

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2026.02.013

CSTR:32310.14.stbxb.2026.02.013

戴慧敏,方运霆,刘凯,等.东北黑土地保护成效、土壤酸化问题及其对策建议[J].水土保持学报,2026,40(2):114-120.

DAI Huimin, FANG Yunting, LIU Kai, et al. Conservation effectiveness, soil acidification issues, and countermeasures of black soil in northeast China[J].Journal of Soil and Water Conservation, 2026,40(2):114-120.

东北黑土地保护成效、土壤酸化问题及其对策建议

戴慧敏^{1,3,4}, 方运霆^{2,3,4}, 刘凯^{1,3,4}, 房娜娜^{1,3,4}, 陈超群^{1,3,4}, 梁帅⁵

(1.中国地质调查局沈阳地质调查中心,沈阳 110034; 2.中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110034; 3.自然资源部黑土地演化与生态效应重点实验室,沈阳 110034; 4.辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室,沈阳 110034; 5.中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心,河北 廊坊 065000)

摘要: [目的] 为评估黑土地保护工程实施效果及土壤酸化问题。 [方法] 通过对黑土区农田近 40 a 来土壤 pH 时空变化特征,以及辽宁省昌图县、吉林省四平市和黑龙江省海伦市的定位监测,分析实施黑土地保护工程以来土壤 pH 及养分变化特征。 [结果] 近 40 a 来,东北黑土区农田土壤有机质质量分数先下降后上升,总体呈下降特征,酸化和碱化两极分化的发展趋势显著,其中 55.76% 的土壤 pH 出现下降,下降区 pH 平均降低 0.87 个单位,局部酸化趋势明显。自 2005 年起,昌图地区、四平地区及海伦地区监测显示,实施黑土地保护工程后,土壤有机质及大量养分元素质量分数均显著提升,反映出黑土地保护成效显著。监测显示,昌图地区 and 海伦地区土壤 pH 分别下降 0.38 和 0.66 个单位,酸化趋势突出,酸化会引发钙、镁等养分失衡。 [结论] 黑土地土壤酸化趋势的研究成果及提出的防治对策,可为黑土地可持续利用提供科学依据。

关键词: 黑土地; 土壤酸化; 养分失衡; 可持续利用; 保护对策

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2026)02-0114-07

Conservation Effectiveness, Soil Acidification Issues, and Countermeasures of Black Soil in Northeast China

DAI Huimin^{1,3,4}, FANG Yunting^{2,3,4}, LIU Kai^{1,3,4}, FANG Nana^{1,3,4}, CHEN Chaoqun^{1,3,4}, LIANG Shuai⁵

(1.Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2.Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110034, China; 3.Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China; 4.Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect of Liaoning Province, Shenyang 110034, China; 5.Langfang Comprehensive Survey Center for Natural Resources, China Geological Survey, Langfang, Hebei 065000, China)

Abstract: [Objective] To evaluate the effectiveness of black soil conservation projects and to assess soil acidification issues. [Methods] By analyzing the spatiotemporal variation characteristics of farmland soil pH over the past 40 years in the black soil region, and through targeted monitoring in Changtu County of Liaoning Province, Siping City of Jilin Province, and Hailun City of Heilongjiang Province, this study examined the characteristics of changes in soil pH and nutrients since the implementation of black soil conservation projects. [Results] Over the past 40 years, the organic matter content of farmland soil in black soil region of northeast China initially decreased and then increased, showing an overall decreasing trend. The development trend of polarization between acidification and alkalization was significant. Among them, 55.76% of the soil showed a decrease in pH. In the areas where pH decreased, the average pH decreased by 0.87 units, indicating a marked trend of localized acidification. Since 2005, monitoring in the Changtu, Siping, and Hailun regions showed that since the implementation of black soil conservation projects, the contents of soil organic matter and macronutrients

收稿日期: 2025-10-30

修回日期: 2025-11-29

录用日期: 2025-12-06

网络首发日期(www.cnki.net): 2026-01-04

资助项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD15008)

第一作者: 戴慧敏(1979—), 女, 博士, 正高级工程师, 主要从事土壤地球化学研究。E-mail: daihuimin78@126.com

通信作者: 方运霆(1976—), 男, 研究员, 主要从事森林生态系统氮循环研究。E-mail: fangyt@iae.ac.cn

刘凯(1988—), 男, 高级工程师, 主要从事土壤理化性质研究。E-mail: liukai@gov.cgs.cn

<http://stbxb.alljournal.com.cn>

increased significantly, indicating the remarkable effectiveness of black soil conservation. The pH in the Changtu and Hailun regions decreased by 0.38 and 0.66 units, respectively, highlighting a prominent acidification trend. This acidification led to imbalances in nutrients such as calcium and magnesium. [Conclusion] The findings on the acidification trend of black soil and the proposed prevention and control countermeasures can provide a scientific basis for the sustainable utilization of black soil.

