

引用格式:李霜,聂鑫,张安录. 基于生态系统服务评估的农地生态补偿机制研究进展[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2251-2260.
[Li S, Nie X, Zhang A L. Research progress on farmland ecological compensation mechanism based on ecosystem service evaluation
[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2251-2260.] DOI: 10.18402/resci.2020.11.16

基于生态系统服务评估的农地生态 补偿机制研究进展

李 霜¹, 聂 鑫², 张安录³

(1. 湖北经济学院经济与贸易学院, 武汉 430205; 2. 广西大学公共管理学院, 南宁 530004;
3. 华中农业大学公共管理学院, 武汉 430070)

摘 要:为推进生态保护与修复, 中共中央对生态补偿制度体系建设提出了新的指导意见, 并在重点区域进行了实践。但是, 生态系统服务空间供需错位导致参与主体不明确, 生态补偿标准不统一阻碍机制的稳定运行, 影响了生态补偿机制的实施效果。因此, 本文剖析生态系统服务供给和需求的概念, 总结二者的相互关系, 分析生态系统服务流的定义和传递过程, 介绍生态系统服务评估的主要建模方法, 同时归纳农地生态补偿机制构建、补偿标准确定和参与主体识别的现状。在此基础上, 指出生态系统服务评估的不足之处和未来方向, 概括生态系统服务建模方法的发展趋势, 为农地生态补偿机制的设计和改进行提出可行的方向和思路。根据分析和梳理得出主要的研究进展为: ①目前的生态系统服务评估侧重功能和潜力, 忽视了生态系统服务传递的中间过程; ②生态系统服务的建模方法不断被完善, 技术门槛逐渐提高, 并更加注重多元化、交叉学科的融合; ③农地生态补偿机制的方案设计亟需结合生态系统服务的空间流动属性进行改进。因此, 合理地改进农地生态补偿方案, 可根据农地生态系统服务流的空间流量分布测度生态补偿标准, 并通过识别生态系统服务效益的接收对象确定参与主体, 从而建立农地生态补偿机制的运行平台。

关键词: 农地; 生态系统服务评估; 生态系统服务供给; 生态系统服务需求; 生态系统服务流; 生态补偿机制

DOI :10.18402/resci.2020.11.16

1 引言

农地生态系统提供了人们生存和发展的环境条件和效用基础, 具有调节、供给和文化等多种类型的服务。在城市化进程中, 避免农地大量流失, 维持农地数量和质量, 保护农地生态系统的功能, 是学者们关注的热点问题。如果无法形成有效的保护方案和可行的改进措施, 必然会威胁农地生态系统服务的供给, 导致节约自然资源和保护环境的目标无法实现。

目前, 中国生态系统修复的效果并不稳固^[1], 单

纯依靠纵向财政支持已经不能同时兼顾保护和发展的需要。党的十九大以来, 围绕生态补偿机制的建立和推进出台了一系列政策和办法。既为制度创新指明了未来的方向, 又针对重点流域、重点区域提出了指导意见。全国有近30个省印发了辖区内的《关于健全生态保护补偿机制的实施意见》^[2], 并且有10余个省份签署了跨省流域的横向补偿协议, 但横向生态补偿机制真正落地实施仍具有不小的难度^[3]。为了强化科技支撑和健全配套制度体系, 学者们围绕生态系统服务价值、生态保护补偿

收稿日期: 2019-08-26 修订日期: 2020-05-27

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(17YJC790078); 湖北省教育厅人文社会科学研究项目(17Q138); 国家自然科学基金项目(71973038)。

作者简介: 李霜, 女, 湖北武汉人, 讲师, 研究方向为资源经济学。E-mail: lishuang_hbue@sina.com

通讯作者: 聂鑫, 男, 湖北武汉人, 教授, 研究方向为土地资源经济学。E-mail: toefl678@163.com

标准等论题展开了研究,但是并没有完全解决实践中遇到的问题^[4]。例如,生态系统服务的供给和需求空间分布错位,不同区域供需关系差异明显^[5],如果忽视了对供需主体的识别,则难以落实“谁受益,谁付费”的原则^[6];生态补偿的标准制定观点不统一,生态资源使用权的分配制度和交易平台都有待完善^[7]。

党的十九届四中全会审议通过的《中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定》^[8],在推进生态环境治理体系和治理现代化上,作出了“坚持和完善生态文明制度体系,促进人与自然和谐共生”的重大战略部署。既体现了生态文明建设在“五位一体”中的新布局,又强调了生态系统和人类系统不可分割的重要联系。因此,本文从生态系统服务的评估对象和建模方法、生态系统服务流的内涵和量化、生态补偿机制制定几个方面,对目前的研究进展进行了总结和评述。在此基础上,探讨通过评估生态系统服务流量和模拟生态系统服务流路径,设计农地生态补偿机制的可行性方案和改进措施,从而加强科学标准和权责主体的认定,从建立人与自然和谐共同体的角度,为生态补偿制度顺利实施提供支持。

