



郝小雨,马星竹,周宝库,等.黑龙江省肥料减施增效技术应用现状及展望[J].黑龙江农业科学,2024(2):100-104.

黑龙江省肥料减施增效技术应用现状及展望

郝小雨,马星竹,周宝库,孙 磊,匡恩俊,郑 雨,赵 月,常本超

(黑龙江省黑土保护利用研究院/农业农村部黑土地保护与利用重点实验室/黑龙江省土壤微生物生态联合实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:黑龙江省农业生产中存在轻简化智能施肥技术缺乏、高效智能化施肥机械装备不足、缺少绿色环保增效肥料、有机替代技术推广困难、秸秆肥料化利用率低等问题。针对这些问题,黑龙江省开展了化肥减量增效行动计划,取得了积极成效。本文从化肥减施、肥料增效、秸秆还田、有机肥还田、生物炭施用、科学轮作、机械施肥等方面总结了黑龙江省肥料减施增效技术实施情况,概述黑龙江省肥料减施增效相关举措,并从强化政府部门统筹管理职能、强化科技支撑、加强宣传引导等方面提出肥料减施增效研究展望及建议。

关键词:化肥;减施增效;高效施肥技术;黑龙江省;黑土

肥料在提高农作物产量、保障世界粮食安全上发挥了举足轻重的作用^[1]。据联合国粮农组织(FAO)统计,全球农用化肥年消费量在2亿t(纯养分量)左右,对世界粮食增产的贡献率达40%以上^[2]。由于肥料的增产效果显著,农业生产中过量施肥的现象屡见不鲜。研究发现,我国三大作物小麦、玉米和水稻种植过程中部分耕地氮肥(N)施用量达到了250~350 kg·hm⁻²^[3]。黑龙江省许多地区施肥存在盲目性、长期过量施肥、施肥比例不合理等现象,造成土壤养分供应不平衡^[4]。彭显龙等^[5]调查了黑龙江省寒地稻田施肥情况,发现近60%的稻田氮肥施用量过高,稻田氮素有17.2%的盈余,导致氮肥利用率较低。进一步调查显示,黑龙江稻田氮肥(N)、磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)习惯用量分别为141.0、56.6和51.6 kg·hm⁻²,农户施肥量差异显著,盲目施肥问题突出^[6]。过量投入的肥料不仅增加成本,降低肥料利用率,而且肥料分解后剩余的养分会以气态氮损失(N₂O、NO、NH₃)、淋溶和径流等途径污染环境^[7-9]。近年来,黑龙江省陆续出台了一系列黑土地保护方面的政策和管理条例,黑龙江省肥料减施增效成效显著。本文从化肥减施、肥料增效、秸秆还田、有机肥还田、生物炭施用、科学轮作、机械施肥等方面总结了黑龙江省肥料减施增效实施情况,概述黑龙江省肥料减施增效相关举措,并提出肥料减施增效研究展望和建议,为构建黑龙江省高效施肥技术体系和实现农业可持续发展提供科学依据。

1 黑龙江省肥料减施增效实施情况

1.1 化肥减施

化肥减量在节本增效、作物稳产、提质增收的同时,具有缓解农业面源污染、减少气态氮损失、培肥地力、提升土壤微生物多样性与恢复土壤健康的潜力^[10]。近年来,针对黑龙江省部分地区存在过量施肥的现象,相关学者在肥料减施方面进行了有益的探索。研究显示,与农民习惯施肥处理相比,在黑龙江省黑土区减施氮肥10%~20%条件下玉米产量和氮素吸收量无明显变化,可提高氮肥利用率(氮肥回收率和农学效率增幅分别为9.5%~25.7%和9.9%~28.2%),增加经济效益,减少土壤N₂O排放、氨挥发和氮素淋溶损失^[11]。黑龙江省水稻产量7500 kg·hm⁻²对应的理论施氮(N)量为105 kg·hm⁻²,但只有20%的农户实现了高产和氮素高效,有70%的农户具有节肥潜力,可以节氮超过26%^[6]。在黑龙江省黑土和草甸土采用NE推荐施肥技术化肥减量20%,能保证水稻正常生长发育,较农民常规施肥处理不减产^[12]。