Keywords: black soil; soil acidification; nutrient imbalance; sustainable utilization; conservation countermeasures

Received: 2025-10-30

Revised: 2025-11-29

Accepted: 2025-12-06

Online(www.cnki.net): 2026-01-04

东北黑土区作为我国重要的粮食生产基地,其土壤质量直接关系到国家粮食安全和农业可持续发展。近年来,由于高强度开发利用、化肥农药的过量使用及传统农业生产模式的影响,黑土发生肥力下降、水土侵蚀等明显退化^[1],威胁其生态系统的健康。已有研究^[2]使用环境协变量和随机森林模型反演得到1980年和2010年90 m分辨率的耕地质量空间分布图发现,东北黑土区约1/3耕地发生侵蚀退化,其中水蚀退化面积广且程度严重。黑土地保护不仅是农业可持续发展的基础,也是生态保护的关键环节。国家高度重视黑土地保护工作,并采取一系列措施加强黑土地保护,包括推广保护性耕作技术、制定地方标准、完善法律法规等。农业农村部分别于2015年和2018年启动2批《东北黑土地保护利用试点项目》,针对黑土地退化问题,在黑龙江省海伦市、吉林省梨树县、辽宁省昌图县等17个县和32个县(市、区、场)开展技术模式研发,构建“工程-农艺-生物”协同技术体系^[3],以玉米秸秆覆盖免耕为核心的“梨树模式”,包括秸秆全覆盖均匀行、秸秆覆盖原垄垄作、秸秆集行全量覆盖还田苗带浅旋3种技术模式,实行收获与秸秆覆盖、土壤疏松、免耕播种与施肥、病虫害防治的全程机械化生产,综合提升黑土的生产 and 生态功能。针对黑土耕层变浅、犁底层增厚问题,建立以有机物料深混还田为核心的肥沃耕层构建技术体系,在黑龙江构建黑土玉米-大豆轮作与翻免浅耕作组合的“龙江模式”,协同解决打破黑土犁底层,提高黑土有机质和养分库的问题^[4-6]。北大荒集团通过测土配方施肥、保护性耕作等,维持黑土地的肥力和减少土壤侵蚀^[7]。2021年以来,内蒙古统筹实施黑土地建设、保护利用示范、保护性耕作、有机肥还田、侵蚀沟治理五大工程,累计保护黑土耕地面积245万hm²^[8]。辽宁省构建并推广秸秆还田、有机肥施用、肥沃耕层构建、化肥减量增效、种植结构调整等技术模式,黑土地保护取得显著成效,实现“三提两改”土壤有机质质量分数由17.75 g/kg提高到18.36 g/kg^[9],推动黑土地集中连片经营模式持续增加。为更好地保护黑土地,2020年以来,国家和地方出台系列黑土地保护

政策措施,2020年与2021年,农业农村部联合印发《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》^[10]和《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025年)》^[3],进一步强化保护利用。我国首部专门针对黑土地保护制定的法律《中华人民共和国黑土地保护法》^[11],于2022年6月24日经十三届全国人大常委会第三十五次会议审议通过,自2022年8月1日起正式施行。《黑土地保护利用技术模式的适宜性评价技术规程》DB 2301/T 216—2024^[12],更大范围推广黑土地保护利用技术,实现黑土地保护从经验主导转向科学量化,发挥其在黑土耕地质量提升中的作用,实现黑土地保护与农业生产效益的双赢。这些保护技术模式、保护措施和政策法规的出台,使得黑土地保护取得明显成效。黑土地保护研究也呈现出由问题导向转向问题与目标并重的趋势^[13]。本文旨在通过回顾和分析近年来关于东北黑土地保护措施的研究成果,系统梳理现有保护措施的效果及土壤酸化特征,为未来东北黑土地的保护与可持续利用提供科学依据和对策建议。

1 黑土地保护对土壤理化性质的影响

王超^[14]通过对吉林省21个县的土壤调查数据进行分析发现,黑土区土壤有机质下降幅度明显,西部黑土区中低产田面积增加幅度明显,东部黑土区中高产田面积增加明显。黑土地保护措施对土壤结构的改善、提高土壤养分含量、增强土壤肥力及减少水土流失等均具有显著效果,尤其是秸秆覆盖免耕技术,能够有效提升土壤的保水、蓄水和导水能力,优化土壤结构。不同轮作模式对黑土地土壤物理性质、化学性质、土壤微生物、酶活性和作物产量等有影响^[15],在海伦地区通过设置秸秆覆盖免耕试验区和传统耕作试验区显示,秸秆覆盖免耕措施有效改善土壤结构和功能,土壤体积质量增加12.71%,总孔隙度降低9.10%,非毛管孔隙度降低24.70%,0~80 cm土壤储水量增加7.34%,土壤初渗率提高2.15%^[16],还能够有效抑制5°坡耕地的产流、产沙现象,减少年际产流次数3次,减少年际产沙次数5次,减少年际累积产流量和产沙量分别为50.12%和58.30%。保护性耕作技术能