2 农地生态系统服务评估对象和建模方法的研究现状

2.1 农地生态系统服务供给、需求及二者的关系

围绕生态系统服务的评估主要集中在生态系统服务供给和生态系统服务需求以及二者之间的

关系上。农地生态系统服务供给是指潜在供给量中实际被传递和利用的自然资源与服务。农地生态系统服务需求则可以理解为受益群体从农地获取的生态系统服务^[9],反映受益群体对特定生态系统服务类型的需求偏好,分为潜在需求和实际需求^[10]。农地生态系统服务的供给主体为农户,由于供给的传递路径和流向并未完全掌握,需求主体尚不明确^[11]。在评估生态系统服务的过程中,生态系统服务供给量和受益区获取的实际效益存在很大差异,生态系统服务的实际受益者,被大多数评估体系排除在外^[12,13]。这一做法容易导致评估结果偏差,难以为生态补偿机制的设计提供可用信息。

通过可视化的空间计量方法,学者们在不同尺度开展了区域内农地生态系统多功能供给和需求的双边匹配、权衡与协同等研究^[14]。但是,缺少跨区域的生态系统服务传递和利用研究,仍会影响生态补偿方案的科学性。因此,有必要引入对生态系统服务流的分析,即研究生态系统服务供给和受益的时空联系^[15],模拟生态系统实际物质量和价值量的运动过程^[16]。并且生态系统服务流与生态系统服务供给和需求存在紧密的联系,三者的具体关系可以总结如下(图1)^[17]:生态系统服务供给潜力由农地生态系统功能提供,但是潜力总量并不会被完全传递到受益区,而是在中间路径上形成生态系统服务流,只有被受益区接收和利用的实际效益,才能最终为人们带来福利,形成生态系统服务需求。生态系统服务供给潜力属于自然资本的存量,与生态系统服务流量在内涵上具有显著差异,通过生态系统

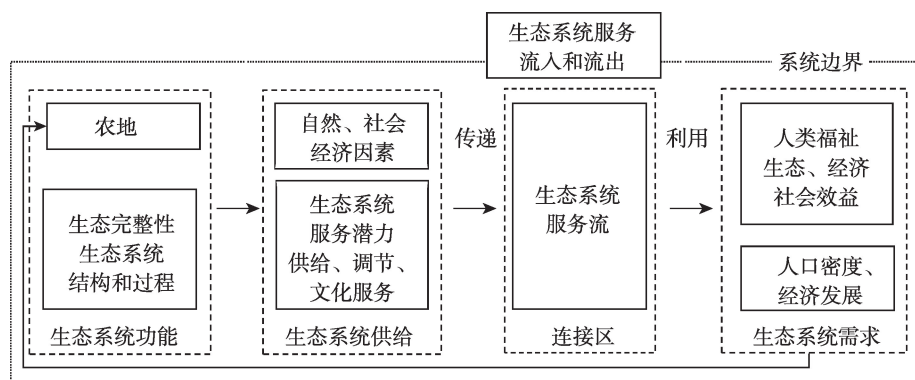


图1 农地生态系统服务供给和需求的关系

Figure 1 Relationship between supply and demand of farmland ecosystem services

2020年11月

服务流传递的实际流量才是评估人类福祉的基础^[12]。

2.2 生态系统服务流的概念和传递过程

生态系统服务流是生态系统服务从源头向受益者传递的路径^[18],其内涵探讨人与自然之间的物质传递和转化过程,其评估侧重生态系统对人类福祉产生的实际贡献^[19]。当生态系统的物质流和信息流通过介质进行跨区域传递时,其他主体可以作为流动的载体(例如迁徙的动物),在社会、人力、财政和生产资料等因素的影响下,最终形成特定受益群体和地点累计接收的效益,即生态系统服务价值^[20]。

