

· 问题探讨 ·

# 东北黑土区冻融交替土壤特性及适时春播耕作技术综合评价

王怀鹏<sup>1</sup>, 姜辉<sup>1</sup>, 孙继英<sup>1</sup>, 王宇先<sup>2</sup>, 高盼<sup>2</sup>, 尹雪巍<sup>1</sup>,  
李明<sup>1</sup>, 史乔丹<sup>1</sup>, 单莹<sup>1</sup>, 邱广伟<sup>1</sup>

(1.黑龙江省农业科学院克山分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161601;

2.黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161001)

## Comprehensive Evaluation of Soil Characteristics and Suitable Spring Cultivation Techniques under Freeze-thaw Alternation in the Black Soil Region of Northeast China

WANG Huaipeng<sup>1</sup>, JIANG Hui<sup>1</sup>, SUN Jiying<sup>1</sup>, WANG Yuxian<sup>2</sup>, GAO Pan<sup>2</sup>, YIN Xuewei<sup>1</sup>,  
LI Ming<sup>1</sup>, SHI Qiaodan<sup>1</sup>, SHAN Ying<sup>1</sup>, QIU Guangwei<sup>1</sup>

**摘要:**东北农田黑土区在夏季多雨炎热,冬季干燥寒冷,因其独特的地貌地形导致耕层土壤表现出“昼融夜冻”特点,土层冻融循环现象较为明显。在受到冻融侵蚀作用下,本区域水土流失严重,部分地区成土母质暴露,加之春季土壤受冻融交替影响,无法按时完成作物春播工作,对该区域工农业经济发展造成严重阻碍。鉴于此现状,本文就前人针对东北黑土区土壤冻融交替方面研究进行总结梳理,分析冻融交替对土壤理化指标、微生物环境及春播土壤耕作等技术研究,旨在为东北黑土区应对冻融交替及冻融侵蚀现象提供科学的理论支撑和实践指导。

**关键词:** 东北黑土; 冻融; 土壤性状; 春播评价

**中图分类号:** S345 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1008-2239(2023)06-0060-03

**DOI:**10.13605/j.cnki.52-1065/s.2023.06.003

### 1 东北农田黑土区土壤情况

东北农田黑土区耕层土壤性状优良,表现为孔隙度为70%、有机质含量在3%~15%之间,土壤肥沃,作物增产潜力较高。作为我国粮食安全的“压舱石”,粮食生产贡献率占全国的18.9%,粮食商品率约占全国的1/3<sup>[1-2]</sup>。然而数十年来,由于过度利用开发黑土资源和大面积的开垦种植,导致严重的水土流失现象发生。同时,东北黑土区由于地理位置和气候因素的影响也存在严重的冻融侵蚀问题<sup>[3-4]</sup>。

土壤侵蚀主要包括风蚀、水蚀和冻融侵蚀三大类型,中国冻土主要分布在东北北部山区、西北高山区及青藏高原地区<sup>[5]</sup>。土壤冻融侵蚀是由于土壤及其母质孔隙中或岩石裂缝中的水分在冻结时,体积膨胀,消融后其抗蚀稳定性大为降低,在重力作用下岩土顺坡向下方产生位移的现象<sup>[6]</sup>。当前东北黑土区的冻融侵蚀发生方式总体分为两种形式,一种表现为融雪径流侵蚀,另一种则表现为沟壑冻融侵蚀。土壤冻融侵蚀发生后使得黑土农业区耕层土壤地力下降,粮食产量减低,对黑土农业区社会经济的发展具有一定影响<sup>[7-8]</sup>。

### 2 冻融交替对黑土土壤理化性质的影响

冻融交替现象对于土壤的水分、容重、孔隙度、有机质、酶活性及相关化学养分含量具有不同程度的影响,这些物理和化学性状的改变对土壤侵蚀都起着十分重要的作用<sup>[9]</sup>。前人研究结果表明<sup>[10-12]</sup>,冻融循环将土壤大团聚体破碎变成小团聚体,从而使得黑土团聚体水稳性降低;此外随着冻融循环次数增加,土壤连通性增强,土壤面积孔隙率增加。姜玉喆<sup>[13]</sup>和刘佳等<sup>[14]</sup>的试验结果表明,在增加冻融循环次数的前提下,土壤容重和孔隙度分别表现为逐渐减小及增大变化趋势,并且土壤孔隙的变化表现为加长孔隙为主。