够显著提高黑土地的肥力和有机质含量,降低农业投入成本^[17]。“梨树模式”等保护性耕作的实施不仅降低作业成本,还提高作物产量和效益,改善生态环境^[18]。秸秆覆盖免耕措施有效增加土壤养分含量,0~10 cm 土层深度下土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷和速效钾质量分数分别增加 15.89%、13.14%、17.84%、17.77%、8.93% 和 25.86%。

土壤酸化是由多种因素引起的,包括土壤形成过程,然而,农田土壤酸化最重要的原因是氨基肥和尿素、元素硫肥料的施用及豆科植物的生长^[19-21],氮肥主要在硝化作用和硝酸盐浸出后酸化土壤^[22]。土壤酸化不仅严重影响农田生态系统结构和功能,降低作物产量^[23],还降低微量元素的可用量^[24]。一些改良措施可以有效改善土壤酸化问题,例如,化肥减量配施秸秆和有机肥可以显著改善土壤酸度和养分状况^[25],而水稻秸秆炭则可以较好地改良酸化土壤^[26]。目前,东北黑土地保护措施主要集中在耕作方式的改进、生态环境保护措施的实施及相关政策的制定与完善上。这些措施包括秸秆覆盖免耕、推广科学化耕作技术、水资源和草地资源保护等,均有效改善土壤结构,提高土壤肥力,减少水土流失。然而,关于这些保护措施对土壤酸化影响的研究相对较少,已有的文献没有直接讨论黑土地保护措施对土壤酸化的影响,但可以推测,通过改善土壤结构和增加土壤养分含量,黑土地保护措施可能有助于缓解土壤酸化问题。未来的研究应更加关注保护性耕作措施对土壤酸化的影响机制,以及如何通过综合措施有效控制土壤酸化。

2 数据来源与分析方法

本研究涉及的东北黑土区农田土壤数据来源于 20 世纪 80 年代全国第二次土壤普查^[27-31]数据,2005 年以来中国地质调查局持续实施的多目标区域地球化学调查与土地质量地球化学调查数据。为构建不同纬度点对点定位监测体系,2022 年与 2023 年分别在吉林省四平地区、辽宁省昌图地区及黑龙江省海伦市,依据 2005 年及 2013 年采样点坐标原位复采土壤样品,采样密度为 1 点/km²。所有样品均遵照《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》^[32]要求进行风干、过筛前处理。同时抽取四平地区和昌图地区 2005 年存档土壤样品各 150 g,使历史样品与 2022 年和 2023 年新采集、加工的样品纳入同批次分析测试流程,有效规避因检测方法差异、分析人员操作及时间因素导致的系统误差,确保数据可用性。其中昌图县 158 点、四平市 456 点和海伦市 220 点,系统分析黑土区土壤酸化现状、成因及生态效应,为优化保护措施提供科学支撑。

3 结果与分析

3.1 黑土区农田土壤酸碱度的时空特征

中国东北黑土农田区域的土壤酸碱性呈现显著的空间差异,表现为自东北向西南依次呈现由强酸性、酸性、中性、碱性至强碱性的过渡特征。相较于 20 世纪 80 年代,农田土壤酸化和碱化两极分化的发展趋势显著,在松辽平原中西部低平原区土壤盐碱化趋势进一步发展,在高平原及三江平原大部分地区土壤酸化趋势显著,其中有 55.76% 的土壤 pH 出现下降,下降区 pH 平均值由 7.28 降至 6.41,降低 0.87 个单位,主要集中于黑龙江省的讷河市、依兰县、铁力市、海伦市、北安市、绥化县等,以及辽宁省的西丰县、开原市和昌图县等。相对于 20 世纪 80 年代,pH<5.5 的酸性区域明显增多,扩张 3.2 倍,集中在三江平原东部及松嫩平原北部的局部地区(图 1、图 2),可能与长期大量施用化肥、降水及耕作方式等因素密切相关。