目前对生态系统服务流的研究主要集中在水文服务、授粉服务和物种迁徙等便于追踪的服务类型上^[21-23],借助空间动态模型模拟农地多功能生态系统服务的形成和转移,为生态系统服务的供需双方提供客观和实用的数据信息^[24]。通过总结,不同功能的生态系统服务流传输方向可以分为:原位、全方位和定向流动几种类型。如果农地为本地和周边地区提供了供给、调节和文化等服务^[25],那么生态系统服务的传递方向是全方位的。在判断方向的基础上,Serna-Chavez等^[26]通过研究授粉、供水和气候调节等生态系统服务类型的空间传递特征,发现生态系统服务的利用主要依赖服务介质的空间移动,并且运用一个简明的分析框架识别出生态系统服务流接收区域的实际方位和边界。综合不同的生态系统服务类型,该研究进一步得出了供给区、受益区和流之间的空间关系,从而描绘出供给区和受益区的几种重叠情况(图2)。除此之外,学者们还发现了生态系统服务供给的非线性动力学规律,并指出任何驱动因素或压力源都可能导致生态系统服务供给过程、结构和组成的快速变化,影

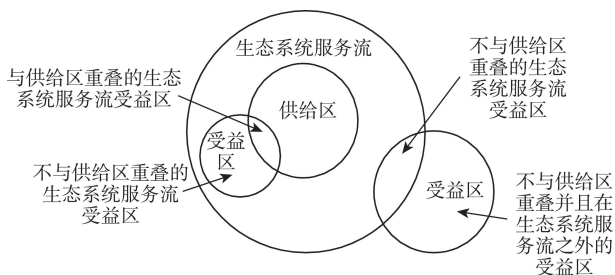


图2 农地生态系统服务供给区和受益区的重叠关系

Figure 2 Overlapping relationships between supply areas and benefiting areas of farmland ecosystem services

响供给效果^[27]。一旦生态系统服务介质从供给区出发后遇到阻碍或者干扰,生态系统服务流量就会产生变化。这一过程可以通过生态系统服务的源区、汇区和使用区之间的互动关系进行模拟(图3)。汇区作为媒介将流量传递到使用地区,也可能对生态系统服务流产生有害的影响,截断流量的传输路径^[28]。

2.3 农地生态系统服务评估的主要建模方法

随着生态系统服务评估方法和评估体系的不断完善,生态系统服务研究开始聚焦于测算、建模、制图及情景模拟等领域^[29,30]。各种建模方法被实证研究采纳,根据不同评估目标主要可分为空间分布式模型和生态系统服务量评估模型两大类^[31,32],常见的模型有:矩阵模型、InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)、ARIES(Artificial Intelligence for Ecosystem Services)、SoIVES(Social Values for Ecosystem Services)、LU-CI(Land Utilisation and Capability Indicator)、ESR(Ecosystem Services Review)、MIMES(Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services)、EPM(Ecosystem Portfolio Model)等。经过对比和分析,可以将生态系统服务评估分为4个潜在的步骤,使用者可根据每一项研究所处的具体阶段选择相关的适用模型(图4)。由于各种模型存在优势差异,适用于不同领域,在各个步骤中发挥其独特的作用,因此,对模型的选择应该经过权衡和考虑。例如,ESR模型虽然不是GIS工具,但是可以作为评估重要生态系统的前期筛选工具,识别生态系统服务中的机会和风险^[33]。CoSing Nature模型不具备生态系统服务分解和权衡能力,却可以作为识别潜在服务热点的低成本空间筛选工具。通过生态系统服

