

· 城市生态保护 ·

三江平原土地利用变化、效应与驱动力

杨春霞^{1,2}, 郑 华^{1,2}, 欧阳志云^{1,2}

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;
2. 中国科学院大学, 资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 文章综述了近 60 余年来三江平原土地利用变化经历的农业开发期、农业开发与湿地保护并行期和湿地保护期 3 个阶段。分析表明由于土地利用变化导致耕地面积大幅增加、湿地面积严重萎缩, 进而引起三江平原湿地退化、生态系统服务下降、生物多样性丧失、水环境恶化和土壤质量下降等一系列生态环境问题。政策和人口是土地利用变化的主要驱动因素。在此基础上提出区域可持续发展建议, 为三江平原及其他农业区协调保护与发展的关系提供借鉴。

关键词: 三江平原; 土地利用变化; 效应; 驱动力

中图分类号: X171.4

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.05.017

Changes, Effect and Driving Forces of Land Use in Sanjiang Plain

YANG Chunxia^{1,2}, ZHENG Hua^{1,2}, OUYANG Zhiyun^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper systematically reviewed three periods of the land use change in the Sanjiang Plain in recent 60 years, agricultural exploitation period, period of agricultural exploitation and wetland protection in parallel, wetland protection period. The analysis showed that the farmland area increased and the wetland area decreased because of the land use change, thus resulting in the wetland degradation, ecosystem service function reduction, biodiversity loss, water environment deterioration and soil quality decreasing. National policy and population were two key driving forces of the land use change. Based on the review, some regional sustainable development suggestions were proposed, aiming to provide a reference for achieving the balance between protection and development for the Sanjiang Plain and other agricultural regions.

Keywords: Sanjiang Plain; Land Use Change; Effect; Driving Force

CLC number: X171.4

土地利用是人类对土地自然属性的利用方式和状况, 即人类根据土地自然特点, 按照一定的经济与社会目的, 采取生物、技术等手段, 对土地长期性和周期性的经营管理与治理活动^[1]。“土地利用/覆被变化(LUCC)”是全球变化的重要组成部分和主要原因之一, 是全球变化和可持续发展研究的核心内容^[2-3], 对维持自然生态系统服务功能和自然资源的可持续利用起决定性作用, 被认为是生态系统及其服务变化的最重要驱动力^[4-5]。因此, 深入探讨土地利用变化及其生态环境效应, 对于土地利

用管理及生态环境保护具有重要意义。

土地利用变化的驱动力非常复杂, 主要受自然因子和人文因子的影响, 在长序列的时间维度内, 自然因子主导了土地使用的空间格局^[6-7], 而短期内, 在没有人为因素作用下, 地质、地貌和土壤等自然因子变化缓慢, 相对比较稳定, 对土地利用的影响相对有限^[8-9]。人为因素是区域土地使用变化的主要驱动因素, 也是目前全球 LUCC 的主要驱动力^[10], 社会经济、制度和技术因素都是通过影响人们在土地利用上的决策从而对土地利用变化产生

收稿日期: 2020-02-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0503400)

作者简介: 杨春霞(1986-), 女, 博士研究生。研究方向: 土地利用变化。E-mail: 7898091@qq.com

通信作者: 郑 华(1974-), 男, 博士、研究员。研究方向: 生态系统过程与服务。E-mail: zhenghua@rcees.ac.cn

引用格式: 杨春霞, 郑 华, 欧阳志云. 三江平原土地利用变化、效应与驱动力[J]. 环境保护科学, 2020, 46(5): 99-104.

