



黑土地生物多样性恢复与农业绿色高效发展对策

王慧, 张海芳, 张艳军, 刘红梅, 李佳璐, 张昊, 杨殿林

引用本文:

王慧, 张海芳, 张艳军, 刘红梅, 李佳璐, 张昊, 杨殿林. 黑土地生物多样性恢复与农业绿色高效发展对策[J]. *农业资源与环境学报*, 2023, 40(6): 1474–1479.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0706>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

生态环境视角下有机农业发展助推环境保护与绿色发展(1994—2019)

张弛, 席运官, 孔源, 田伟, 肖兴基, 赵克强

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 703–710 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0307>

不同施肥制度对南方旱地红壤微生物组结构和功能影响研究进展

荀卫兵, 王伯仁, 冉炜, 沈其荣, 徐明岗, 张瑞福

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 537–544 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0448>

生态空间格局优化与景观要素耦合视角下环水有机农业面源污染控制技术

王磊, 席运官, 潘阳, 陈秋会, 和丽萍, 李丽娜, 吴见珣, 杨育文, 刘明庆, 杨涛明, 杨赵, 田伟, 高吉喜

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 160–166 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0219>

澳大利亚生物遗传资源获取与惠益分享法制现状、案例与启示

李一丁, 武建勇

农业资源与环境学报. 2017, 34(1): 24–29 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0199>

东北黑土区水力侵蚀研究进展

王计磊, 李子忠

农业资源与环境学报. 2018, 35(5): 389–397 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0328>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王慧, 张海芳, 张艳军, 等. 黑土地生物多样性恢复与农业绿色高效发展对策[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(6): 1474–1479.
WANG H, ZHANG H F, ZHANG Y J, et al. Restoration of biodiversity in black soil area and development strategies for green and efficient agriculture[J].
Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(6): 1474–1479.

黑土地生物多样性恢复与农业绿色高效发展对策

王慧^{1,2}, 张海芳^{1,2}, 张艳军^{1,2}, 刘红梅^{1,2}, 李佳璐^{1,2}, 张昊^{1,2}, 杨殿林^{1,2*}

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 天津市农田生态与环境修复技术工程中心, 天津 300191)

摘要:生物多样性对农业生态系统粮食安全、生产力和可持续性贡献极大, 尤其是在未来全球气候变化加剧的背景下, 多物种及其可利用性可为不同条件下农业生产和多种生态过程提供支持。黑土区生态类型多样, 是实现我国农业绿色发展的重点区域。然而, 由于长期高强度开发利用, 黑土区耕地开始退化, 湿地、林地等半自然生境面积减少, 导致生物多样性下降, 严重制约黑土区农业绿色发展。本文在分析黑土区农田生物多样性现状的基础上, 对照和借鉴国内外生物多样性保护和农业绿色发展的经验, 指出了黑土区农田生物多样性保护存在的主要问题, 并进一步提出黑土区集约化农田生物多样性保护对策, 以为黑土地生物多样性复原及农业绿色转型提供理论依据。

关键词:农业生物多样性; 农业绿色高效发展; 黑土地; 生物多样性保护; 粮食安全

中图分类号: S181

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2023)06-1474-06

doi: 10.13254/j.jare.2023.0706

Restoration of biodiversity in black soil area and development strategies for green and efficient agriculture

WANG Hui^{1,2}, ZHANG Haifang^{1,2}, ZHANG Yanjun^{1,2}, LIU Hongmei^{1,2}, LI Jialu^{1,2}, ZHANG Hao^{1,2}, YANG Dianlin^{1,2*}

(1. Agro-Environment Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Engineering Research Center of Agricultural and Environmental Remediation Technology, Tianjin 300191, China)

Abstract: Biodiversity greatly contributes to food security, agricultural system productivity, and sustainability, especially in the context of global climate change. Multispecies and their availability can support for agricultural production and provide various ecological processes under different conditions. The black soil area has diverse ecological types and natural advantages in achieving green agricultural development. However, due to long-term and intensive development and utilization, the cultivated land in the black soil area has begun to deteriorate, and the reduction of semi-natural habitats such as wetlands and forests have led to a decrease in biodiversity, seriously restricting the green development of agriculture in the black soil area. On the basis of analyzing the current situation of agro-biodiversity in the black soil area, and comparing the experience of biodiversity conservation and green development of agriculture in China and abroad, we point out the main problems in protection of farmland biodiversity in the black soil area. Then we proposes strategies for intensive farmland biodiversity protection so as to provide theoretical basis for the restoration of black soil biodiversity and the green transformation of agriculture.