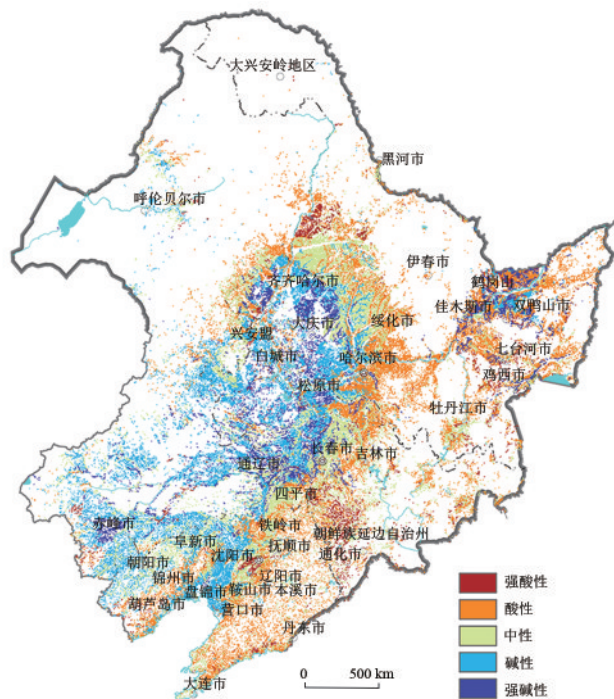


图 1 第二次土壤普查黑土区农田土壤 pH 空间分布(1980s)
Fig. 1 Spatial distribution of soil pH in farmland of black soil region during second national soil survey (1980s)

3.2 土壤酸化引发的养分失衡特征

东北黑土区土壤中,农作物生长所需的钙、镁等微量元素呈不同程度缺乏的空间分布格局。四平市与昌图县的土壤肥力及养分元素空间分布存在较大异质性,土壤有机质、全氮、全磷、氧化钙、氧化镁、三氧化二铁均呈不同程度的匮乏状况;海伦市土壤有机质和全氮含量较为丰富,全磷、氧化钙、氧化镁、三氧化二铁等含量均处于中等水平。监测结果表明,3 个地区土壤有机质、全氮、pH 和全磷均呈不同程度的变化(表 1)。

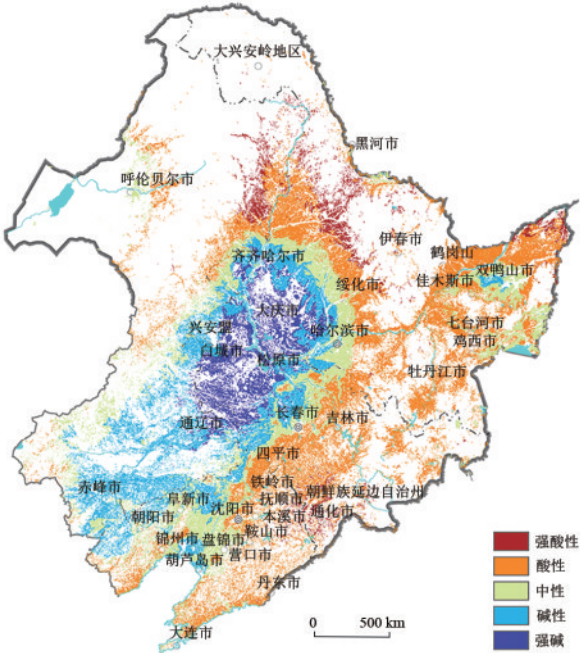


图 2 2005 年以来黑土区农田土壤 pH 空间分布特征
Fig. 2 Spatial distribution of soil pH in farmland of black soil region since 2005

与 2005 年相比,昌图县土壤有机质、全氮、全磷质量分数显著提高,提升比例分别为 13.27%、9.64% 和 18.38%(图 3)。土壤 pH、全钙下降幅度较大,116 个监测点 pH 下降(图 4),占比为 73.42%,pH 平均降低 0.38 个单位,下降最大值达 1.78 个单位,全钙平均质量分数由 0.81% 下降至 0.72%,下降比例为 11.11%,128 个监测点下降(图 5);土壤硅质量分数基本保持稳定,仅降低 0.70%。与 2013 年相比,海伦市农田土壤有机

质提高 7.17%,全氮、全磷分别提高 5.35% 和 17.02%, pH 降低 0.66 个单位,其中旱田 pH 降低 0.65 个单位,水田 pH 降低 0.67 个单位,土壤酸化趋势明显且酸化速度远超有机质提升幅度,同时,钙、镁和全铁的质量分数分别降低 6.40%、5.76%、3.03%。

与 2005 年相比,四平市耕地土壤有机质上升比例为 11.32%,磷上升 23.53%,与昌图县和海伦市不同的是,全氮和 pH 平均值基本保持不变,钙总体下降 6.30%,主要原因在于四平市监测区地形地貌空间差异显著,地势呈现东南高、西北低的态势。中西部平原区,地形平坦,外源有机质输入补给量较高,且黑土地保护措施成效显著,有机质增加明显,提升幅度超过 20%,这些耕地土壤 pH 降低;在东南部地势高差起伏相对较大的地区,地表水土流失强度较大,土壤有机质流失明显,呈现一定程度的降低,酸性成土母岩(砂岩)出露接近地表,使得 pH 升高,水土流失和降雨引起的淋滤作用突出,钙等碱性离子流失。