影响^[6]。明晰土地利用变化的主要驱动因素,是制定相关土地利用政策、促进土地可持续利用的重要基础^[10]。

中国东北三江平原是对全球变化最为敏感的区域之一^[11],它位于黑龙江省东北部,为黑龙江、松花江和乌苏里江汇流冲积形成的低平原,是中国最大的以沼泽为主的湿地分布区,在全球温带湿地生态系统中具有相当的典型性和代表性^[11-12]。三江平原土地总面积 $10.89 \times 10^4 \text{ km}^2$,占黑龙江省土地总面积的 22.6%^[11,13-14]。三江平原经济产值以农业经济为主,并且农业以种植业和牧业为主,黑龙江省超过 65% 的粮食产量来自三江平原,尤其是其水稻的生产已经成为黑龙江省水稻生产的主要支撑^[15]。

作为我国重要的湿地集中分布区和商品粮生产基地,近 60 余年来,三江平原土地利用变化剧烈,保护和开发矛盾突出,成为土地利用变化研究的热点区域。本文系统综述了自 1949 年以来三江平原土地利用变化过程、效应和驱动力,旨在为三江平原土地利用管理、湿地保护和农业可持续发展政策制定、科学管理提供依据。

1 三江平原土地利用变化

三江平原素有“北大荒”之称,由于地处偏远,森林茂密,沼泽难行,在 19 世纪以前,人烟稀少,1893 a,耕地面积仅有 2.9 万 hm^2 ,约占区域总面积的 0.3%。三江平原大规模土地开发始于 20 世纪,到 1949 a,耕地面积增加为 78.6 万 hm^2 ,约占区域总面积 7.2%,且集中在西南部,平原内部仍以沼泽和沼泽化湿地为主要景观类型,面积占全区总面积的 49.1%^[14,16]。

1.1 土地利用变化阶段

1949 a 之后,随着国家对粮食生产需求的增加和人口数量的迅速增长,三江平原农业开发进入迅速发展阶段^[17]。根据土地利用变化的主导政策因素,建国后至今三江平原的土地利用变化可分为 3 个阶段:农业开发期、农业开发和湿地保护并行期、湿地保护期。

1.1.1 农业开发期(20 世纪 50 年代到 80 年代末) 这期间,大规模高强度的农业开发,使得三江平原耕地面积以平均每年 8.8 万 hm^2 的速度增加,而湿地则以年均 6.7 万 hm^2 的速度减少。1954 ~ 1986 a 间,三江平原耕地面积增加了 281 万 hm^2 ,耕

地占比由 15.7% 增加到 41.6%,成为该区域主要景观类型;而湿地面积严重萎缩,30 年间减少了 214 万 hm^2 ,湿地占比由 32.3% 减少到 12.8%;林地和草地面积也分别以年均 1.2 和 0.8 万 hm^2 的速度建少^[18]。

1.1.2 农业开发与湿地保护并行期(20 世纪 90 年代到 21 世纪初) 由于三江平原的农业开发主要是开垦天然的草甸湿地、沼泽化草甸湿地和沼泽湿地^[19],而具有“地球之肾”之称的湿地既是多种濒危动植物尤其是鸟类的重要栖息地,又具有水源涵养等多种重要的生态系统服务功能^[20-21]。为加强湿地保护,1992 年,我国加入了《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》,并编制了《全国湿地保护工程规划(2002—2030 年)》,将三江平原湿地列为首批重点保护和恢复工程^[20]。

该时段因不同研究所采用的数据来源、土地利用分类体系不同,不同研究揭示的土地利用变化差异较大^[13,18,21-23]。但基于同一研究的比较,该时期三江平原的耕地增加速率低于农业开发期,湿地减少速率下降明显,特别是 2000 年之前,湿地减少速率降至年均 1 ~ 3 万 hm^2 ^[13,18],退耕还湿等湿地保护政策在一定程度上减缓了湿地垦殖速率^[11,24]。该时期土地利用变化的另一个特点是耕地面积增加导致林地面积减少速率增加,尤其是临近道路两侧、居民地以及耕地附近的疏林地和灌木林被大量开垦为耕地^[13,18]。