1.2 肥料增效

利用氮肥增效剂调控土壤氮循环进而减少农田土壤氮素损失,是作物增产、增效、提质的有效措施^[13]。氮肥增效剂主要包括硝化抑制剂和脲酶抑制剂,目前农业生产中常用的硝化抑制剂有Nitrapyrin(2-氯-6-三氯甲基吡啶)、DCD(双氰胺)、DMPP(3,4-二甲基吡唑磷酸盐)和脲酶抑制

收稿日期:2023-09-02

基金项目:智慧施肥项目(05);科技基础资源调查专项(2021-FY100404-1);国家大豆产业技术体系(CARS-04)。

第一作者:郝小雨(1981-),男,博士,副研究员,从事农田养分循环研究。E-mail: xiaoyuhao1981@sina.com。

剂 NBPT(N-丁基硫代磷酰三胺)。黑土农田氮肥单独配施硝化抑制剂并没有表现出显著的增产增效作用^[14],研究人员尝试在肥料中额外添加脲酶抑制剂,验证双控抑制剂的效果。王玲莉等^[15]在三江平原白浆土施用 NAM 增效肥料(增效成分为 DCD 与 NBPT),土壤 NH_4^+-N 保持较高的供应能力,使作物吸氮量增加了 6.8%,玉米增产 3.1%。在黑土中氮肥添加双控抑制剂(DMPP+NBPT 或 Nitracpyrin+NBPT)可以有效抑制 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化促进玉米氮素吸收,玉米籽粒产量较单施尿素处理分别增加 1.64 倍和 2.18 倍,氮素表观利用率分别提高 3.02 倍和 3.34 倍^[16]。Hao 等^[17]指出黑土区玉米田施用稳定性肥料(氮肥+硝化抑制剂 Nitracpyrin+脲酶抑制剂 NBPT)减少土壤氮挥发损失量 21.5%~31.8%、降低 N_2O 排放量 44.3%~48.5%,玉米增产 7.3%~9.6%,可提高氮肥利用率、降低农田综合温室效应。黑龙江省水稻田氮肥配施双控抑制剂(Nitracpyrin+NBPT)能够延长氮素释放周期,可增产、提质、增效、增收,水稻产量增加 6.4%,氮肥表观利用率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力分别提高 15.6%,19.1%和 7.6%,增加收益 2 499.08 元·hm⁻²^[18]。可见,将硝化抑制剂和脲酶抑制剂配合使用,充分发挥其协同作用,可有效调节氮素在土壤中的转化,减少氮素损失,达到增产增效的作用。

一次性施肥技术是利用作物专用缓/控释氮肥,依据作物生育期养分需求特征和土壤肥力供应特征确定最佳施肥量,配合磷、钾肥一次性基施作物专用缓/控释氮肥,整个作物生育期内不再进行追肥的方法^[19],具有省工省力、提高养分利用率以及对土壤、水与大气环境的致害作用小等优点^[20]。目前,农业生产中一次性施用缓/控释肥还存在一定的困难,一方面是由于生产成本较高,通常缓/控释肥料价格较普通氮肥价格高 2 倍~9 倍;另一方面是农田气候具有不确定性,即作物生育期气温和降水量年份间分布不均,而缓/控释肥的养分释放主要受土壤水分和温度的影响^[21]。因此,将普通氮肥和缓/控释氮肥按照特定比例混合后制得缓/控释掺混氮肥,其中的普通氮肥能保障作物苗期氮素需求,缓/控释氮肥能满足作物中后期养分需求,有利于养分持续供应和作物增产^[22-23]。