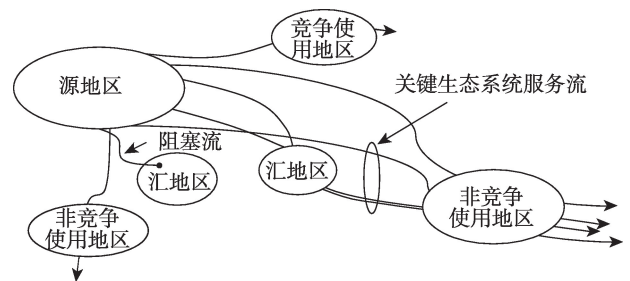


图3 农地生态系统服务流传递路径

Figure 3 Pathways of farmland ecosystem service flow

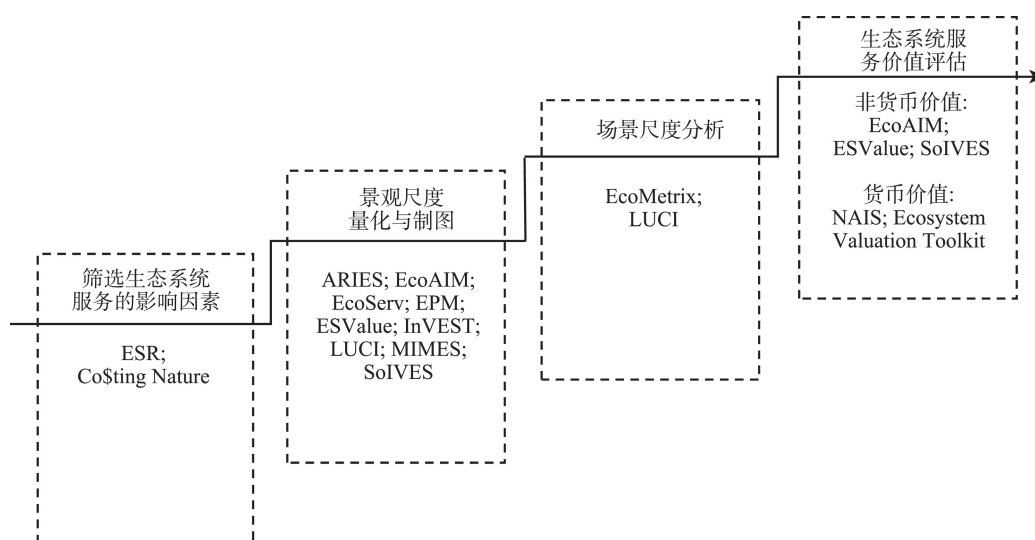


图4 生态系统服务评估的方法分类和评估过程的潜在步骤

Figure 4 Types of ecosystem service assessment methods and potential assessment steps

务的前期筛选,可以得到初步的评估结果,以此为基础选取制图和建模工具就可以作出更加准确的判断,从而选择合适的生物物理模型和社会调研方法来量化景观尺度的生态系统服务(例如:ARIES、EcoAIM、EPM、InVEST、SoIVES模型)。如果需要进一步提供其他空间尺度的精确对比和权衡结果,则可以使用EcoMetrix或者LUCI模型根据研究需求进行更加细致的分析。当生态系统服务定量测算和不同尺度的模拟完成后,可以将单位的社会成本、市场成本、预防成本和重置成本应用到生物物理模型的结果中,完成生态系统服务价值的评估,或者使用多标准分析工具(例如EcoAIM、ESValue模型)、货币估值手段对模型的输出进行价值测算(NAIS模型)。综合分析主要模型的信息,目前最具备立即推广条件的是ESR和Co\$ing Nature模型;可以为用户提供模型改进指导,并且考虑到各个利益相关者的模型是LUCI;依赖空间和生态数据库发展的是InVEST模型;依靠开发人员或者委托机构的是EPM、MIMES模型和EcoAIM、EcoMetrix、Ecosystem Valuation Toolkit、ESValue、NAIS模型;最适合模拟全球未来发展和扩展底层数据条件的模型是ARIES、EcoServ和SoIVES^[34]。

由于各种环境保护、土地利用规划、水文和生态模型的资源评估方法迅速发展,不同方法的适用尺度、时空表现形式和生物物理基础都存在很大差

异,因此,难以从各种资源评估工具中严格地区分出专门评估生态系统服务的模型,也无法参照一套统一的分类标准对所有的方法进行概括和总结。因此,只要模型的输出结果具备兼容性,就可以为生态系统服务的评估提供不同场景和尺度下的决策支撑工具。未来生态系统服务建模的改进与完善方向,应该融合多种学科,结合不同的手段,朝着更友好的操作界面、更广泛的应用领域进行推进。

3 农地生态补偿机制研究现状

3.1 市场化农地生态补偿机制构建

如何设计市场化的农地生态补偿机制是目前学者们讨论的热点,并且已经在生态系统服务供需主体明确的中小流域展开了很多讨论和实践^[35,36]。由于现有的纵向补偿方案往往与实际生态系统服务供需关系脱节,为了弥补这一缺陷,当生态补偿的支付主体和受偿主体在空间上、生态上密切相关时,横向的市场化生态补偿机制可以作为纵向补偿的补充^[37]。如果生态系统服务功能和需求存在冲突,建立市场化的生态补偿机制还可以为各个利益相关主体提供跨区域的多方协商平台,有利于设计更科学的补偿方案、提供更合理的改进策略^[38]。当生态补偿标准确定,参与主体明晰之后,就可以此为基础建立购买和交易机制,并采取直接补偿、财政转移支付、实物补偿、项目补偿、产业补偿、技术与智力补偿等方式进行实施^[1]。但是,目前农地生

2020年11月

态补偿标准尚未形成一套统一的测算体系,也缺乏一致的核算思路。同时,现有研究对生态系统服务的利益相关者识别较为模糊,无法建立从供给区域到使用区域的点对点连接。由于人与自然的相互作用体系和生态补偿制度体系相互独立,导致政策建议的科学性和严谨性存在不足。