1.1.3 湿地保护期(21 世纪初到现在) 21 世纪以来,鉴于我国湿地保护面临的严峻挑战,国家建立了湿地管理机构,采取了诸如湿地蓄水工程、湿地补水工程、湿地植被恢复工程等措施保护和恢复湿地。截至 2015 a 底,三江平原已建有各级湿地自然保护区近 40 个^[20],极大加强了湿地保护,使得三江平原 2000 ~ 2015 a 耕地增加速率和湿地减少速率均大幅降低至年均约 1 万余 hm^2 ,且林地面积略有增加^[20-21]。各阶段土地利用变化情况见图 1。

1.2 土地利用变化特点

60 余年的人类活动干扰,使得三江平原土地利用发生了显著变化。

1.2.1 耕地面积大幅增加,湿地面积严重萎缩

三江平原耕地面积比例由 1954 a 的 15.7% 增加到 2015 a 的 56.5%,耕地成为占绝对优势的景观类

型,而沼泽湿地面积比例从 1954 a 的 32.3% 减少到仅为 6.3%,且主要转化为耕地;林地成为第二大土

地利用类型,2015 a 林地占比 30.9%;人工表面面积增加了 5 倍多^[18,20],见图 2。

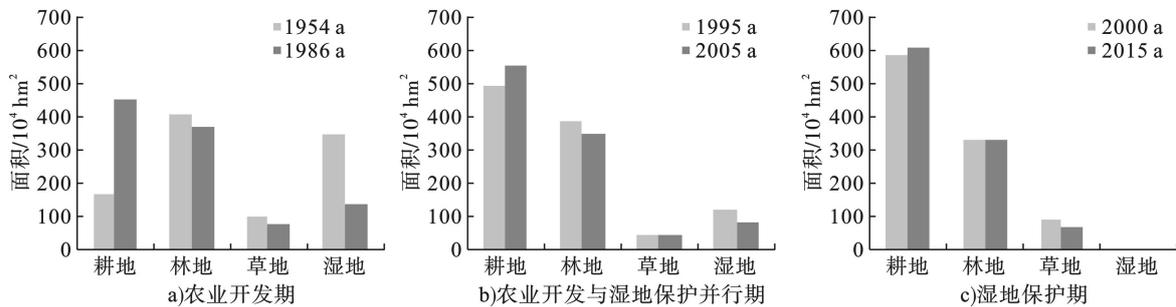


图 1 三江平原土地利用变化

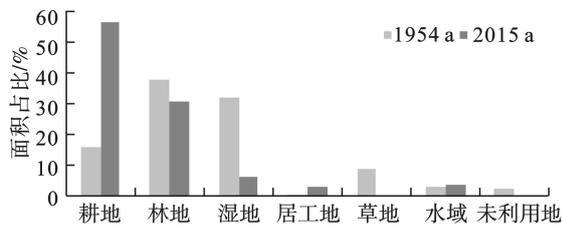


图 2 1954 ~ 2015 a 三江平原各土地利用类型面积占比变化

1.2.2 三江平原耕地内部格局变化剧烈 自 20 世纪 90 年代以来,三江平原大面积实施“旱改水”工程,水田和旱地转换剧烈^[25]。特别是 2000 a 以后,三江平原水旱比由 1996 a 的约 1 : 7 增加到 2005 a 的 1 : 3,且后期持续增长^[26-27]。

1.2.3 湿地垦殖的空间分布特征在不同时期存在明显差异 沼泽湿地首先在人口密集、距离城市与大的居民点较近、地貌和土壤条件相对优良、适宜开发的地区被开垦为农田;改革开放之后,随着机械化程度的提高与交通条件的便利,使许多之前不便开发的宜农荒地和重度沼泽地得到了进一步开垦^[11,28]。而农田扩张以新建居民点为中心成辐射状扩张,沿着公路、沟渠和河流成线性扩张,在灌溉地区呈平面扩张^[29]。此外,距保护区越近,沼泽湿地面积丧失越多,湿地逐渐向河流沿岸和保护区萎缩^[30]。三江平原沼泽湿地丧失受农业开发、居民点分布和湿地保护区建设等多种因素影响。