Keywords: agro-biodiversity; green and efficient development of agriculture; black soil; biodiversity conservation; food security

收稿日期: 2023-10-07 录用日期: 2023-10-26

作者简介: 王慧(1981—), 女, 内蒙古包头人, 博士, 副研究员, 从事农业生物多样性与生态农业研究。E-mail: wanghui03@caas.cn

*通信作者: 杨殿林 E-mail: yangdianlin@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(SQ2023YFF1300040); 天津市科技计划项目(22ZYCGSN00700); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2023-jbkyywf-ydl, 2023-jbkyywf-wh)

Project supported: National Key Research and Development Program of China(SQ2023YFF1300040); Program of Tianjin Science and Technology Plan(22ZYCGSN00700); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund(2023-jbkyywf-ydl; 2023-jbkyywf-wh)

农业生物多样性是生物多样性的重要组成部分,是农田生态系统稳定和可持续发展的重要基础,农田及其周边多样化的景观生境为各种生物提供了生存环境,物种多样性和遗传多样性也为人类提供了各种产品和服务^[1]。不同物种提供的营养成分不同,物种多样性增加了食物原料的选择范围,为人类的均衡膳食提供保障^[2]。不同类型有机体和生物群落共生,能产生互补和协同效应,显著提升资源利用效率,实现物质的循环利用,从而减少废弃物及污染物排放^[3]。在干旱或病害爆发导致一种作物绝产或一种传粉昆虫种群减少时,其他作物或种群的存在可降低减产甚至绝产的风险,以保证粮食安全^[4]。当耕种的作物遇灾减产时,野生物种亦可提供部分食物。农业野生种质植物可作为重要的后备资源,其生境可为害虫天敌和传粉昆虫提供重要的栖息地和庇护所,进而保障粮食安全和农业可持续发展^[5]。农业生物多样性包括物种多样性、遗传多样性和生态景观多样性等,是维持粮食安全的重要“生物保险”。

黑土地是农田生物的栖息地,其丰富的生物多样性对于维系国家粮食安全和生态安全具有重要作用^[6],是提高农业生态系统可恢复性和抵抗力以及维持农业生产力的重要保障。纵观世界农业的发展历程:第一阶段是单纯为了实现农业粮食生产功能的生产型农业,带来了农田生物多样性丧失、生态破坏和农业环境污染;第二阶段是通过生物农药、有机肥替代、品种选育、提高农药化肥利用率等措施和技术应用的基于效率/替代的农业,也不能更全面地协调农业生产与生态环境保护的矛盾,必须进行生态集约化农田系统的重构;第三阶段是生物多样性农业,主要基于农田生物多样性优化设计、生物镶嵌体等生态景观建设,开展健康农田生态系统的重构,提升农田生态系统服务功能,协同保障国家和区域粮食安全、农产品质量安全和生态安全。这种基于自然和生物多样性的方案目前已被联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)确认为集约化农田实现可持续发展最有前途的解决方案。加强农田生物多样性保护,推进粮食安全、膳食营养及农业绿色发展已成为国内外现代农业发展的迫切需求,是实现农业现代化的重大命题,也是我国黑土地区面临的急迫任务。