**收稿日期:**2023-06-12

**基金项目:**黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”“松嫩平原北部黑土区坡耕地固土保水技术与集成”(HNK2019CX13);齐齐哈尔市科学计划重点任务“黑龙江西北部黑土地力提升与保护技术与示范”(ZDGG-202004);中国科学院战略性先导科技专项“黑土地保育(培育)地力提升技术与示范”(XDA28130503-02);黑龙江省现代农业产业技术协同创新推广体系“黑土地保护协同创新体系”;黑龙江省农业科学院克山分院先导培育项目—“黑土区冻融交替对春播期土壤水热性状及作物适时播种评价研究(XDYBC2023-01)”;黑龙江省农业科技创新跨越工程农业基础数据监测项目—“黑土坡耕地冻融侵蚀监测(CX23JC03)”;黑龙江省农业科技创新跨越工程农业关键技术科技创新重点攻关项目—“西部风沙干旱区节水栽培技术集成与示范推广(CX23GG11)”。

**作者简介:**王怀鹏(1994—),男,助理研究员,主要从事黑土保护与作物高产栽培研究(E-mail:bywhpyxw@163.com)。

**通讯作者:**邱广伟(1978—),男,副研究员,主要从事黑土高效利用与保护研究(E-mail:qiu2542@163.com)。

• 60 •

郭平等<sup>[15]</sup>和李琳慧等<sup>[16]</sup>研究发现,随着土壤冻结温度的降低,土壤 pH 值、氧化还原电位、可溶性有机质含量升高,微生物量碳含量降低,土壤 FDA 水解酶、纤维素酶和过氧化氢酶活性均有不同程度下降。隽英华等<sup>[17]</sup>和单博等<sup>[18]</sup>通过开展冻融作用对农田黑土不同形态氮素的影响研究中发现,在 -25 °C 条件下,冻融交替处理显著增加了土壤中铵态氮、硝态氮、微生物量氮和可溶性有机氮含量,冻融交替作用使得土壤氮素有效性大大增加,同时与土壤微生物量氮呈显著相关性关系。由此可以看出,冻融交替可以使得土壤中酸解有机氮中铵态氮和氨基酸氮的含量升高,使得土壤可矿化氮量提高,促进了土壤氮素转化和有效氮的累积,从而为春季作物生长提供足够的氮素营养<sup>[19-20]</sup>。

### 3 冻融交替对黑土微生物环境的影响研究

冻融交替作用对土壤微生物影响主要表现为通过改变土壤结构和水热情况,从而对土壤微生物群落结构、活性等产生变化影响。赵颖等<sup>[21]</sup>研究表明,适宜的冻融温差、冻融循环次数和水分处理能够有效改良和调节影响农田黑土微生物量氮含量、蛋白酶以及硝酸还原酶活性。刘淑霞等<sup>[22]</sup>和庄海艳等<sup>[23]</sup>研究表明,冻融交替对黑土有机碳总量及易氧化有机碳无显著性影响,但对水溶性有机碳具有显著性影响;此外,冻融作用还会增加耕层土壤活性有机碳的有效百分比,过高的水分含量不利于活性有机碳的积累。黄蕊等<sup>[24]</sup>表明,冻融态生物炭施入土壤后可以显著改善土壤微生物环境,使得土壤中细菌数量显著增加,同时丰富了土壤细菌群落多样性。郭晓丽等<sup>[25]</sup>通过开展冻融循环条件下水分和氮处理对黑土土壤有机碳矿化的影响,试验结果表明,在设置冻融循环周期内,氮素和水分同时作用于土壤后,显著促进了冻结期的土壤有机碳矿化。

### 4 冻融交替对春播土壤耕作特性的影响

土壤田间耕作是农业生产中的一个基础环节,是高效利用耕地、开发优良资源、保护水土与土壤肥力、改善生态环境、赢得经济产量的关键措施。通过合理科学机械化作业,能够有效打破犁底层,加厚土壤耕层,改良土壤结构并减轻土壤侵蚀危害,以此来提升土壤蓄水抗旱能力<sup>[26-27]</sup>。随着生产上农业机具的不断更新换代,在提高农业生产效率和经济效益的同时,田间耕作土壤的压实问题愈发严重。土壤机械压实现象在田间主要表现为土壤的硬度和容重增加,孔隙度和通气性下降,从而严重影响作物根系的正常生长发育<sup>[28]</sup>。东北黑土区每年的 3~5 月份正处于气温回升阶段,农田土壤处于冻

融交替变化中,正逢春季各作物开始进入备耕状态,此时土壤理化指标直接影响作物适时播种工作安排。陈学文等<sup>[29]</sup>研究发现,冻融作用发生前,耕地免耕处理相比于秋季深翻处理显著增加了土壤硬度。范昊明等<sup>[30]</sup>研究结果表明,多次冻融循环会改变土壤的粘聚力和内摩擦角,从而使得土壤受冻融侵蚀现象加剧。