1.3 秸秆还田

实施秸秆全量直接还田是实现东北地区农业绿色发展和可持续发展的重要途径。一是,可实

现秸秆资源肥料化利用,减少化肥用量;二是,保障黑土耕地可持续利用,支撑作物高产稳产;三是,促进土壤固碳减排,减少大气污染^[24]。目前,黑龙江省农作物秸秆直接还田方式主要为翻埋(深施)还田、耕层混拌和覆盖还田,最具代表性的为“龙江模式”和“三江模式”^[25]。结合不同气候类型和土壤条件,中国科学院东北地理与农业生态研究所韩晓增研究员将“龙江模式”分解为 4 个典型模式:一是,在松嫩平原中东部和三江平原草甸土区应用“秸秆翻埋还田-黑土层保育模式”;二是,在易发生风蚀和水蚀的土壤、薄层黑土、暗棕壤等中低产田地区应用“秸秆碎混还田-黑土层培育模式”;三是,在松嫩平原西部风沙、干旱、盐碱化地区应用等“四免一松保护性耕作模式”;四是,针对坡耕地蓄排水与控制面蚀、培肥土壤相结合的体系应用“坡耕地蓄排一体化控蚀培肥模式”^[26]。

1.4 有机肥还田

农田施用有机肥在提高土壤肥力、改善耕层物理结构等方面有显著效果。研究表明,长期施用有机肥可增加黑土有机碳含量和黑土有机碳储量^[27],提高黑土活性有机质含量^[28]。黑土长期施用有机肥可以提高土壤全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量^[29],进而提高作物产量^[30]。黑龙江省海伦市长期试验显示,有机肥的施用量为 22.5 t·hm⁻²,连续培肥 13 年后,能够提高 0~40 cm 土层土壤肥力,改善土壤结构,施有机肥处理玉米产量与化肥处理相比无显著差异,说明连续有机培肥后的土壤有实现有机肥替代化肥的潜力^[31]。黑龙江省黑土区有机肥替代化肥 20%,使大豆增产 10.4%,并提高大豆粗蛋白含量,增收 1 261.8 元·hm⁻²^[32]。姜茜等^[33]研究发现,东北地区粪便资源总量的 46.7%用于传统有机肥堆沤,3.5%用于商品有机肥生产,剩余的 43.8%闲置。综上,尽管有机肥培肥地力、增产增收效果显著,但黑龙江省农业生产中存在有机肥资源不足、有机肥资源分散、有机肥施用机械缺乏、农民施用有机肥意愿低等问题,导致有机肥利用率低。

1.5 施用生物炭

生物炭具有多孔性和巨大的表面积,施入土壤后可提升土壤的持水量、增加对营养元素的吸附,生物炭本身含有丰富的矿质元素(氮、磷、钾、钙、镁等)并能够缓慢释放以供作物吸收,生物炭的致密和细小孔隙结构及养分、水分吸附能力为土壤微生物提供良好的栖息环境,有利于形成健康的土壤环境,此外生物炭多为碱性,可改良酸性土壤,因此生物炭能够改良土壤结构、改善土壤肥

力并增加农作物产量^[34-35]。海伦长期定位试验表明,施用生物炭增加了黑土有机质含量,促使土壤大团聚体中的有机质结构趋于脂肪化,促进了微团聚体中有机质的稳定性,闭蓄态轻组中脂肪族—CH 的相对丰度增幅最大,有利于促进有机质活性的增强,加快土壤有机质的周转更新^[36]。在黑龙江省北安市 3°坡耕地上,施用生物炭降低土壤容重,增加土壤孔隙度,有效降低土壤固相比例,提高气相和液相比例,连续施加 25 t·hm⁻²的生物炭会使玉米产量提高^[37]。在黑龙江省大庆碱性土壤上,不论是单独减施氮肥 20%、减施磷肥 20%、减施钾肥 20%,还是氮肥、磷肥、钾肥均减施 20%,都可增加玉米植株干物质积累量、转运率及对籽粒干物质积累贡献率,并可提高玉米产量,促进玉米植株氮、磷、钾积累^[38]。