3.2 农地生态补偿标准确定

目前,农地生态补偿标准的制定思路有两种:第一种思路以农地生态保护成本为基础制定生态补偿标准,重点关注区域内的农户主体面临的损失,但忽视了生态系统在空间上产生的外溢效应,缺乏对其他利益相关主体的识别和认定,存在片面性^[7]。第二种思路基于区域内的生态系统服务潜力和存量价值测算生态补偿标准,没有考虑生态系统服务流量的实际变化,评估结果与农地生态系统服务流转移的实际效益仍存在差距。随着生态系统服务的中间环节和动态变化逐渐被揭示,确定以生态系统服务价值为基础的生态补偿标准应考虑空间生态系统服务的流量分布和影响边界,建立更科学的评估核算体系,避免传统方法产生的误差^[39],从而最大化地发挥生态保护的激励作用^[4,40],使自然资源得到充分合理的运用。

3.3 农地生态补偿参与主体识别

农地生态补偿在不同主体之间的分摊研究主要集中在流域尺度^[35]。例如,参考生态系统服务的功能属性,识别出空间上需要优先补偿的热点(Hot-spot),依据空间选择的结果对农地生态保护目标进行分区,提出不同区域的差别化补偿政策^[41,42]。识别优先补偿区域的空间瞄准指标体系已从单一目标逐渐向多元复合目标转变,为生态价值协同和冲突的重点区域提供了政策保护。但是,确定农地生态补偿的市场化交易主体,构建补偿资金的分摊机制,仍需要以区域内的生态系统服务供给量和需求量为基础,计算出生态盈余状况,按照生态系统服务的实际供给和接收流量制定生态补偿方案^[43,44]。虽然在空间上识别农地生态补偿的参与主体,是制定市场化生态补偿机制的重要前提,但是目前的研究却较少涉及生态系统服务的真实供给主体和需求主体的识别和认定,因此,无法从根本上解决农地

生态补偿政策落地难的问题。

4 生态系统服务评估和农地生态补偿研究评述

4.1 生态系统服务评估研究的不足之处和未来方向

大多数生态补偿的研究没有区分生态系统服务的中间过程和最终结果,只侧重对生态系统服务功能或者潜力的评估,忽视了受益区获取的真实效益,未能展现完整的传递路径^[45-47]。随着评估技术和手段的创新,对农地生态系统服务评估开始运用多种空间分析方法研究物质质量或者价值量的流动^[48,49]。这其中,生态系统服务流分析能更细致地刻画供给和需求主体之间的关系,也能更精确地识别生态系统服务传递过程中关键点(出发点、载体、接收点等要素)的区位,并确定评估区域接收的流量,因此,跨区域的生态系统服务流量分析逐渐取代了区域内的生态系统服务供给潜力和存量评估。通过处理各种场景下生态系统服务供给和需求的实际对接关系,判断各个供给模块的流向,生态系统服务流分析可以掌握服务载体的运动规律,例如模拟碳沉积、灾害防护、水供给等功能在空间上的流动规律,为生态资源保护提供更科学的改进措施^[50]。

但是,作为确定农地生态补偿标准的理论基础,农地生态系统服务内在机理和传递过程还需要更加深入地分析和解释。尽管目前对生态系统服务概念的讨论十分深入,农地生态系统服务流的实际发生和传递过程仍然不够透明,导致从生态系统服务评估视角制定的生态补偿方案可行性不足。因此,建立生态系统服务流的分析框架,在不同尺度依据各种信息进行生态系统服务的远程耦合,测算和分析从供给区域到远程接收区域的物质、资金和信息流,聚焦区域生态系统服务供给的可持续性,分析不同区域之间的相互依存关系成为当前的研究重点^[51]。并且,现有的生态系统服务评估研究注重总量计算(在空间和时间上),较少涉及区域间生态系统服务流动的规模和驱动,尤其缺乏对生态系统服务的调节和文化功能的研究,所以无法进一步分析空间差异产生的原因^[52,53],也忽视了未来的多种发展可能^[54]。另外,对生态系统服务供需的量

化、制图和评估研究都处在发展阶段,大多数研究集中在一部分易于跟踪的服务类型上,并受到空间异质性的限制,只能解释相邻区域的人类活动影响,从而忽略了可能通过连接或载体传递的间接效益。

未来的生态系统服务评估应该采用更细致的空间和时间尺度,模拟生态系统服务流的传递过程及路径,以此识别各个关键的主体及其所在区域。由于不同生态系统服务功能的研究方案与空间尺度的选定有很大关系,而地区间的经济社会差异比生态系统功能更具复杂性,因此,设计小尺度的生态系统服务评估方案还应该结合其他实际影响因素,分析生态系统服务功能各个模块变化的内在机理和具体影响。在此基础上,依据空间分析框架,制定科学合理的生态补偿标准,结合参与主体的认定结果,设计可行的生态补偿机制。并且在制定生态补偿政策或者方案时,逐渐向实际的受益群体倾斜,注重各个主体之间的有机结合,研究完整的耦合以及反馈机制,争取让区域间复杂的生态系统服务流转化成可持续流量^[55]。