黑土地保护措施实施后土壤肥力及主要养分元素显著提升,但土壤酸化现象仍持续加剧。土壤酸化导致钙、镁、钾等碱性养分淋失加剧,土壤板结问题突出;铝、锰等金属离子活性增强,抑制作物根系发育,降低肥料利用效率,干扰土壤水分-养分-空气循环,对黑土地产能和生态安全构成潜在风险,直接威胁粮食产能。同时,酸化会使土壤碳库稳定性下降,改良后可提升土壤有机碳封存能力,是农业减排固碳的重要路径。

表 1 2005—2023 年东北黑土区典型市县土壤理化性质变化对比
Table 1 Comparison of changes in soil physicochemical properties in typical cities and counties of black soil region in northeast China from 2005 to 2023

东北黑土区	项目	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钙/%	全镁/%	二氧化硅/%	全铁/%	pH
昌图地区	2005 年	27.93	1.02	0.49	0.81	0.70	61.84	3.06	5.54
	2023 年	31.64	1.12	0.58	0.72	0.69	61.40	3.09	5.16
	变化幅度	3.71	0.10	0.09	-0.08	-0.01	-0.43	0.03	-0.38
	变化比例/%	13.27	9.64	18.38	-10.02	-1.92	-0.70	0.98	-6.81
四平地区	2005 年	18.27	1.10	0.51	1.11	1.16	63.44	4.45	5.91
	2023 年	20.34	1.10	0.63	1.03	1.23	67.09	4.41	5.98
	变化幅度	2.07	0	0.12	-0.07	0.07	3.65	-0.04	0.07
	变化比例/%	11.32	0	23.53	-6.30	5.84	5.76	-0.89	1.18
海伦地区	2005 年	50.51	2.43	0.94	1.72	1.39	63.63	4.95	6.80
	2023 年	54.13	2.56	1.10	1.61	1.31	63.12	4.80	6.22
	变化幅度	3.62	0.13	0.16	-0.11	-0.08	-0.51	-0.15	-0.58
	变化比例/%	7.17	5.35	17.02	-6.40	-5.76	-0.80	-3.03	-8.53