1.6 科学轮作

研究发现,大豆连作使土壤酶活性降低,有效养分含量下降,是造成大豆连作障碍而导致大豆减产的重要原因^[39]。轮作是一种用养结合、科学合理的种植模式,有利于均衡分配和利用土壤养分,防止病、虫、草害发生,改善土壤的理化性状,培肥地力^[40]。与玉米连作体系相比,玉-豆轮作明显改善土壤的养分和理化性质,增加土壤肥力,即土壤容重和固相比降低,土壤孔隙度和土壤表层的碱解氮含量提升,收获后的作物残渣促进了后续作物的生长,实现用养结合^[41]。陈海江等^[42]基于嫩江市轮作定位试验和农户调研数据,发现与非轮作模式相比,轮作的大豆和玉米分别增产 325.65 kg·hm⁻²和 803.81 kg·hm⁻²,大豆农药费用节省 42 元·hm⁻²,玉米化肥施用量节约 117 kg·hm⁻²。Yuan 等^[43]调查了齐齐哈尔市盐碱土不同轮作模式的作物产量,与玉米连作相比,玉米-大豆-玉米轮作模式的玉米产量提高 5.4%;与大豆连作相比,大豆-玉米-玉米轮作模式的大豆产量提高 9.7%。研究显示,玉米-大豆轮作作为我国两大主粮可持续发展的重要种植模式,能够增加作物残茬的还田量,改善土壤物理结构,有利于团聚体结构的形成,并提高表层土壤有机碳的含量,保证玉米、大豆高产稳产^[44]。

1.7 机械施肥

机械深施主要包括底肥、种肥和追肥 3 种方式。统计显示,2018 年我国农田机械深施化肥面积已达 3 527.0 万 hm²,有利推动了农业节本、减损、增效、增产^[10]。研究表明,机械化深施对于粮食作物等增产幅度达到 300~675 kg·hm⁻²,化肥利用率达到 40%~45%^[45]。姜佰文等^[46]利用深

松施肥一体机(作业位置与苗带水平距离为 20 cm,施肥深度 20 cm),玉米增密种植配合苗期深松与氮肥侧深施组合技术,可有效改善玉米根系生长,促进植株氮素吸收,提高植株营养器官氮转运效率,实现增产与氮肥增效,氮肥偏生产力提高 102.4%,氮肥农学效率提高 143.1%,增产 50.6%。在黑龙江省建三江采用的水田机械侧深施肥技术可以有效将肥料施用于作物秧苗侧 3.0~5.0 cm,施肥深度 4.5~5.0 cm,提高氮肥利用率 35%^[47]。在黑龙江八五九农场,利用自动驾驶系统的变量施肥插秧机,可插秧过程中实时测量出土壤的肥沃程度,动态调整施肥量,减肥率能达到 10%,节肥 45 kg·hm⁻²左右、节本 150 元·hm⁻²左右,还能通过平衡施肥,提高水稻抗倒伏能力,提升水稻品质^[48]。

2 黑龙江省肥料减施增效相关举措

2.1 实施黑土地肥料减施增效政策

近年来,国家陆续出台了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030 年)》《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025 年)》。黑龙江省也陆续出台了一系列黑土地保护方面的政策,这些政策也涉及了肥料减施增效方面的内容,如《关于深入推进农业“三减”行动的实施意见》《黑龙江省“十四五”黑土地保护规划》等。在这些政策的引领和指导下,黑龙江省肥料减施增效的成效显著。据统计,2021 年黑龙江省化肥用量为 238.9 万 t,较 2015 年的 255.3 万 t 下降 6.4%^[49]。