4.2 生态系统服务建模方法的发展趋势

围绕生态系统服务的评估研究不论是空间数据分析方法还是具体模型的构建都由较单一的模块和内容向更复杂的评估体系转变,而且生态系统服务的建模门槛不断提高,更注重多元化、交叉学科融合。前期的实证研究已通过投入产出关系,运用土地利用与土地覆被数据结合其他影响因素推测出生态系统服务的价值^[29,56],还利用制图方法直观地显示了生态系统服务的空间分布和差异,但仍缺乏对实际演变过程的展示。随着建模方法的完善,学者们发现更具功能性的方法可以更加准确地模拟生态系统动态运行的各个部分。例如,Liu等^[57]建立了一个人与自然的研究框架,提供了包含流量、驱动、原因和影响4个方面的外溢模型,被很多分析案例采纳。随着生态系统和人类活动之间的界线逐渐模糊,建模考虑了多种学科多个模块之间的融合效应,除了常用的土地利用数据、经济社会数据和各种生态参数,还结合了生物物理过程、模糊数学逻辑、人工智能优化等多个领域的专业知识。

由于生态系统服务评估的内容逐渐变得复杂,知识领域不断被拓宽,对建模的成本、数据和专业知识都提出了更高的要求。例如,校对和参数化过程都需要专业知识和准确的时间序列数据,这使评估难度不断增加,特殊性也不断增强。相对于定性研究来说,运行定量生态系统服务模型的时间和成本要求都非常高,暂时无法实现广泛的应用。部分模型即使在大量的应用过后,当研究对象改变时,仍要新的开发和实践领域耗费成本。而很多模块还处在发展阶段,在供给尺度、阈值、反馈、临界点等方面仍存在一些不确定性^[58]。

不少研究已经开始对建模方法进行完善和改进,试图解决这些问题^[30],并建立一个更理想的稳健性模型,针对实际问题提供适宜的尺度和平台,避免只在固定尺度上进行标准化。未来对模型的改进应赋予模型更多的灵活性,使算法透明,方便使用者理解和修改,从而处理各种不同的服务和应用程序。保证模型在适应社会、经济和政策环境的同时,其应用程序不会过于复杂,避免增加开发成本。同时,模型的建立应该以生态系统和人类经济系统的相互影响为核心,而不是把重点放在单纯描绘和预测生态系统运转的走向上。

4.3 农地生态补偿机制的改进建议

生态系统是一个复杂的动态系统,其功能、服务和转移的研究仍存在一些空白,并未建立起一套普遍适用的农地生态补偿体系或者规则。利用空间模型对城市系统和生态系统的交互过程进行剖析,可以增强生态补偿方案的科学性,避免静态分析存在的不确定影响^[59,60]。但是生态补偿体系构建仍然需要结合研究区域的客观要素,建立在明晰的参与主体和科学合理的生态补偿标准之上。把生态补偿方案建立在生态系统服务流的动态映射之上,突出对利益相关主体的精准识别,以更细致的空间尺度反映生态系统服务增量和损耗变化,才能为政策制定提供更加确切的信息。已有的研究成果展示了生态系统服务价值在某一时刻的分布特征,但这种分布规律在时间上不一定具备稳定的性质^[48,49],因此,揭示生态系统服务的时空演变规律,可以为生态补偿制度的进一步改革方向提供可靠的参考。

2020年11月

5 结论

本文总结农地生态系统服务的研究现状,归纳农地生态系统服务评估的研究趋势,分析农地生态补偿机制中的两大核心问题,生态补偿标准的确定和利益相关主体的认定,并指出以生态系统服务价值为基础确定农地生态补偿方案的过程中遇到的问题和存在的不足。通过梳理和概括发现:

(1)生态系统服务的空间流动和变化成为目前的研究热点,与区域内的生态系统服务供给潜力和存量评估相比更具科学性和实用性。

(2)评估生态系统服务的建模水平和基础要求逐渐提高,不但注重多元化、交叉学科的融合,还尝试在多种场景针对不同要求进行使用体验的改善和运行成本的控制。

(3)生态补偿机制的设计缺乏对利益相关主体的清晰认定,尚未制定科学统一的生态补偿标准,未来应结合生态系统服务的实际运动规律以及流量的空间分布情况,确定更科学的补偿标准,识别各个关键主体及其区位,为生态补偿制度的设计提供补充和改进。