1 黑土地区农田生物多样性现状与危机

我国东北黑土地区是世界三大黑土地区之一,东北

典型黑土区耕地面积约2.78亿亩(1亩=1/15 hm²)。其中,内蒙古自治区0.25亿亩,辽宁省0.28亿亩,吉林省0.69亿亩,黑龙江省1.56亿亩^[7]。20世纪初,东北黑土区开始大规模农作种植,为追求作物高产持续进行高度集约化耕作,开发“北大荒”造成森林与草地面积锐减,生物多样性随之急剧下降^[8],黑土区湿生植物物种种群数量减少75.7%,陆栖脊椎动物种群数量下降了70.1%^[9]。1980—2015年,农业用地增幅为25.2%,其中60%的耕地是毁林、毁草产生的^[10],黑土区1 160万hm²的土地被转为耕地^[11],土地利用的变化使湿地栖息地减少,生态系统的连通性和完整性被破坏。大规模高强度开垦导致农田生态系统结构单一,产量增加的同时削弱了黑土区生态系统的水土保持、生物多样性维持功能,造成土壤质量下降、生态功能严重退化,极大影响了区域农业生态可持续发展。2021年12月,我国提出黑土地保护法草案,为了与联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会(CDB COP15)正在讨论的2020年后全球生物多样性框架保持一致,强调必须加强对黑土的保护,并提出了对生物多样性保护的具体要求。2022年6月通过的《中华人民共和国黑土地保护法》第十五条明确规定:“县级以上人民政府应当加强黑土地生态保护和黑土地周边林地、草原、湿地的保护修复,推动荒山荒坡治理,提升自然生态系统涵养水源、保持水土、防风固沙、维护生物多样性等生态功能,维持有利于黑土地保护的生态环境。”然而,我国黑土区农业生物多样性危机持续增加,生态系统失衡,病虫害、鼠害等生物性灾害加剧,严重威胁农田生态系统服务功能,已成为制约区域农业绿色、安全、高质量发展的主要限制因素之一。我国必须用世界上7%的耕地养活近20%的人口,然而土壤环境污染加剧以及城市化扩张导致可耕地面积不断减少,在未来几十年必须将更多的土地转为可耕地,才能确保粮食安全。当务之急是采取相应行动,加强黑土区生态恢复和生物多样性保护。

2 国内外农田生物多样性保护现状

20世纪中后期,世界各国已不再把粮食增产作为农业科技发展的唯一目标,而是越来越重视农业生物多样性保护、资源利用效率的提高和农业多功能性的发挥。发展资源高效、环境友好、生态保育型农业成为当今国际农业发展的潮流和方向^[12]。联合国教科文组织(UNESCO)、国际生物学联盟(IUBS)和国际

地圈-生物圈计划(IGBP)等组织共同参与的生物多样性项目将“生物多样性的编目与分类”“生物多样性的监测”列入5项核心内容之中。欧美发达国家相继开展农田生物多样性编目和监测,并将集约化农田生态强化付诸生态补偿机制的实践,提出可持续集约化发展方式^[13]。欧盟在FP7框架项目和地平线2020框架项目中均设置相关专项,研究农业生物多样性和生态系统服务功能之间的关系,提出农田生态系统重构的概念,研发了基因水平、农田水平、景观水平等不同尺度下生物多样性构建技术。其主要措施包括:①农田内不同品种、不同种类作物轮/间作,充分利用作物遗传多样性和作物物种多样性;②农田边界设置生态保留带,为作物野生近缘种和珍稀濒危植物提供生境,为小动物和昆虫提供栖息地等;③在景观尺度上构建非农斑块,增加景观连通性,为有益昆虫的迁移提供生态廊道,通过这些技术和措施可提高农田生物多样性及农业生态系统的抗性和可持续性,减少农用化学品投入的同时提高农业生态系统服务功能^[14]。