2 三江平原土地利用变化效应

三江平原的土地利用变化是在毁林开荒、湿地排水疏干的基础上发展起来的,农业开发带来了三江平原湿地功能退化、生态系统服务下降、生物多样性丧失、水环境恶化、土壤质量下降等一系列生态环境问题^[12,29]。

2.1 湿地严重退化

三江平原曾是我国最大的天然沼泽湿地集中分布区,由于农业开发,导致湿地面积剧烈减少,景观破碎化严重,湿地功能退化。首先,1954 ~ 2015 a 间,沼泽湿地面积减少了约 80%^[31-33]。其次,湿地生态系统质量也有所下降,即使在湿地保护期,湿地植被覆盖度在 2000 ~ 2015 a 间由 91.8% 减小至 74.0%^[20];再次,沼泽湿地的空间聚集性逐渐降低,且空间格局由集中连片分布转变为零星散布,景观破碎化严重^[30]。此外,农业开发修建的大量堤防和排水干渠工程,极大地改变了湿地水文条件,扰乱了湿地生态系统的自然演化,导致湿地碳、氮、磷的生物地球化学过程发生了极大的改变^[20,34]。

2.2 生态系统服务下降

大规模的湿地垦殖导致以粮食产品提供为代表的生态系统产品供给服务增加,却以牺牲生态系统调节和文化服务为代价^[23,35-36]。三江平原耕地增加、湿地减少虽然增加了农产品提供价值,但损害了沼泽湿地调蓄洪水、抵御干旱^[14,37]、固碳^[33]、净初级生产力^[38]等生态系统调节服务。研究发现,1954 ~ 2015 a,湿地面积的丧失导致 574.6 亿美元的生态系统服务价值损失^[39]。但实施湿地保护工程以来,三江平原湿地植被净初级生产力在 2000 ~ 2015 a 有所增加^[20]。

2.3 生物多样性丧失

三江平原湿地生物多样性丰富,栖息着众多野生动植物物种。大面积开荒使沼泽湿地面积减少、景观破碎化严重^[37],导致生物多样性丧失严重^[40]。三江平原是我国多种濒危水禽如丹顶鹤、东方白鹳的栖息地,曾经繁殖的丹顶鹤有数千只,到 1995 a 仅余 60 余只丹顶鹤。但随着湿地保护政策的实施和自然保护区的建立,近几年丹顶鹤、东方白鹳等

数量均逐渐上升,到 2008 a 已有研究观察到 300 余只丹顶鹤^[16,41-43]。

2.4 水环境恶化

三江平原大规模的农业开发伴随着化肥、农药的使用,使得地表水污染加重,水稻种植导致地下水位下降^[14,33]。三江平原排水沟渠形成的错综复杂的廊道网络系统,成为氮、磷等污染物从农田向河流传输的通道,排水沟渠水质较长时间处于 V 类水^[44-46]。由于水稻种植,三江平原的地下水损耗明显,且大部分地区地下水污染严重,仅 1994~2009 a 期间,同江县的地下水位下降了 5 m,污染最高地区 NO₃ 的含量已达 560 mg/L^[33,47]。

2.5 农田土壤退化

随着湿地垦殖及开垦时间的增加,三江平原农田土壤理化性质变差,肥力下降,土壤侵蚀加剧,水土流失加重。三江平原的土地利用方式显著影响土壤的理化性质,大面积开荒及长期的农业活动,导致土壤容重和比重显著增加,而孔隙度、田间持水量和水稳性团聚体含量却在不断变小^[14,48]。随着垦殖年限的增加,三江平原土壤各层有机碳、总氮含量呈指数下降^[49],研究发现开垦 7 年后土壤有机质、全氮和有效氮含量均下降 50% 以上^[48]。