2.2 在黑土地保护立法工作中明确肥料减施增效措施

在《中华人民共和国黑土地保护法》的引领下,2021 年黑龙江省进一步颁布《黑龙江省黑土地保护利用条例》。条例第二十五条和第二十六条明确,一是,实施耕地保护措施,如测土配方施肥、科学合理施用化肥、增施有机肥、秸秆还田、秸秆过腹转化、少耕免耕、深松深耕、轮作休耕等;二是,推广适宜的农业机械和标准化种植,鼓励使用节水灌溉设施,推广水肥一体化等技术;三是,推广秸秆肥料化利用技术,鼓励和支持以秸秆、废食用菌糠、畜禽粪便为主要原料的有机肥料研发、生产和施用。

3 展望与建议

近年来,黑龙江省肥料减施增效取得了显著成效。然而,当前黑龙江省农业生产中,存在缺乏轻简化智能施肥技术、高效智能化施肥机械装备

不足、缺少绿色环保增效肥料、有机替代技术推广困难、秸秆肥料化利用率低等问题^[50]。此外,肥料减施增效政策的实施,很大程度上是政府部门以行政公文形式下达,亦或是农业部门和科研人员提出的施用技术,部分技术方法脱离生产实际、针对性不强、可操作程度低,对农业生产指导作用不大。建议:(1)强化政府部门统筹管理职能。综合运用行政、财政、科技和法律等手段持续推进肥料减施增效,强化测土配方施肥,完善施肥方法,推广作物专用肥料和配套施肥技术;稳步推进秸秆肥料化利用,强化秸秆机械化深翻还田、碎混还田、覆盖还田、堆腐还田;强化绿色种养循环、畜禽粪污综合利用,持续推进有机肥科学替代化肥;推进化肥科学施用管理条例和立法工作,建立健全各项肥料管理规章制度。(2)强化科技支撑。农业部门与科研单位充分发挥创新研发能力,开展智能化推荐施肥技术攻关,开发新型绿色增效肥料,研发智能化变量施肥机械,创建集成与主要生态区域、主要土壤类型、主要耕作栽培模式相匹配的减肥增效综合养分管理模式,建立和推广区域化的减肥增效技术规程。(3)加强宣传引导。充分利用手机 APP、公众号等新手段,积极宣传肥料减施增效技术的优点,转变农民传统施肥观念;深入田间基层,与农民面对面交流,通过举办技术培训和现场会,展示肥料减施增效新产品和新技术,持续提升农民科学施肥的意识。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO Statistical pocketbook: world food and agriculture 2015 [DB/OL]. (2016-12-10) [2003-08-20]. <https://www.fao.org/3/i4691e/i4691e.pdf>.
- [3] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [4] 姬景红,李玉影,刘双全,等.黑龙江省春玉米的优化施肥研究[J].中国土壤与肥料,2014(5):53-58.
- [5] 彭显龙,刘元英,罗盛国,等.寒地稻田施氮状况与氮素调控对水稻投入和产出的影响[J].东北农业大学学报,2007,38(4):467-472.
- [6] 彭显龙,王伟,周娜,等.基于农户施肥和土壤肥力的黑龙江水稻减肥潜力分析[J].中国农业科学,2019,52(12):2092-2100.
- [7] JU X T, KOU C L, CHRISTIE P, et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain [J]. Environmental Pollution, 2007, 145(2):497-506.
- [8] 吕敏娟,陈帅,辛思颖,等.施氮量对冬小麦产量、品质和土壤氮素平衡的影响[J].河北农业大学学报,2019,42(4):9-15.

