岸土壤 pH 值变化较大的因素, 可能与二普时期测试的采样点数较少有关, 在进行栅格赋值

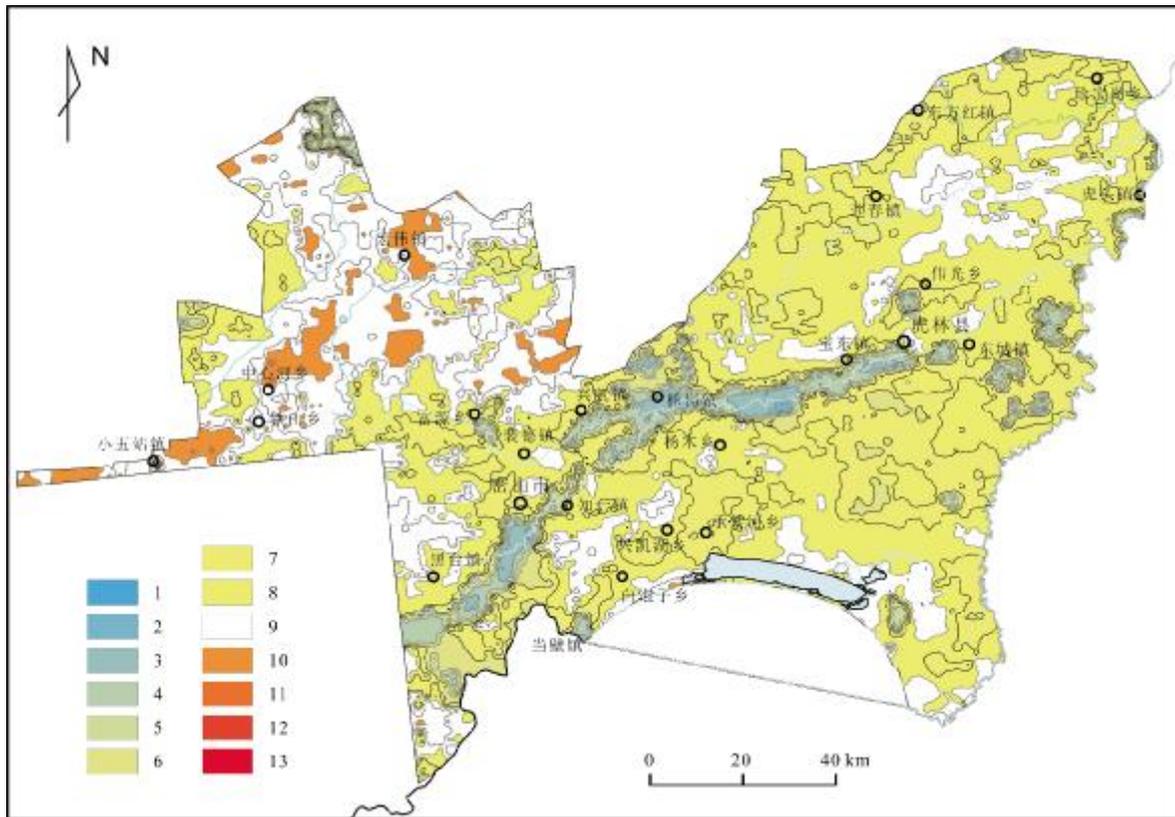


图 4 兴凯湖平原土壤 ΔpH 值变化分布图

Fig. 4 Distribution map of soil ΔpH in Xingkai Lake Plain

1— -4.45~-4; 2— -4~-3.5; 3— -3.5~-3; 4— -3~-2.5; 5— -2.5~-2; 6— -2~-1.5; 7— -1.5~-1; 8— -1~-0.5; 9— -0.5~0; 10— 0.5~1; 11— 1~1.5; 12— 1.5~2; 13— 2~2.5

时,只能参考穆棱河沿岸少量的采样点的测试数据将穆棱河沿岸的 pH 赋值为同一数值所致.

表 2 所示,兴凯湖平原土壤 pH 值下降的总面积为 10 132 km²,占比为 61.02%;土壤 pH 值不变的面积为 5 024 km²,占比为 30.25%;土壤 pH 值上升总面积为 1 452 km²,占比为 8.73%.

在土壤 pH 值变化区间中,面积变化幅度最大的区间为-1.0~-0.5,面积为 4 660 km²,占比为 28.06%;其次区间为-1.5~-1.0,面积为 3 316 km²,占比为 19.97%.可见,土壤 pH 值下降区间主要集中在-1.5~-0.5 区间,整体下降幅度不大.此外 pH 值升幅也不大,普遍在 0.5~1 区间内.