3 三江平原土地利用变化驱动力

土地利用/覆被变化反映了人类与自然的相互影响,关系其变化的影响因素和驱动机制是土地利用/覆被变化研究的关键问题^[11]。三江平原的土地利用变化主要受国家政策、人口数量、气候变化等驱动,在土地利用变化的不同阶段,起主要作用的驱动因素也不一样,但总体而言,其中,政策、人口等人类活动相关的因素起着关键作用^[13,31]。

3.1 政策因素

三江平原土地利用变化在不同阶段均受到国家宏观政策的驱动^[50]。在农业开发期,粮食需求大幅增加,国家采取各种措施支持和鼓励开发北大荒^[13,18]。20 世纪 50 年代,大批当地和外地农民赶赴三江平原开垦新荒,数万部队官兵就地转业组建大批国营农场;20 世纪 70 年代,知识青年上山下乡运动促使数十万知识青年相继迁入三江平原^[16,18];改革开放初期,垦区农业现代化试点使得农业机械的大规模使用,增加了垦殖速度,并使得原来不宜开垦的湿地进一步开垦^[32]。国家有计划的农垦移民,掀起了农业开发的高潮,三江平原大规模的土

地开发利用均以开垦沼泽湿地为主,同时伴随着森林砍伐和水利工程建设^[30]。

随着 1992 a 我国加入《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》及《全国湿地保护工程规划(2002—2030 年)》的编制印发,三江平原成为国家高度重视的湿地保护区域之一,兴建了大量湿地自然保护区,并实施退耕还林、还湿政策^[13,24],三江平原的湿地垦殖也在一定程度上得到了遏制。但是 2000 a 之后,由于粮食价格上涨,国家为实现增产增收任务^[51],出台了一系列农业扶持政策,如实施粮食补贴、减免农业税、粮食最低收购价保护等,使得农民种粮积极性大幅提高,不仅撂荒耕地恢复生产,而且三江平原湿地再次被大规模开发^[11,19,28,52]。由于政策制度之间的互相冲突以及管理规划的不合理性,湿地资源在农业开发的直接经济利益面前往往居于次要位置^[51],从而形成了一个农业开发和湿地保护并行期。

为尽快扭转自然湿地面积减少、生态功能退化的局面,2004 a 国务院办公厅发出了《关于加强湿地保护管理的通知》,提出对自然湿地进行抢救性保护。国家林业局先后制定了《全国湿地保护工程实施规划(2005—2010)》以及《全国湿地保护工程实施规划(2011—2015)》,将三江平原湿地列为首批重点保护和恢复工程^[20-21]。在湿地保护高压政策下,当地政府积极推行“以稻治涝、以稻致富”、农业种植结构调整政策,积极推动水稻种植,而由于水稻的收益较高,农民选择实施旱改水,而不是通过湿地垦殖增加耕地资源^[25,33],因此,湿地保护期的耕地面积增加速率和湿地垦殖速率均迅速下降。

3.2 人口增长

三江平原的土地利用变化和人类活动高度相关,人口增长是三江平原土地利用变化的重要驱动力,尤其是在农业开发期以及农业开发与湿地保护并行期^[19,24,28]。三江平原的农业开发始于国家有计划的农垦移民,20 世纪 50 年代,三江平原仅有人口 140 万左右,而到 2005 a 增至 873 万,人口增长了 5.24 倍,远超同期黑龙江省的人口增长^[18,24]。研究发现^[18,33],在土地利用变化的前两个阶段,三江平原的耕地面积和农业人口数量均持续增加,且之间存在很强的相关性,但在农业开发和湿地保护并行期,国营农场的人口数量和耕地面积基本保持稳定。进入湿地保护期,随着可开垦荒地资源的减少,耕地面积和人口数量之间的这种相关关系大大削弱^[28]。