## 5 展望

冻融交替作用所产生的土壤侵蚀对于东北黑土区的农业发展与生态环境造成的影响不容忽视,广大学者专家应继续加强黑土冻融侵蚀相关研究,并根据前人针对土壤冻融侵蚀分布规律和界定分级相关文件法规,科学合理开展相关冻融侵蚀阻控和防治技术综合利用技术研究,对于保护黑土资源,促进黑土区农业健康可持续发展具有重要意义。

### 参考文献:

- [1]桑琦明.典型厚层黑土区冻融-风力-水力叠加驱动的坡面侵蚀过程及其机理[D].杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [2]桑琦明,郑粉莉,王一菲,等.东北黑土区冻融、风力、水力交互作用对坡面侵蚀的影响[J].水土保持学报,2021, 35(2): 87-95.
- [3]何煦,桑琦明,郑粉莉,等.东北不同黑土厚度区多营力作用的坡面土壤侵蚀试验研究[J].水土保持学报,2021, 35(1): 103-109,115.
- [4]李楚君.东北黑土区冻融侵蚀气候驱动要素变化规律研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [5]景国臣,刘丙友,荣建东,等.黑龙江省冻融侵蚀分布及其特征[J].水土保持通报,2016, 36(4): 320-325.
- [6]张科利,刘宏远.东北黑土区冻融侵蚀研究进展与展望[J].中国水土保持科学,2018, 16(1): 17-24.
- [7]张晓平,梁爱珍,申艳,等.东北黑土水土流失特点[J].地理科学,2006(6): 687-692.
- [8]刘红希,范昊明,许秀泉.黑土冻融过程中水分垂直迁移模拟研究[J].水土保持学报,2021, 35(1): 169-173.
- [9]景国臣,任宪平,刘绪军,等.东北黑土区冻融作用与土壤水分的关系[J].中国水土保持科学,2008(5): 32-36.
- [10]顾汪明,周金星,王彬,等.冻融循环作用对黑土水稳性团聚体特征的影响[J].中国水土保持科学,2020, 18(4): 45-52.
- [11]王文刚,王彬,顾汪明,等.冻融循环对黑土团聚体稳定性与微结构特征的影响[J].水土保持学报,2022, 36(1): 66-73.
- [12]孙义秋,顾汪明,关颖慧,等.冻融循环作用对黑土团聚体破碎机制的影响[J].水土保持学报,2021, 35(3): 53-60.
- [13]姜玉喆.冻融条件下黑土孔隙特征对土壤抗冲性影响研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [14]刘佳,范昊明,周丽丽,等.冻融循环对黑土容重和孔隙度影响的试验研究[J].水土保持学报,2009, 23(6): 186-189.

(下转第 66 页)