表 2 不同土壤 pH 级别面积变化情况

Table 2 Variation of area and percentage by soil pH values

pH 值级别	面积/km ²	比例/%	备注
-4.5~-4.0	8	0.05	
-4.0~-3.5	300	1.81	
-3.5~-3.0	616	3.71	
-3.0~-2.5	208	1.25	下降总比例 61.02%
-2.5~-2.0	68	0.41	
-2.0~-1.5	956	5.76	
-1.5~-1.0	3316	19.97	
-1.0~-0.5	4660	28.06	
-0.5~0	3140	18.91	不变比例 30.25%
0~0.5	1884	11.34	
0.5~1.0	1236	7.44	
1.0~1.5	192	1.16	上升总比例 8.73%
1.5~2.0	20	0.12	
2.0~2.5	4	0.02	

3.4 不同土壤类型 pH 值变化

图 5 为兴凯湖平原 4 种主要土壤类型 pH 平均值及变化情况.除暗棕壤外,其他 3 类土壤在近 30 年间土壤 pH 平均值均有所下降,其中白浆土和草甸土的 pH 值降幅较大,分别可达-1.04 和-1.34,降幅比例为 16.07%和 19.48%;沼泽土降幅为-0.58,比例为 9.68%.

不同土壤类型 pH 均值的变化也反映了 pH 值空间的变化.暗棕壤 pH 均值未发生变化,侧面反映了工作区西部低山丘陵区土壤 pH 值呈现不变为主要的特

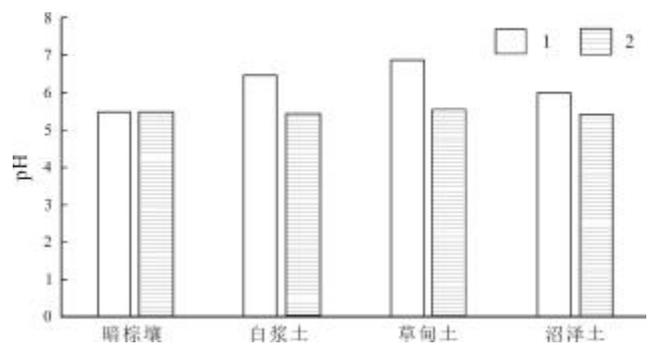


图 5 不同土壤类型 pH 值变化

Fig. 5 Variation of pH values by soil types in 1980P and 2019P
1—1980P; 2—2019P

征;白浆土、草甸土及沼泽土 pH 值的降低,反映了工作区东部土壤 pH 值呈现下降即酸化的特征.

4 影响 pH 值变化的因素分析

以上分析表明,兴凯湖平原土壤 pH 值呈酸化趋势.土壤酸碱性变化的影响因素主要有自然和人为因素.从土壤形成的历史过程看,pH 值的长期时空变化主要取决于自然因素,但较短时间内 pH 值的剧烈变化则主要受人为因素的干扰.因此,本文从酸雨及化肥施用量 2 个方面定性探讨兴凯湖平原农田土壤酸化的驱动因子.

4.1 酸雨

酸性降雨是引起土壤 pH 值下降的一个重要因素^[15].根据李帅等^[16]利用 1991~2012 年中国气象局酸雨观测站网黑龙江省 16 个酸雨观测站的数据,得出了 22 年间黑龙江省酸雨的时空变化特征.兴凯湖平原在 1991~2012 年间,降水 pH 均值为 5.4~5.6, pH ≤ 5.6 的酸雨频率为 50.1%~60.0%, pH ≤ 5.0 的酸雨频率为 20.1%~30.0%.综合这些条件判定,工作区属于轻度酸雨区.工作区属于半湿润地区,多年平均降水量可达 526~710 mm,这些酸性降雨对兴凯湖平原土壤 pH 值下降起到一定的促进作用.

4.2 化肥使用

工作区 pH 值大面积下降的区域主要分布在工作区东部平原区,该区域多年来一直大面积种植水稻,种植方式单一.农业生产过程中,大量使用化肥也是引起土壤 pH 值下降的重要原因之一.研究表明,氮肥施入农田后 NH₄⁺的硝化反应与 NO₃⁻的淋溶作用是施氮导致农田土壤酸化的主要机理^[17],而酸雨中的 H⁺通过