3.3 气候变化

农业生态系统对气候变化高度敏感,全球范围内气温的升高促进了粮食作物产量的提高,刺激耕地扩张^[32]。气候变化尤其是气温和降水量变化是造成三江平原沼泽湿地减少的主要自然原因之一,研究发现三江平原湿地的变化与气温变化呈负相关,与降水、湿度变化呈正相关,湿地消长与气候要素中的降水因子相关关系最大^[50,53]。三江平原区域气候环境变化剧烈,超过全球气候变化速度^[53],1954~1964 a,三江平原的平均气温为3.00℃,而到2004~2014 a,平均气温增加为3.78℃,三江平原的气温逐渐升高,气候变暖带来的积温增加及气候带移动刺激湿地、草地和林地面积向耕地转化,并使得东北地区水田界限北移,促使旱地向水田转化^[13,54-55]。

4 三江平原可持续发展对策及建议

作为我国重要的淡水湿地集中分布区和商品粮生产基地,三江平原农业及生态环境的可持续发展,对于保障区域生态安全和国家粮食安全具有举足轻重的地位^[11]。对于三江平原的湿地保护和农业开发,提出建议如下。

1) 进一步加强湿地保护,划定湿地保护红线,减少农业开发对湿地的影响。国家政策特别是农业开发政策是导致三江平原土地利用变化的主导因素,而湿地保护政策及相关工程措施对湿地生态系统的保护和恢复起到了一定的作用,因此未来应采取划定湿地保护红线,新建自然保护区等措施保护天然湿地,并加强对现有湿地自然保护区的管理。

2) 推进土地整理,建设高标准农田,提高现有耕地利用的集约化水平。建国以来,国家粮食增产以及农民增收的需求共同推动了三江平原大规模农业开发,但目前我国粮食供求总量基本平衡^[56],从保障国家粮食安全的角度,继续通过湿地垦殖增加耕地数量已没有必要,应重点推进土地整治和高标准农田建设,稳步提升耕地质量。而对于一些低质量耕地,如坡耕地等,可实施退耕还湿,以保护和恢复湿地。

3) 适度提升湿地的社会效益和经济效益,实现生态效益和社会经济效益的统一。三江平原的湿地垦殖,究其根本是湿地垦殖能够增加农民收入,实现经济效益。湿地不仅是一种生态资源,其所承

载的经济功能不能完全忽略。可通过建立生态补偿机制,对湿地资源权利人进行多渠道、多形式生态补偿^[40]。

参考文献

- [1] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [2] MEYFROIDT P, LAMBIN E F, ERB K, et al. Globalization of land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use[J]. *Current Opinion in Environment Sustainability*, 2013, 5(5): 438-444.
- [3] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云. 20世纪中国土地利用变化研究[J]. *地理学报*, 2000, 55(6): 698-706.
- [4] TURNER BL II, SKOLE D, SANDERSON S, et al. Land-use and land-cover change science/research plan[R]. International Geosphere-Biosphere Program, IGBP Report No. 35/HDP report No.7, Stockholm, 1995.
- [5] LAMBIN E F, BAULIES X, BOCKSTAEL N, et al. Land-use and land-cover change (LUCC): implementation strategy[R]. IGBP Report 48 and IHDP Report 10 Stockholm, Sweden and Bonn, Germany, 1999: 125-126.
- [6] 杨梅, 张广录, 侯永平. 区域土地利用变化驱动力研究进展与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(1): 95-100.
- [7] SERRA P, PONS X, SAURI D. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors[J]. *Applied Geography*, 2008, 28(3): 189-209.
- [8] 胡悦琴, 马燕飞, 张伟科. 中国陆地区土地利用/覆被时空格局变化及驱动力分析[J]. *农学报*, 2020, 10(4): 26-35.
- [9] 李旭亮, 杨礼箫, 田伟, 等. 中国北方农牧交错带土地利用/覆被变化研究综述[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 3487-3495.
- [10] 黄宝荣, 张慧智, 宋敦江, 等. 2000—2010年中国大陆地区建设用地扩张的驱动力分析[J]. *生态学报*, 2017, 37(12): 4149-4158.
- [11] 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 等. 1954—2005年三江平原沼泽湿地农田化过程研究[J]. *湿地科学*, 2009, 7(3): 208-217.
- [12] 常守志, 王宗明, 宋开山, 等. 1954—2005年三江平原生态系统服务价值损失评估[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2011, 27(2): 240-247.
- [13] 刘吉平, 赵丹丹, 田学智, 等. 1954—2010年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3234-3244.
- [14] 刘兴土, 马学慧. 三江平原大面积开荒对自然环境及区域生态环境保护[J]. *地理科学*, 2000, 20(1): 14-19.
- [15] 周立青. 三江平原耕地资源变化及其对粮食生产的影响[D]. 长春: 东北地理与农业生态研究所, 2015.
- [16] 衣保中. 近百年来三江平原土地开发与区域生态环境的可持续发展[J]. *社会科学战线*, 2014(8): 109-114.
- [17] HAO F H, Lai X H, OUYANG W, et al. Effects of land use changes on the ecosystem service values of a reclamation farm in northeast China[J]. *Environmental Management*, 2012, 50(5): 888-899.