2020年9月,国家主席习近平在第75届联合国大会生物多样性峰会上指出:“生物多样性关系人类福祉,是人类赖以生存和发展的重要基础。”2022年12月19日,COP15第二阶段会议通过了“昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架”,提出到2030年,总体上将过量使用的化肥、农药和剧毒化学品的风险减少至少一半,至少30%的生态系统得到有效恢复^[15]。若要实现反转生物多样性丧失曲线的宏伟目标,农田生态系统必将成为生物多样性保护的重点区域。习近平在《坚持把解决好“三农”问题作为全党工作重中之重,举全党全社会之力推动乡村振兴》一文中强调“农业是个生态产业”,加强生物多样性保护将会极大地推动形成我国国家、区域、县域等层面的农田生物多样性保护解决方案,推动我国农田生物多样性保护深度参与全球生物多样性保护和生态系统修复^[16]。党的二十大报告指出,要加快发展方式绿色转型,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理,统筹产业结构调整、污染治理、生态保护、应对气候变化,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。习近平连续3年在生物多样性保护国际大会上发出中国声音,向国际社会展现了共建地球生命共同体的中国主张,彰显了人与自然和谐共生的中国智慧。

近年来,我国针对农作物种质资源、农田土壤和农业外来入侵有害生物等方面开展了资源调查、监测与评估工作。2021年10月中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于进一步加强生物多样性保护的意見》在总体目标中明确指出:“到2025年,持续推进生物多样性保护优先区域和国家战略区域的本底调查与评估。”第三次全国土壤普查自2022年开始,将全面调查我国土壤资源情况,普查工作计划到2025年完成。因此,中国生物多样性保护与绿色发展基金会工作组呼吁:在即将开展的第三次全国土壤普查中,应将“土壤生物多样性”列入一级普查内容,作为第五方面的内容显著列出。地形地貌的多样性和复杂性决定了农业生物多样性保护和建设任务的复杂繁重。京津冀协同发展、黄河流域、长江流域高质量发展和乡村振兴等一系列重大工程正在逐步重构区域生物多样性格局。应该看到,在农田生物多样性建设方面,全国各地都处于起步阶段,各省普遍缺乏集约化农田生物多样性现状数据,存在底码不清、没有队伍、重视单项技术研究、缺乏集成组装配套等问题,亟需村域、乡域、县域各种规模尺度生物多样性农业建设的技术模式和管理经验。

随着国家粮食安全、农产品质量安全、山水林田湖草沙系统治理和农业强国建设的深入,更迫切需要在集约化农区开展以生物多样性保护为主的生态基础建设,开展农业生物多样性调查,构建农业生物多样性恢复技术体系,建设生态田园,这对于农业绿色高质量发展具有重要理论和实践意义。自2014年起,农业农村部环境保护科研监测所、中国农业大学、江苏农业科学院、浙江大学等科研院所,开展了基于生物多样性保护的农田生态强化关键技术研发、集约化生态农田系统构建,持续进行农田生物多样性现状及动态变化的长期跟踪监测,建立了万亩规模生物多样性农业利用示范区,集成创新了农田内条带轮/间作技术、生态廊道构建技术、非农斑块生态修复等技术模式,为集约化农区生物多样性建设提供了示范样板。国内外实践证明,建设植被缓冲带、生态沟渠和乔灌草斑块等生态基础设施不但没有使粮食产量下降,还因增加农业生物多样性、改善农田生态环境使单位面积粮食产量提升5%~10%,温室气体排放减少15%~25%,综合收益提高10%~12%,实现集约高产、节本增效、低碳环保、环境友好、农民增收^[17-18]。

3 黑土区农田生物多样性保护存在的主要问题

3.1 黑土农区半自然生境面积小、农田生物多样性减少和生态平衡失调已成为制约黑土区农业绿色转型的主要限制因素

农业生态系统不仅要养活快速增加的世界人口,保证充足的营养,还具有保护生物多样性、减缓和适应气候变化、提升生态系统稳定性等重要功能^[19]。我国东北地区具有地域广阔、自然保护地类型多样、生物多样性及自然资源丰富等特征,但高生物多样性区域与黑土农区重叠度低、景观连通性差,导致天敌昆虫和重要授粉昆虫不能在不同生态系统间进行有效迁移,而农田内由于长期、大面积、单一化种植,缺乏有益天敌昆虫的栖息地,土壤质量下降、病虫害频发且逐年加重,已对粮食安全、膳食营养和农业可持续发展构成重大威胁^[20]。如何支撑现代农业发展和农业绿色转型,加强农田生物多样性保护,开展黑土地生态保护和黑土地周边半自然生境的修复,提升农田生态系统在水土保持、控害保益、维护生物多样性等方面的生态功能,是黑土区集约化农业亟待解决的问题。