与土壤中的盐基性离子进行交换, 又与土壤矿物晶格表面的 Al 反应, 使土壤中 H^+ 、 Al^{3+} 数量增加, 从而导致土壤酸化^[18]。以虎林市为例, 虎林市 1989 年化肥施用量 0.71×10^4 t, 2008 年化肥总量达 3.99×10^4 t, 比 1989 年增加了 3.28×10^4 t^[19]。据《虎林市 2017 年国民经济和社会发展统计公报》^[20], 2017 年虎林市化肥用量可达 1.35×10^4 t (折纯量)。化肥主要成分硝酸铵、尿素、硫酸铵、氢铵、二铵和过磷酸钙, 这些生理酸性肥料的长期大量使用, 对兴凯湖平原土壤 pH 值下降起到一定的作用。

5 结论

(1) 兴凯湖平原土壤 pH 值总体上呈下降趋势。pH 值 1980P 和 2019P 均值分别为 6.22 和 5.47, 其平均值下降 0.75 个单位。pH 值下降的总面积为 $10\ 132$ km², 占比为 61.02%。

(2) 兴凯湖平原整体上土壤 pH 值变幅不大, 主要集中在 $\pm 0.5 \sim \pm 1$ 区间。

(3) 兴凯湖平原 4 种主要土壤类型中, 除暗棕壤外, 其他 3 类土壤类型在近 30 年间土壤 pH 平均值均呈下降趋势。

(4) 从酸雨和化肥使用量角度定性探讨影响工作区土壤 pH 值变化的因素。

土壤 pH 值时空变化是一个十分复杂的问题, 不同地区导致土壤酸碱性变化的主导因素各不相同。根据调查的结果和相关的文献推测分析了导致工作区土壤 pH 值时空变化因素, 但导致这些变化具体明确的原因, 还需要对工作区土壤 pH 值变化的原因进行多因素、定量分析, 以进一步明确具体原因。

参考文献:

- [1] Brady N C, Weil R R. 土壤学与生活(原书第十四版)[M]. 李保国, 徐建明, 译. 北京: 科学出版社, 2019: 340.
- [2] 熊毅, 李庆远. 中国土壤[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1987: 433-463.
- [3] 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.
- [4] 王志刚, 赵永存, 廖启林, 等. 近 20 年来江苏省土壤 pH 值时空变化及其驱动力[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 720-727.
- [5] 徐仁扣. 酸化红壤的修复原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [6] Mok J S, Yoo H D, Kim P H, et al. Bioaccumulation of heavy metals in oysters from the southern coast of Korea: Assessment of potential risk to human health[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2015, 94(6): 749-755.
- [7] Zhu H H, Chen C, Xu C, et al. Effects of soil acidification and liming on the phytoavailability of cadmium in paddy soils of central subtropical China[J]. Environmental Pollution, 2016, 219: 99-106.
- [8] 杨劲松. 土壤盐渍化研究展望[J]. 土壤, 1995(1): 23-27.
- [9] 胡敏, 向永生, 张智, 等. 恩施州耕地土壤 pH 近 30 年变化特征[J]. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1289-1297.
- [10] 刘丽, 张玉龙, 虞娜, 等. 基于 GIS 的辽宁北部地区土壤酸化特征及其原因分析——以昌图县为例[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(2): 173-178.
- [11] 朱小琴, 孙维侠, 黄标, 等. 长江三角洲城乡交错区农业土壤 pH 特征及影响因素探讨——以江苏省无锡市为例[J]. 土壤学报, 2009, 46(4): 594-602.
- [12] 郭治兴, 王静, 柴敏, 等. 近 30 年来广东省土壤 pH 值的时空变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 425-430.
- [13] 佘国涵, 王瑞, 袁家富, 等. 鄂西南山区土壤酸化趋势研究——以恩施州宣恩县为例[J]. 中国农学通报, 2014, 30(12): 151-155.
- [14] 张驭航, 李玲, 王秀丽, 等. 河南省土壤 pH 值时空变化特征分析[J]. 土壤通报, 2019, 50(5): 1091-1100.
- [15] Hicks W K, Kuylensier J C I, Owen A, et al. Soil sensitivity to acidification in Asia: Status and prospects[J]. AMBIO A Journal of the Human Environment, 2008, 37(4): 295-303.
- [16] 李帅, 刘丹, 于成龙, 等. 1991—2012 年黑龙江省酸雨变化特征[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(5): 105-111.
- [17] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [18] Lilienfein J, Wilcke W, Vilela L, et al. Effect of no-tillage and conventional tillage systems on the chemical composition of soil solid phase and soil solution of Brazilian Savanna Oxisols[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2000, 163(4): 411-419.
- [19] 邵明娜. 虎林市耕地地力调查与平衡施肥调研[J]. 农民致富之友, 2016(23): 124-125.
- [20] 虎林市统计局. 虎林市 2017 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 虎林: 虎林市统计局, 2018.