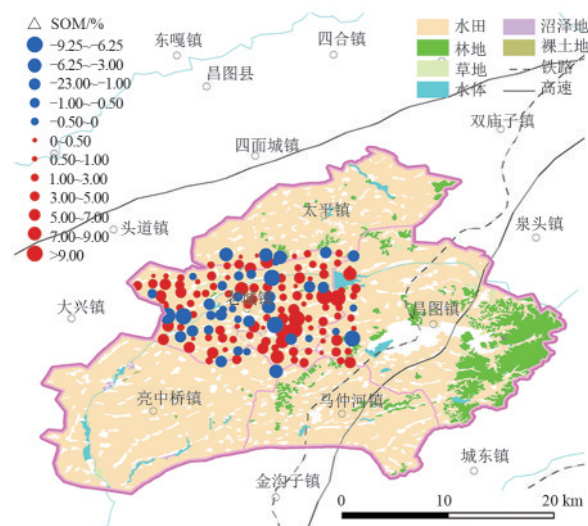


图3 昌图地区土壤有机质时空变化

Fig. 3 Spatiotemporal variation of soil organic matter in Changtu region

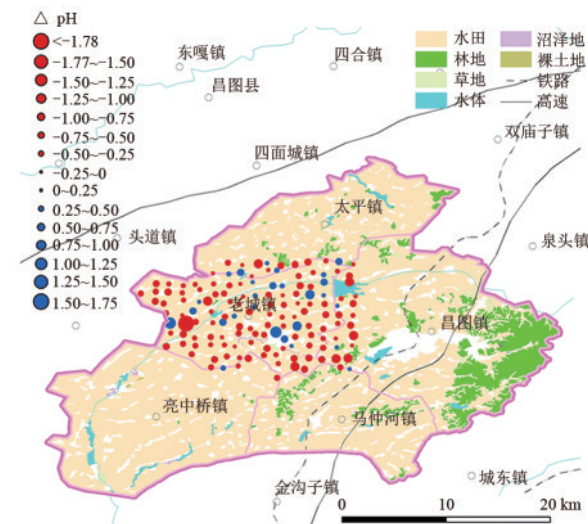


图4 昌图地区土壤 pH 时空变化

Fig. 4 Spatiotemporal variation of soil pH in Changtu region

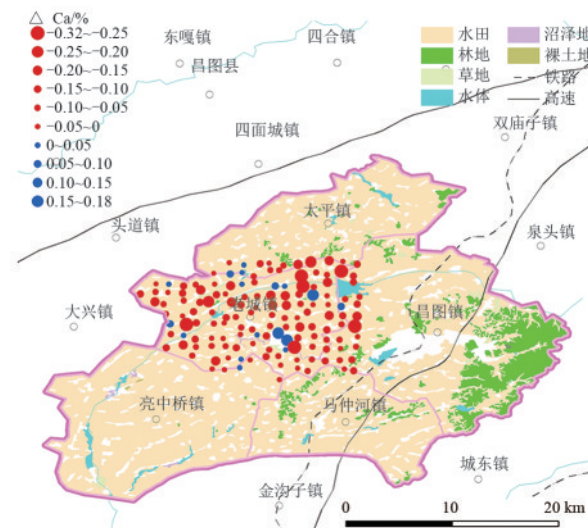


图5 昌图地区土壤全钙时空变化

Fig. 5 Spatiotemporal variation of soil total calcium in Changtu region

4 结论

1)东北黑土区农田土壤有机质呈先下降后上升趋势,实施秸秆还田、免耕覆盖等保护性耕作措施的典型区域(如昌图、四平、海伦等)土壤有机质(如昌图地区增加13.27%)、全氮、全磷等关键肥力指标显著提升,进一步验证当前黑土地保护技术体系的科学性与可行性,为黑土地保护与可持续利用提供数据支撑与理论基础,助力保障东北粮食产能安全。

2)不同时期土壤酸碱度系统数据分析显示,松辽平原中西部低平原区碱化加剧,东部高平原区酸化发展明显,近半数农田土壤pH下降,典型区域监测显示pH下降明显。在黑土地保护措施下,部分区域呈酸化且态势加剧(海伦pH下降8.53%、昌图pH下降6.81%),全钙、全镁等中量养分元素流失,其流失与土壤酸化呈核心关联。本研究旨在填补保护性耕作背景下黑土地酸化响应机制的部分研究空白。

3)未来须积极整合来自卫星遥感、地面传感器和实验室分析等多源监测数据,以深入探究土壤肥力提升与酸化过程之间的协同作用机制,明确其内在关联和动态平衡。同时,需要加强农业技术的集成创新,如智能施肥和精准管理,并促进政策层面的跨部门协调与支持,确保技术推广与法规制定相协同,从而全面提升土壤健康水平,推动农业可持续发展和环境治理效能。

5 对策建议

5.1 重视黑土地土壤酸化问题,关注其引发的养分失衡状况,确保黑土地可持续利用

通过对3个地区实施黑土地保护措施后的监测结果展开深度剖析发现,土壤肥力及农作物生长所必需的主要养分元素均实现显著提升。然而,值得关注的是,土壤酸化现象依旧存在,且有加剧之势。土壤酸化致使钙、镁、钾等碱性养分的淋失情况严重,土壤板结问题愈发突出。与此同时,铝、锰等金属离子的活性增强,对作物根系的发育起到抑制作用,从而降低肥料的利用效率,干扰土壤中水分、养分和空气的循环与供应,对黑土地产能和生态安全构成潜在风险,将直接威胁粮食安全。因此,需高度重视黑土地保护工程,从“自然-人为-政策”三维度深入探究黑土地土壤酸化与养分失衡的成因、作用机理及影响因素,指导各地根据实际情况采取行之有效的黑土地保护举措,确保黑土地资源能够实现可持续利用,为保障国家粮食安全和农业可持续发展贡献力量。

5.2 加强复合型技术模式研发,遏制土壤酸化,促进养分平衡,确保农业可持续发展

近年来,中国科学院沈阳应用生态研究所针对我国具有不同理化性质的土壤,开展硅灰石粉用于土壤水肥调控及培肥的试验,在降酸增产等方面取

得显著成果^[33]。硅灰石粉富含硅、钙元素,呈碱性,可有效中和酸性土壤,缓解土壤酸化现象,同时提升土壤矿物结合有机碳含量,增强土壤的通气性与保水性,补充土壤中的中微量元素。为应对农业生产过程中土壤酸化与养分失衡的难题,强化硅灰石、玄武岩等新型肥料的技术研发及推广应用,以安全的矿物材料与秸秆还田、有机肥施用等措施相结合,构建复合型技术模式。同时,加大科研力量与资金投入,加快研发具有针对性、高效性的土壤酸化阻控技术与养分平衡调控技术,开发新型土壤调理剂、优化施肥技术等,提升土壤肥力与中量元素含量,以有效改善土壤环境,保障黑土地的生态功能及农业生产的可持续性。