3.2 黑土区农田生物多样性资源家底不清

截至目前,我国尚未开展对典型黑土地农区生物多样性资源及其损失情况的调查工作,对于我国农业现代化发展历程中农业生物多样性的损失情况仍未进行全面系统的评估,对于农业生物多样性丧失产生的负面生态效应演变特征尚缺乏系统研究。农田生物多样性调查是农田生物多样性保护和利用的前提,开展农田生物多样性调查,建设生态田园,全面推进粮食安全、膳食营养及农业绿色可持续发展已成为国内外现代农业发展的迫切需求,是实现农业现代化、建设农业强国的重大科技基础工程。

3.3 农田生物多样性保护技术体系尚不完整,且缺乏对农田生物多样性及生态服务功能的长期基础研究

2003年,欧盟成员国认可“高自然价值农田”这一概念及其经济和生态可行性,将其作为“农业环境计划”的重要目标对象纳入2013—2020年“共同农业政策”中。2014—2020年,欧盟通过的“共同农业政策”已为保护农田生物多样性投入了660亿欧元,启动以生态补偿为主要手段的农业生态系统提升计划^[21]。美国农业部相继启动了农业生态系统功能评估、农田生态系统功能强化与水质提升项目等,产生

了一批有突破性的研究成果^[22]。当今国际农业发展的方向已转向环境友好、资源利用率高的生物多样农业,然而,当前我国农业生产多还停留在基于效率/替代的农业发展阶段,农业生态系统自身无法协调生产与生态环境保护的矛盾,农田生物多样性保护技术体系尚不完整,没有完善的适合黑土地农田生态系统重构和设计的理论体系,更缺乏对其生物多样性及农田生态系统功能的长期基础研究。

4 黑土区集约化农田生物多样性保护对策

4.1 加强规划引领并加快示范区建设力度

黑土区集约化农田生物多样性保护、低碳绿色农业发展,必须多部门参与、多学科协同、产学研结合,加强规划,分步实施,久久为功。生物多样性保护、低碳绿色农业发展是打造良好生态农产品的基础,必须以国家投入为主体,通过广泛宣传吸收社会力量共同参与建设。充分采纳国内外的农业生物多样性保护和低碳绿色农业建设的成功经验,把集约化生态田园建设的思想、阶段性成果吸纳到高标准农田建设、低碳农业、绿色农业及国家山水林田湖草系统治理等重大工程中。率先在黑龙江省、吉林省、辽宁省以及内蒙古自治区东部等农业主产区建立千亩规模以上的示范区,进行集约化生态田园系统设计与重构,创新集成集约化生态田园系统构建技术体系与技术模式,提出集约化绿色高效生态田园的政策建议以及相关技术标准或规范。

4.2 尽快开展农田生物多样性编目,持续推进农田生物多样性长期监测

尽快开展黑土区农田生物多样性编目和生态系统多功能监测,掌握农田生物多样性资源家底。建设国家黑土区生物多样性农业重点实验室,率先开展农田生物多样性及黑土生态系统长期跟踪监测。到2035年,持续推进黑土区农业生物多样性本底调查与评估,构建黑土区农业生物多样性监测网络,逐步完善黑土地保护和粮食高产高效的农业生物多样性保护政策、法规、制度、标准和监测体系,全面实施集约化农业主产区作物休耕、条带化轮/间作、非农斑块、生态廊道等农业生态基础建设。在不同区域建设生物多样性与生态农业野外科学试验站,并针对农田生物多样性现状及动态变化趋势进行长期监测,把集约化农田生物多样性保护、生态田园建设阶段性成果吸纳到高标准农田建设实践中。