- nese Gesneriaceae[J].Phytotaxa,2011,239(1):1-36.
- [3]温放,黎舒,辛子兵,等.新中文命名规则下的最新中国苦苣苔科植物名录[J].广西科学,2019,26(1):37-63.
- [4]《中国矿产地质志》编委会.中国矿产地质志·贵州卷·煤[M].北京:地质出版社,2019:337.
- [5]杨朔,任启飞,杨加文,等.珍稀濒危植物辐花苣苔生存群落结构特征及物种多样性[J].耕作与栽培,2021,41(1):50-54.
- [6]欧明烛,安明态,任启飞,等.濒危植物辐花苣苔与同属2种植物光合生理特性的比较[J].华中农业大学学报,2023,42(1):51-59.
- [7]杜世勋,刘海江,张梦莹,等.水源涵养型国家重点生态功能区生态系统服务功能评估[J].生态学报,2022,42(11):4349-4361.
- [8]任胤铭,刘小平,许晓聪,等.基于 FLUS-InVEST 模型的京津冀多情景土地利用变化模拟及其对生态系统服务功能的影响研究[J].生态学报,2023(11):1-15.
- [9]乔斌,曹晓云,孙玮婕,等.基于生态系统服务价值和景观生态风险的生态分区识别与优化策略——以祁连山国家公园青海片区为例[J].生态学报,2023,43(3):986-1004.
- [10]祝汉收,翟俊,侯鹏,等.生态系统服务权衡与协同视角下的重点生态功能区保护特征[J].地理学报,2022,77(5):1275-1288.
- [11]苏珊,姚爱静,赵庆磊,等.国家公园自然资源保护分区研究——以北京长城国家公园体制试点区为例[J].生态学报,2019,39(22):8319-8326.
- [12]王艳霞,叶江霞,黄晓园,等.云南5个自然保护区生态系统构成及景观格局变化[J].西南林业大学学报,2016,36(3):95-104.
- [13]马赫,延相东.呼和浩特市中心城区景观格局及生态系统服务价值研究[J].西南林业大学学报(自然科学版),2022,42(3):171-177.
- [14]杨帆,李纯斌,吴静,等.基于生态系统服务功能重要性及生态敏感性分析的生态空间分布与保护方向研究[J].国土与自然资源研究,2020(5):19-25.
- [15]祝汉收,翟俊,侯鹏,等.生态系统服务权衡与协同视角下的重点生态功能区保护特征[J].地理学报,2022,77(5):1275-1288.
- [16]姜文来.森林涵养水源的价值核算研究[J].水土保持学报,2003,17(2):34-36,40.
- [17]周博奇,段禾祥,李璐,等.哀牢山地区生态系统水源涵养功能评估分析[J].西南林业大学学报(自然科学版):1-8.
- [18]侯晓臣,孙伟,李建贵,等.森林生态系统水源涵养能力计量方法研究进展与展望[J].干旱区资源与环境,2018,32(1):121-127.
- [19]王丹妮,郭青云,王志浩,等.生态系统水供给服务空间流动研究进展[J].水土保持学报,2022,36(3):1-8.
- [20]常馨悦,董禹麟,包广道,等.鸭绿江流域跨国界地区水土保持功能时空格局研究[J].西南林业大学学报(自然科学版),2022,42(2):139-150.
- [21]王裕熠,张聪,赵丽,等.2000—2019年若尔盖高原植被净初级生产力时空动态变化及其与气候因子的关系[J].西南林业大学学报(自然科学版),2022,42(3):52-61.
- [22]佟思纯,李卫正,严陶韬,等.基于生态系统服务功能重要性评价的喀斯特宜林地识别[J].西北林学院学报,2020,35(5):159-165.
- [23]张心语,郭诗韵,王亚萍,等.雄安新区森林生态系统服务功能价值评估及其空间分析研究[J].河南农业大学学报,2022,56(4):661-673,684.
- [24]田野,冯启源,唐明方,等.基于生态系统评价的山水林田湖草生态保护与修复体系构建研究——以乌梁素海流域为例[J].生态学报,2019,39(23):8826-8836.

(上接第61页)

- [15]郭平,明恋,王观竹,等.黑土对冻融有机质的吸附作用[J].吉林大学学报(理学版),2013,51(4):744-748.
- [16]李琳慧,李旭,许梦,等.冻融温度对东北黑土理化性质及土壤酶活性的影响[J].江苏农业科学,2015,43(4):318-320.
- [17]隽英华,田路路,刘艳,等.冻融循环对农田黑土可溶性氮组分的调控效应[J].东北农业科学,2022,47(1):51-56,65.
- [18]单博.模拟冻融条件下黑土耕层土壤氮素形态及有效性研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2018.
- [19]乔思宇.冻融循环作用对黑土无机磷各形态含量模拟研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [20]隽英华,田路路,刘艳,等.冻融作用对农田黑土有机氮组分的调控效应[J].土壤,2020,52(2):262-270.
- [21]赵颖,田路路,刘艳,等.冻融循环对农田黑土微生物量氮及酶活性的影响[J].东北农业科学,2019,44(6):43-48.
- [22]刘淑霞,王宇,赵兰坡,等.冻融作用下黑土有机碳数量变化的研究[J].农业环境科学学报,2008(3):984-990.
- [23]庄海艳,单博,陈祥伟.冻融时黑土耕层土壤活性有机碳响应特征[J].东北林业大学学报,2018,46(6):77-80.
- [24]黄蕊.冻融生物炭强化黑土 DEHP 原位修复及微生物响应机制[D].哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [25]郭晓丽,何朋,戴闪闪,等.冻融循环条件下水分和氮添加对黑土有机碳矿化的影响[J].土壤与作物,2020,9(2):141-149.
- [26]王恩姮.机械耕作与季节性冻融对黑土结构的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [27]王恩姮,赵雨森,陈祥伟.典型黑土耕作区土壤结构对季节性冻融的响应[J].应用生态学报,2010,21(7):1744-1750.
- [28]卢倩倩.冻融与深松整地对压实黑土结构恢复的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2017.
- [29]陈学文,王农,刘亚军,等.不同耕作处理下冻融对农田黑土硬度的影响[J].水土保持通报,2012,32(6):55-60.
- [30]范昊明,钱多,周丽丽,等.冻融作用对黑土力学性质的影响研究[J].水土保持通报,2011,31(3):81-84.