5.3 构建土壤酸化及养分的长期监测网络,定期检测土壤变化趋势与降酸成效

针对黑土地土壤酸化加剧、养分失衡及黑土地保护挑战大的突出问题,构建全面且系统的土壤酸化及养分状况长期监测网络,根据土壤酸化程度系统科学布局监测站点,结合定期采样与实时传感器跟踪土壤酸化程度、养分含量及理化指标动态变化,同步开展标准化采样与实验室分析,精准评估酸化演变趋势及驱动因素。在此基础上,依托监测数据量化黑土地保护措施的实际降酸成效,为政策制定者提供科学依据,指导土壤改良方案优化,并通过专项基金支持、跨部门协作机制及法规标准体系建设,强化资金保障、技术协同与公众参与,最终实现遏制土壤酸化、提升黑土地质量、保障粮食安全与生态平衡的农业可持续发展目标。

参考文献:

- [1] 韩晓增,邹文秀,杨帆.东北黑土地保护利用取得的主要成绩、面临挑战与对策建议[J].中国科学院院刊,2021,36(10):1194-1202.
HAN X Z, ZOU W X, YANG F. Main achievements, challenges, and recommendations of black soil conservation and utilization in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(10): 1194-1202.
- [2] 田芷源,卢慧中,马瑞,等.东北黑土区耕地侵蚀退化空间分异特征[J].土壤学报,2025,62(4):931-945.
TIAN Z Y, LU H Z, MA R, et al. Spatial differentiation characteristics of soil erosion and degradation in black soil cropland of northeast China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2025, 62(4): 931-945.
- [3] 农业农村部,国家发展改革委,财政部,等.国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025年)[Z].2021-06.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, Ministry of Finance, et al. National black soil protection project implementation plan (2021—2025)[Z]. 2021-06.
- [4] 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 Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 206-212.
- [5] 宋冬林,谢文帅.东北黑土地保护利用的政治经济学解析:基于梨树模式[J].政治经济学评论,2021,12(1):47-62.
SONG D L, XIE W S. A political economic analysis of the protection and utilization of the black land in northeast China: Based on the pear tree model[J]. China Review of Political Economy, 2021, 12(1): 47-62.
- [6] 韩晓增,邹文秀.东北黑土地保护利用研究足迹与科技研发展望[J].土壤学报,2021,58(6):1341-1358.
HAN X Z, ZOU W X. Research perspectives and footprint of utilization and protection of black soil in northeast China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58(6): 1341-1358.
- [7] 代梦迪.为黑土“加油”筑“粮仓”根基:北大荒集团克山农场加强黑土耕地保护纪略[J].中国农业综合开发,2025(4):22-24.
DAI M D. Fueling the black soil and strengthening the foundation of the "granary": A brief account of black soil farmland protection in Keshan Farm of Beidahuang Group[J]. China Agricultural Comprehensive Development, 2025(4): 22-24.
- [8] 包明哲,卓拉,王璐,等.内蒙古黑土地保护利用现状、问题及对策[J].南方农业,2025,(15):206-208.
BAO M Z, ZHUO L, WANG L, et al. Current status, challenges, and countermeasures of black soil protection and utilization in Inner Mongolia[J]. South China Agriculture, 2025, (15): 206-208.
- [9] 徐志强.辽宁省黑土地保护利用现状及对策[J].农业科技与装备,2020(1):71-73.
XU Z Q. The current situation and countermeasures of black land protection and utilization in Liaoning Province[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2020(1): 71-73.
- [10] 农业农村部,财政部.东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)[Z].2020-03.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Ministry of Finance. Action plan for conservation tillage of northeast black soil (2020—2025)[Z]. 2020-03.
- [11] 中华人民共和国黑土地保护法[EB/OL].(2022-06-24).
http://www.npc.gov.cn/c2/c30834/202206/t20220624_318288.html.
The black soil protection law of the People's Republic of China [EB/OL]. (2022-06-24). http://www.npc.gov.cn/c2/c30834/202206/t20220624_318288.html.
- [12] 哈尔滨市市场监督管理局.黑土地保护利用技术模式的适宜性评价技术规程:DB 2301/T 216—2024[S].哈尔滨:哈尔滨市黑土地保护与利用标准化技术委员会,2024.
Harbin Municipal Administration for Market Regulation. Technical regulations for suitability evaluation of technical models for black soil protection and utilization: DB 2301/T 216—2024 [S]. Harbin: Harbin Black Soil Conservation and Utilization Standardization Technical Committee, 2024.
- [13] 牛子昂,吕晓,徐雨颀,等.基于CiteSpace的东北黑土地保护研究可视化分析[J].黑龙江农业科学,2025(6):104-110.
NIU Z A, LÜ X, XU Y Q, et al. Visual analysis based on CiteSpace for protection of black soil in northeast China[J].