4.3 加强农田生态系统功能长期基础研究,构建农田生物多样性保护技术体系

充分吸收国内外成熟经验,开展包括农田生物多样性与生态系统功能、农田生物多样性利用与半自然栖息地构建关键技术、集约化生态田园系统构建理论和技术研究,加快制定农业生物多样性保护、绿色低碳高质量农业技术标准或规范。黑土区集约化生态田园系统重构是保护生物多样性、发展绿色低碳高质量农业的核心,应充分吸收和借鉴国内外生态田园建设模式和经验,尽快启动集约化生态田园示范区建设行动,重点保护栽培作物及其野生近缘种、濒危野生动植物、天敌昆虫、授粉昆虫、关键鸟类和野生动物及其栖息地,全面建立可持续利用和保护机制,构建黑土区农田生物多样性保护技术体系,制定区域生态田园负面清单和技术规范,提出集约化生态农田评价技术方法和生态系统管理的政策建议。

4.4 加强宣传和舆论引导,加快完善生态补偿机制构建

利用各种渠道和媒体,以乡村振兴为契机,做好黑土区农业生物多样性保护和生态田园的宣传、动员和科普工作,大力推进生态农田建设力度,创新公众参与农田生物多样性保护和绿色低碳农业模式,积极营造全社会关注粮食安全、农产品质量安全、绿色低碳及山水林田湖草沙生态文明建设的良好风气。建立黑土区高产农田、固碳减排、生物多样性保护、病虫害控制、土壤肥力提升等“多生态功能共享”的土地利用理念,通过加强对农民的生态补偿,激励农业生产兼顾生物多样性保护和低碳绿色发展。同时将生物多样性保护和生态田园建设全面纳入到生态保护政策的考核指标中,依据保护价值、保护行为和保护成效设置梯级差异化生态补偿机制。建立农业生物多样性和低碳绿色农业监测与评估的专业机构和队伍,保障资金和时间投入。总之,农业生物多样性保护应成为全社会公民自觉行动,努力形成生物多样性保护推动黑土地保护和农业绿色发展的良好局面,服务乡村振兴和农业强国建设。

参考文献:

- [1] REED M S, HUBACEK K, BONN A, et al. Anticipating and managing future trade-offs and complementarities between ecosystem services[J]. *Ecology and Society*, 2013, 18(1):5.
- [2] 联合国粮农组织. 世界粮食和农业生物多样性状况[R]. 罗马:联合国粮农组织, 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). State of world food and agricultural biodiversity[R]. Rome:FAO, 2019.
- [3] RAUWW M, GOMEZ-RAYA L, STAR L, et al. Sustainable development in circular agriculture: an illustrative bee-legume-poultry example[J]. *Sustainable Development*, 2023, 31(2):639-648.
- [4] 李海东, 吴新卫, 肖治术. 种间互作网络的结构、生态系统功能及稳定性机制研究[J]. 植物生态学报, 2021, 45(10):1049-1063. LI H D, WU X W, XIAO Z S. Assembly, ecosystem functions, and stability in species interaction networks[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2021, 45(10):1049-1063.
- [5] 吴学峰, 高亦珂, 谢哲城, 等. 昆虫野花带在农业景观中的应用[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10):1481-1491. WU X F, GAO Y K, XIE Z C, et al. Application of wildflower strips for agricultural landscaping[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(10):1481-1491.
- [6] 蒋明康, 周泽江, 贺苏宁. 中国湿地生物多样性的保护和持续利用[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1998(2):84-89. JIANG M K, ZHOU Z J, HE S N. Protection and sustainable utilization of wetland biodiversity in China[J]. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 1998(2):84-89.
- [7] 曹克晶, 郭兴宇. 黑土地保护与国家实施粮食安全战略关系分析[J]. 黑龙江粮食, 2023(2):31-33. CAO K J, GUO X Y. Analysis of the relationship between black land protection and national implementation of food security strategy[J]. *Heilongjiang Grain*, 2023(2):31-33.
- [8] 党昱譞, 姚东恒, 孔祥斌. 碳中和目标下东北黑土区耕地生态保护补偿机制探讨[J]. 中国土地, 2021(7):15-18. DANG Y X, YAO D H, KONG X B. Discussion on the compensation mechanism for ecological protection of arable land in the black soil area of northeast China under the goal of carbon neutrality[J]. *China Land*, 2021(7):15-18.
- [9] 刘云慧, 宇振荣, 罗明. 国土整治生态修复中的农业景观生物多样性保护策略[J]. 地学前缘, 2021, 28(4):48-54. LIU Y H, YU Z R, LUO M. Strategies for biodiversity conservation in agricultural landscape during land rehabilitation and ecological restoration[J]. *Earth Science Frontiers*, 2021, 28(4):48-54.
- [10] 万华伟, 夏霖, 侯鹏, 等. 近40年东北地区陆栖脊椎动物种群数量及其生境变化评估[J]. 生态学报, 2018, 38(16):5649-5658. WAN H W, XIA L, HOU P, et al. Assessment of the changes in the number of terrestrial vertebrates and habitat in northeast China over the last 40 years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(16):5649-5658.
- [11] HOU D Y. China: protect black soil for biodiversity[J]. *Nature*, 2022, 604(7904):40.
- [12] MICHEL D, OLIVIER T, GUILLAUME M, et al. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35:1259-1281.
- [13] 魏雪, 胡满方, 徐志宇, 等. 欧盟的农田生物多样性保护政策及启示[J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(12):40-47. WEI X, HU X F, XU Z Y, et al. Policies and implications of farmland biodiversity conservation in the European Union[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2022, 35(12):40-47.
- [14] HERZOG F, FRANKLIN J. State-of-the-art practices in farmland biodiversity monitoring for North America and Europe[J]. *Ambio*,