- [18] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. *地理学报*, 2008, 63(1): 93 - 104.
- [19] 魏强, 杨丽花, 刘永, 等. 三江平原湿地面积减少的驱动因素分析[J]. *湿地科学*, 2014, 12(6): 766 - 771.
- [20] 何兴元, 贾明明, 王宗明, 等. 基于遥感的三江平原湿地保护工程成效初步评估[J]. *中国科学院院刊*, 2017, 32(1): 3 - 10.
- [21] 相恒星. 三江平原湿地保护生态成效遥感评估[D]. 延吉: 延边大学, 2018.
- [22] 王宗明, 国志兴, 宋开山, 等. 2000—2005 年三江平原土地利用/覆被变化对植被净初级生产力的影响研究[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 136 - 146.
- [23] WANG Z M, ZHANG B, ZHANG S Q, et al. Changes of land use and of ecosystem service values in Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 112(1): 69 - 91.
- [24] 刘殿伟. 过去 50 年三江平原土地利用/覆被变化的时空特征与环境效应[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [25] 张文琦, 宋戈. 三江平原典型区水田时空变化及驱动因素分析[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(6): 244 - 252.
- [26] 吴文嘉, 夏天, 胡琼. 1980—2015 年黑龙江水田旱地转换格局及其水资源效应[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(1): 142 - 151.
- [27] 黄妮, 刘殿伟, 王宗明. 1986 年-2005 年三江平原水田与旱地的转化特征[J]. *资源科学*, 2009, 31(2): 324 - 329.
- [28] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 三江平原过去 50 年耕地动态变化及其驱动力分析[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(4): 75 - 81.
- [29] XU Y M, LI Y, OUYANG W, et al. The impact of long-term agricultural development on the wetlands landscape pattern in Sanjiang Plain[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 1922 - 1932.
- [30] 刘吉平, 杜保佳, 盛连喜, 等. 三江平原沼泽湿地格局变化及影响因素分析[J]. *水科学进展*, 2017, 28(1): 22 - 31.
- [31] YAN F Q, ZHANG S W, LIU X T, et al. Monitoring spatiotemporal changes of marshes in the Sanjiang Plain, China[J]. *Ecological Engineering*, 2017, 104: 184 - 194.
- [32] LIU X H, DONG G H, WANG X G, et al. Characterizing the spatial pattern of marshlands in the Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 53: 335 - 342.
- [33] SONG K S, WANG Z M, DU J, et al. Wetland degradation: Its driving forces and environmental impacts in the Sanjiang Plain, China[J]. *Environmental Management*, 2014, 54(2): 255 - 271.
- [34] YANG J S, LIU J S, HU X J, et al. Changes of soil organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations under different land uses in marshes of Sanjiang Plain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(6): 332 - 337.
- [35] 薛振山, 姜明, 吕宪国, 等. 农业开发对生态系统服务价值的影响—以三江平原浓江-别拉洪河中下游区域为例[J]. *湿地科学*, 2012, 10(1): 40 - 45.
- [36] LIU X H, JIANG M, DONG G H, et al. Ecosystem service comparison before and after marshland conversion to paddy field in the Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Wetlands*, 2017, 37(3): 593 - 600.