- [9] 胡云峰,王擎运,屠人凤,等.长期施肥下旱地红壤剖面磷素的形态变化与累积特征[J].华中农业大学学报(自然科学版),2022,41(2):115-123.
- [10] 邱子健,申卫收,林先贵.化肥减量增效技术及其农学、生态环境效应[J].中国土壤与肥料,2022(4):237-248.
- [11] 郝小雨,孙磊,马星竹,等.黑龙江省黑土区玉米田氮肥减施效应及碳足迹估算[J].河北农业大学学报,2022,45(5):10-18,131.
- [12] 李杰,姬景红,李玉影,等.化肥减施结合菌肥对寒地梗稻产量及肥料利用率的影响[J].黑龙江农业科学,2019(10):45-49.
- [13] 郝小雨.硝化/脲酶抑制剂在玉米上的增产、增效及提质效应研究进展[J].黑龙江农业科学,2022(10):103-108,118.
- [14] 郝小雨,马星竹,高中超,等.氮肥管理措施对黑土春玉米产量及氮素利用的影响[J].玉米科学,2016,24(4):151-159.
- [15] 王玲莉,古慧娟,石元亮,等.尿素配施添加剂 NAM 对三江平原白浆土氮素转化和玉米产量的影响[J].中国土壤与肥料,2012(2):34-38.
- [16] 李学红,李东坡,武志杰,等.添加 NBPT/DMPP/CP 的高效稳定性尿素在黑土和褐土中的施用效应[J].植物营养与肥料学报,2021,27(6):957-968.
- [17] HAO X Y, SUN L, ZHOU B K, et al. Change in maize yield, N use efficiencies and climatic warming potential after urea combined with Nitrpyrin and NBPT during the growing season in a black soil [J]. Soil and Tillage Research, 2023, 231:105721.
- [18] 郝小雨,马星竹,陈苗苗,等.氮肥配施增效剂实现寒地水稻增产、提质与增效[J].水土保持学报,2019,33(4):175-179,307.
- [19] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等.一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J].中国农业科学,2018,51(20):3827-3839.
- [20] 苏俊.黑龙江玉米[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [21] 唐汉,王金武,徐常塑,等.化肥减施增效关键技术研究进展分析[J].农业机械学报,2019,50(4):1-19.
- [22] ZHENG W K, LIU Z G, ZHANG M, et al. Improving crop yields, nitrogen use efficiencies, and profits by using mixtures of coated controlled-released and uncoated urea in a wheat-maize system [J]. Field Crops Research, 2017, 205:106-115.
- [23] 姬景红,李玉影,刘双全,等.控释尿素对黑龙江地区水稻产量及氮肥利用率的影响[J].土壤通报,2018,49(4):876-881.
- [24] 马国成,蔡红光,范围,等.黑土区玉米秸秆全量直接还田技术区域适应性探讨[J].玉米科学,2022,30(6):1-6.
- [25] 郝小雨.黑土区秸秆还田的改土培肥及增产效应研究进展[J].黑龙江农业科学,2022(12):83-88.
- [26] 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.
- [27] 郝小雨,马星竹,周宝库,等.长期不同施肥措施下黑土有机碳的固存效应[J].水土保持学报,2016,30(5):316-321.
- [28] 何翠翠,王立刚,王迎春,等.长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究[J].土壤学报,2015,52(1):194-202.
- [29] 郝小雨,周宝库,马星竹,等.长期施肥下黑土肥力特征及综合评价[J].黑龙江农业科学,2015(11):23-30.