综上所述,以生态系统服务评估为基础建立农地生态补偿机制,应建立在农地生态系统服务流的完整传递路径之上。首先,测度生态系统服务在各个区域产生的实际服务流量,以此作为生态补偿标准的制定基础,避免生态系统服务价值的重复计算和供需错位的问题。其次,通过生态系统服务在各个区域产生的效益增量,识别出实际的受益区域,从而在空间上确定农地生态补偿的支付主体,与经营农地的供给主体建立横向连接。然后,结合参与主体的实际偏好,建立农地生态补偿机制的运行平台,设计生态补偿方式和管理监督形式。最后,以农地生态系统服务传递轨迹的定量分析和制图结果为前提,通过改进传递路径上的障碍或者阻断,提出生态保护政策的进一步改进方向,进而实现农地生态补偿方案的动态调整。

参考文献(References):

[1] 杨清,南志标,陈强强. 国内草原生态补偿研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2489–2495. [Yang Q, Nan Z B, Chen Q Q. Ecological compensation for grassland in China: A review[J]. Acta

Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2489–2495.]

- [2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于健全生态保护补偿机制的意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016, (15): 19–22. [General Office of the State Council of the People's Republic of China. Opinions on improving the compensation mechanism of ecological protection[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2016, (15): 19–22.]
- [3] 刘桂环. 探索中国特色生态补偿制度体系[N]. 中国环境报, 2019–12–17(03). [Liu G H. Making Energetic Effort to Explore the Eco-Compensation System with Chinese Characteristics[N]. China Environment News, 2019–12–17(03).]
- [4] Lin Y S, Dong Z F, Zhang W, et al. Estimating inter-regional payments for ecosystem services: Taking China's Beijing–Tianjin–Hebei region as an example[J]. Ecological Economics, 2020, 168: 106514.
- [5] 谢余初,张素欣,林冰,等. 基于生态系统服务供需关系的广西县域国土生态修复空间分区[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 217–229. [Xie Y C, Zhang S X, Lin B, et al. Spatial zoning for land ecological consolidation in Guangxi based on the ecosystem services supply and demand[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(1): 217–229.]
- [6] 丁振民,姚顺波. 小尺度区域生态补偿标准的理论模型设计及测度[J]. 资源科学, 2019, 41(12): 2182–2192. [Ding Z M, Yao S B. Model and measurement of payment for ecosystem services at small scale[J]. Resources Science, 2019, 41(12): 2182–2192.]
- [7] 牛志伟,邹昭晔. 农业生态补偿的理论与方法: 基于生态系统与生态价值一致性补偿标准模型[J]. 管理世界, 2019, 35(11): 133–143. [Niu Z W, Zou Z X. Theory and method of agricultural ecological compensation: Based on compensation standard model based on the ecosystem and ecological value[J]. Management World, 2019, 35(11): 133–143.]
- [8] 2019年10月31日中国共产党第十九届中央委员会第四次全体会议通过. 中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定[N]. 人民日报, 2019–11–06(01). [Adopted by the Fourth Plenary Session of the 19th Central Committee of the Communist Party of China on October 31, 2019. Decision of the Central Committee of the Communist Party of China on Upholding and Improving the Socialist System with Chinese Characteristics and Promoting the Modernization of National Governance System and Governance Capacity[N]. People's Daily, 2019–11–06(01).]
- [9] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, et al. Mapping supply, demand and budgets of ecosystem services[J]. Ecological Indicators, 2012, 21: 17–29.
- [10] 严岩,朱捷缘,吴钢,等. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2489–2496. [Yan Y, Zhu J Y, Wu G, et al. Review and prospective applications of demand, supply,