- [37] 侯伟, 匡文慧, 张树文, 等. 近 50 年来三江平原北部土地利用/土地覆被变化及生态效应分析[J]. *生态环境*, 2006, 15(4): 752 - 756.
- [38] 孙志高, 刘景双, 秦泗刚, 等. 三江平原湿地农业开发的生态环境问题与区域可持续发展[J]. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(4): 55 - 60.
- [39] YAN F Q, ZHANG S W. Ecosystem service decline in response to wetland loss in the Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Ecological Engineering*, 2019, 130: 117 - 121.
- [40] 颜华. 关于建立湿地生态补偿机制的思考——以黑龙江三江平原湿地为例[J]. *农业现代化研究*, 2006, 27(5): 383 - 385.
- [41] 路琴, 姜波. 三江平原农业开发建设中的环境保护问题探讨[J]. *环境科学与管理*, 2005, 30(3): 13 - 14.
- [42] 程岭, 冯尚柱, 李占营. 黑龙江省三江平原鹤类资源现状及保护[J]. *国土与自然资源研究*, 2004(4): 91 - 92.
- [43] Jiang H X, Qian F W, Liu C Y, et al. Impact of marsh changes on breeding cranes in Sanjiang Plain, northeastern China[J]. *Chinese Birds*, 2012, 3(3): 165 - 179.
- [44] 阎百兴, 欧洋, 祝惠. 东北黑土区农业面源污染特征及防治对策[J]. *环境与可持续发展*, 2019, 44(2): 31 - 34.
- [45] 陆琦, 马克明, 卢涛, 等. 三江平原农田渠系中氮素的时空变化[J]. *环境科学*, 2007, 28(7): 1560 - 1566.
- [46] 赵光影, 刘景双, 王洋, 等. 三江平原主要河流氮、磷营养元素时空变化规律研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(2): 144 - 149.
- [47] 杜绍敏, 孙晓明, 王颖. 黑龙江省三江平原水环境变化原因及分析[J]. *黑龙江大学学报*, 2008, 35(4): 89 - 93.
- [48] 张金波, 宋长春. 三江平原不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. *土壤通报*, 2004, 35(3): 371 - 373.
- [49] WANG Y, LIU J S, WANG J D, et al. Effects of wetland reclamation on soil nutrient losses and reserves in Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(3): 512 - 520.
- [50] 邱学林. 三江平原湿地退化驱动因素分析与生态保护和恢复的对策[J]. *黑龙江水利科技*, 2010, 38(1): 160 - 161.
- [51] 魏强. 三江平原湿地生态系统服务与社会福祉关系研究[D]. 长春: 东北地理与农业生态研究所, 2015.
- [52] 张慧琴, 马凤才. 黑龙江省粮食生产的波动性分析及评价[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2013, 25(3): 97 - 101.
- [53] 张树清, 张柏, 汪爱华. 三江平原湿地消长与区域气候变化关系研究[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(6): 836 - 841.
- [54] SUN W, HUANG Y. Global warming over the period 1961—2008 did not increase high-temperature stress but did reduce low-temperature stress in irrigated rice across China[J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2011, 151(9): 1193 - 1201.
- [55] CHEN C Q, QIAN C R, DENG A X, et al. Progressive and active adaptations of cropping system to climate change in Northeast China[J]. *European Journal of Agronomy*, 2012, 38(1): 94 - 103.
- [56] 陈玉洁, 张平宇, 刘世薇, 等. 东北西部粮食生产时空格局变化及优化布局研究[J]. *地理科学*, 2016, 36(9): 1397 - 1407.