- Heilongjiang Agricultural Sciences, 2025(6):104-110.
- [14] 王超. 吉林省黑土地保护机制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
WANG C. Study on the protection mechanism of black land in Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [15] 王籽懿, 黄修梅, 杨玉荣, 等. 不同轮作模式对东北黑土地影响的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(11): 27-34.
WANG Z Y, HUANG X M, YANG Y R, et al. Research progress on effects of different rotation patterns on black soil in northeastern China [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(11): 27-34.
- [16] 张何普. 海伦市坡耕地秸秆覆盖免耕措施的减流减沙效应研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2024.
ZHANG H P. Effects of no-till with straw mulch on runoff and sediment reduction in sloping farmland: A case study of Hailun City[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2024.
- [17] 张红平. 黑龙江黑土地保护性耕作效益影响因素研究[C]//黑龙江省水利学会, 辽宁省水利学会, 吉林省水利学会, 吉林省水土保持学会, 内蒙古自治区水利学会. 东北四省区2024年水利学术年会暨水利先进技术(产品)推介会论文集. 黄河水利委员会上游水文水资源局, 2024: 249-257.
ZHANG H P. A study on the factors influencing the benefits of protective cultivation of black soil in Heilongjiang province [C]//Heilongjiang Water Conservancy Society, Liaoning Water Conservancy Society, Jilin Water Conservancy Society, Jilin Soil and Water Conservation Society, Inner Mongolia Autonomous Region Water Conservancy Association. 2024 Water Conservancy Academic Annual Conference of Four Northeastern Provinces and Promotion Conference of Advanced Water Conservancy Technologies (Products). Upstream Hydrological and Water Resources Bureau of the Yellow River Conservancy Commission, 2024: 249-257.
- [18] 曲研. 中国东北地区黑土地保护性耕作效益与影响因素研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
QU Y. Benefits and influencing factors of conservation tillage on black soil-the case of northeast China [D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [19] CECCHINI G, ANDREETTA A, MARCHETTO A, et al. Atmospheric deposition control of soil acidification in central Italy[J]. Catena, 2019, 182: e104102.
- [20] HUANG K, LI M Q, LI R P, et al. Soil acidification and salinity: The importance of biochar application to agricultural soils[J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: e1206820.
- [21] LIU Y L, ZHANG M, LI Y, et al. Influence of nitrogen fertilizer application on soil acidification characteristics of tea plantations in karst areas of southwest China[J]. Agriculture, 2023, 13(4): e849.
- [22] MOLIN S J D, ERNANI P R, GERBER J M. Soil acidification and nitrogen release following application of nitrogen fertilizers [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2020, 51(20): 2551-2558.
- [23] WEI H, LI H R, WANG Q, et al. Soil acidification alters C:N:P stoichiometry in the soil due to higher acid sensitivity of phosphorus[J]. Environmental Science: Processes and Impacts, 2025, 27(7): 2094-2103.
- [24] YANG B, ZHANG H, KE W P, et al. Effect of soil acidification on the production of Se-rich tea[J]. Plants, 2023, 12(15): e2882.
- [25] 申梦雪, 郝芮, 刘新伟, 等. 化肥减量配施秸秆和有机肥对酸化土壤改良及侵蚀阻控的影响[J]. 水土保持学报, 2024, 38(6): 333-342.
SHEN M X, HAO R, LIU X W, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with straw and organic fertilizer application on soil acidification mitigation and erosion control [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(6): 333-342.
- [26] 陈乐, 詹思维, 刘梦洁, 等. 生物炭对不同酸化水平稻田土壤性质和重金属Cu、Cd有效性影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(1): 358-364.
CHEN L, ZHAN S W, LIU M J, et al. Effects of biochar on the properties and the availability of Cu and Cd in paddy soil with different acidification levels [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(1): 358-364.
- [27] 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.
YU D S, SHI X Z, SUN W X, et al. Estimation of China soil organic carbon storage and density based on 1:1 000 000 soil database [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(12): 2279-2283.
- [28] 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.
SHI X Z, YU D S, GAO P, et al. Soil information system of China (SISChina) and its application [J]. Soils, 2007, 39(3): 329-333.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] SHI X Z, YU D S, WARNER E D, et al. Soil database of 1:1 000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system [J]. Soil Survey Horizons, 2004, 45(4): 129-136.
- [32] 中华人民共和国国土资源部. 多目标区域地球化学调查规范: DZ/T 0258—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Specification of multi-purpose regional geochemical survey (1: 250 000): DZ/T 0258—2014 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [33] WU Z, SU C X, GAO M X, et al. Carbon sequestration induced by enhanced silicate rock weathering in a temperate larch plantation in northeastern China [J]. Forest Ecology and Management, 2025, 597: e123135.