- 2016, 45(8):857-871.
- [15] Convention on Biological Diversity. Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity[EB/OL]. (2022-12-19)[2023-10-07]. <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-15>.
- [16] 习近平. 坚持把解决好“三农”问题作为全党工作重中之重 举全党全社会之力推动乡村振兴[EB/OL]. (2022-03-31)[2023-10-07]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-03/31/content_5682705.htm?eqid=ee73bc270009251400000006645b62f0. XI J P. Insist to solving issues related to agriculture, rural areas and farmers is the top priority for the Communist Party of China (CPC), and promote rural revitalization through the efforts of the entire party and society[EB/OL]. (2022-03-31)[2023-10-07]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-03/31/content_5682705.htm?eqid=ee73bc270009251400000006645b62f0.
- [17] MARTIN E A, DAINESE M, CLOUGH Y, et al. The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe[J]. *Ecology Letters*, 2019, 22(7): 1083-1094.
- [18] EKROOS J, OLSSON O, RUNDLÖF M, et al. Optimizing agri-environment schemes for biodiversity, ecosystem services or both?[J]. *Biological Conservation*, 2014, 172:64-71.
- [19] CAPPER J L. The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007[J]. *Journal of Animal Science*, 2011, 89(12):4249-4261.
- [20] 梁爱珍, 李禄军, 祝惠. 科技创新推进黑土地保护与利用, 齐力维护国家粮食安全:用好养好黑土地的对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(5):557-564. LIANG A Z, LI L J, ZHU H. Protection and utilization of black land and making concerted and unremitting. Efforts for safeguarding food security promoted by sci-tech innovation: countermeasures in conservation and rational utilization of black land[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(5): 557-564.
- [21] 李登旺, 宋晨超. 欧美农业支持政策转型的经验与启示[J]. 中国发展观察, 2021(12):56-59. LI D W, SONG C C. Experience and inspiration from the transformation of agricultural support policies in Europe and America[J]. *China Development Observation*, 2021(12): 56-59.
- [22] DELONGE M S, MILES A, CARLISLE, L. Investing in the transition to sustainable agriculture[J]. *Environmental Science & Policy*, 2016, 55(1):266-273.