- [30] 郝小雨,周宝库,马星竹,等.长期不同施肥措施下黑土作物产量与养分平衡特征[J].农业工程学报,2015,31(16):178-185.
- [31] 邹文秀,邱琛,韩晓增,等.长期施用有机肥对黑土土壤肥力和玉米产量的影响[J].土壤与作物,2020,9(4):407-418.
- [32] 王晓林,张景云,杜吉到.有机肥与化肥配施对黑土区大豆产量及品质的影响[J].黑龙江农业科学,2023(4):13-17.
- [33] 姜茜,王瑞波,孙炜琳.我国畜禽粪便资源化利用潜力分析及对策研究:基于商品有机肥利用角度[J].华中农业大学学报(社会科学版),2018(4):30-37,166-167.
- [34] 何绪生,耿增超,余雕,等.生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J].农业工程学报,2011,27(2):1-7.
- [35] 杨放,李心清,王兵,等.生物炭在农业增产和污染治理中的应用[J].地球与环境,2012,40(1):100-107.
- [36] 龙杰琦,苗淑杰,李娜,等.施用生物炭对黑土各组分有机质结构的影响[J].植物营养与肥料学报,2022,28(5):775-785.
- [37] 魏永霞,朱烟豫,刘慧.连年施加生物炭对黑土区土壤改良与玉米产量的影响[J].农业机械学报,2022,53(1):291-301.
- [38] 田福,聂金锐,周子渝,等.生物炭与化肥减量配施对玉米干物质、产量及氮、磷、钾积累转运的影响[J].玉米科学,2021,29(5):158-165.
- [39] 王树起,韩晓增,乔云发,等.寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性及相关肥力因子的变化[J].大豆科学,2009,28(4):611-615.
- [40] 王娜,王璐,宋昌海,等.轮作对黑土区作物产量及土壤理化性质的影响[J].农业科技通讯,2022(9):71-74.
- [41] 陈庆山,姜振峰.加强黑土耕地大豆玉米轮作 保障粮食可持续供给[J].奋斗,2022(1):41-43.
- [42] 陈海江,司伟,魏丹,等.粮豆轮作技术的“减肥增效”效应研究:基于东北地区轮作定位试验和农户调研分析[J].大豆科学,2018,37(4):545-550.
- [43] YUAN M, BI Y D, HAN D W, et al. Long-term corn-soybean rotation and soil fertilization: impacts on yield and agronomic traits[J]. Agronomy, 2022, 12(10):2554.
- [44] 提俊阳,张玉芹,杨恒山,等.玉米-大豆轮作对土壤肥力及其产量影响的研究进展[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2022,37(2):156-160.
- [45] 付浩然,李婷玉,曹寒冰,等.我国化肥减量增效的驱动因素探究[J].植物营养与肥料学报,2020,26(3):561-580.
- [46] 姜佰文,于士源,杨贺淇,等.增密种植条件下苗期深松与氮肥侧深施对玉米根系生长与氮效率的影响[J].东北农业大学学报,2023,54(6):1-9,19.
- [47] 刘毅.水稻侧深施肥机在建三江水稻生产中的应用[J].现代化农业,2015(7):58-59.
- [48] 刘晓璐,高鹏飞.黑土地“减肥”更增效:建三江分公司以减肥增效推动绿色农业高质量发展[J].中国农垦,2022(8):22-23.
- [49] 黑龙江省统计局,国家统计局黑龙江省调查总队.黑龙江统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2022.
- [50] 周卫,丁文成.新阶段化肥减量增效战略研究[J].植物营养与肥料学报,2023,29(1):1-7.

Application Status and Prospect on Technology of Reducing Fertilizer Use and Increasing Use Efficiency in Heilongjiang Province

HAO Xiaoyu, MA Xingzhu, ZHOU Baoku, SUN Lei, Kuang Enjun, ZHENG Yu, ZHAO Yue, CHANG Benchao

(Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization / Laboratory of Black Soil Protection and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Areas / Heilongjiang Joint Laboratory of Soil Microbial Ecology, Harbin 150086, China)

Abstract: There were some problems in agricultural production in Heilongjiang Province, such as lack of light and simplified intelligent fertilization technology, lack of efficient and intelligent fertilization machinery and equipment, lack of green and environmentally friendly fertilizer, difficult promotion of organic alternative technology, and low utilization rate of straw fertilizer. This paper summarized the implementation of fertilizer reduction and efficiency improvement technology in Heilongjiang Province from the aspects of fertilizer reduction, fertilizer efficiency improvement, straw returning, organic fertilizer returning, biochar application, scientific crop rotation and mechanical fertilization, and summarized the relevant measures of fertilizer reduction and efficiency improvement in Heilongjiang Province. The research prospects and suggestions on fertilizer reduction and efficiency improvement were put forward from the aspects of strengthening the overall management function of government departments, strengthening scientific and technological support, and strengthening publicity and guidance.

Keywords: chemical fertilizer; reducing fertilizer use and increasing use efficiency; efficient fertilization technology; Heilongjiang Province; black soil