- and consumption of ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8): 2489–2496.]
- [11] 伏润民, 繆小林. 中国生态功能区财政转移支付制度体系重构: 基于拓展的能值模型衡量的生态外溢价值[J]. *经济研究*, 2015, 50(3): 47–61. [Fu R M, Miao X L. A new financial transfer payment system in ecological function areas in China: Based on the spillover ecological value measured by the expansion energy analysis[J]. *Economic Research Journal*, 2015, 50(3): 47–61.]
- [12] Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, et al. Ecosystem service potentials, flows and demands—concepts for spatial localisation, indication and quantification[J]. *Landscape Online*, 2014, 34(1): 1–32.
- [13] Schulp C J E, Lautenbach S, Verburg P H. Quantifying and mapping ecosystem services: Demand and supply of pollination in the European Union[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 131–141.
- [14] 胡伟艳, 魏安奇, 赵志尚, 等. 农地多功能供需错位与协同作用研究进展及趋势[J]. *中国土地科学*, 2017, 31(3): 89–96. [Hu W Y, Wei A Q, Zhao Z S, et al. Literature review on mismatch of demand and supply, and synergies of multifunctional agricultural land[J]. *China Land Science*, 2017, 31(3): 89–96.]
- [15] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643–653.
- [16] Xu J, Yu X, Xie G D, et al. Computing payments for wind erosion prevention service incorporating ecosystem services flow and regional disparity in Yanchi County[J]. *The Science of the Total Environment*, 2019, 674: 563–579.
- [17] 管青春, 郝晋珉, 许月卿, 等. 基于生态系统服务供需关系的农业生态管理分区[J]. *资源科学*, 2019, 41(7): 1359–1373. [Guan Q C, Hao J M, Xu Y Q, et al. Zoning of agroecological management based on the relationship between supply and demand of ecosystem services[J]. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1359–1373.]
- [18] Semmens D J, Diffendorfer J E, Bagstad K J, et al. Quantifying ecosystem service flows at multiple scales across the range of a long-distance migratory species[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 255–264.
- [19] Qin K Y, Liu J Y, Huang H J, et al. Integrating ecosystem services flows into water security simulations in water scarce areas: Present and future[J]. *The Science of the Total Environment*, 2019, 670: 1037–1048.
- [20] Villa F, Voigt B, Erickson J D. New perspectives in ecosystem services science as instruments to understand environmental securities[J]. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2014, 369(1639): 20120286.
- [21] Wu X T, Wang S, Fu B J, et al. Land use optimization based on ecosystem service assessment: A case study in the Yanhe watershed[J]. *Land Use Policy*, 2018, 72: 303–312.
- [22] Benoit O, Benedetto R, Reinout H, et al. An improved life cycle impact assessment principle for assessing the impact of land use on ecosystem services[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 693: 133374.
- [23] Schirpke U, Candiago S, Vigl L E, et al. Integrating supply, flow and demand to enhance the understanding of interactions among multiple ecosystem services[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 651: 928–941.
- [24] Li D L, Wu S Y, Liu L B, et al. Evaluating regional water security through a freshwater ecosystem service flow model: A case study in Beijing–Tianjin–Hebei region, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 81(10): 159–170.
- [25] Zheng H, Li Y F, Robinson B E, et al. Using ecosystem service trade-offs to inform water conservation policies and management practices[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2016, 14(10): 527–532.
- [26] Serna-Chavez H M, Schulp C J E, van Bodegom P M, et al. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 39(4): 24–33.
- [27] Nemec K, Raudsepp-Hearne C. The use of geographic information systems to map and assess ecosystem services[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 22(1): 1–15.
- [28] 刘慧敏, 刘绿怡, 丁圣彦. 人类活动对生态系统服务流的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(10): 3232–3242. [Liu H M, Liu L Y, Ding S Y. The impact of human activities on ecosystem services flow[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(10): 3232–3242.]
- [29] Olander L P, Johnston R J, Tallis H, et al. Benefit relevant indicators: Ecosystem services measures that link ecological and social outcomes[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 85: 1262–1272.
- [30] 李婷, 吕一河. 生态系统服务建模技术研究进展[J]. *生态学报*, 2018, 38(15): 5287–5296. [Li T, Lv Y H. A review on the progress of modeling techniques in ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(15): 5287–5296.]
- [31] 王嘉丽, 周伟奇. 生态系统服务流研究进展[J]. *生态学报*, 2019, 39(12): 4213–4222. [Wang J L, Zhou W Q. Ecosystem service flows: Recent progress and future perspectives[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(12): 4213–4222.]
- [32] 冯晓珂, 黄斌斌, 李若男, 等. 生态系统服务流特征及量化方法研究进展[J]. *环境保护科学*, 2019, 45(6): 29–38. [Feng X Y, Huang B B, Li R N, et al. Research progress on characteristics and quantification methods of ecosystem service flow[J]. *Environmental Protection Science*, 2019, 45(6): 29–38.]
- [33] Bagstad K J, Johnson G W, Voigt B, et al. Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 117–125.
- [34] Bagstad K J, Semmens D J, Waage S, et al. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 5: 27–39.

2020年11月

- [35] 王奕淇, 李国平, 延步青. 流域生态服务价值横向补偿分摊研究[J]. 资源科学, 2019, 41(6): 1013–1023. [Wang Y Q, Li G P, Yan B Q. Sharing of watershed ecosystem service value horizontal compensation burden by downstream cities[J]. Resources Science, 2019, 41(6): 1013–1023.]
- [36] 陈登帅, 李晶, 张渝萌, 等. 延河流域水供给服务供需平衡与服务流研究[J]. 生态学报, 2020, (1): 1–11. [Chen D S, Li J, Zhang Y M, et al. Quantification and simulation of supply, demand and flow of water provision service in the Yanhe watershed, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, (1): 1–11.]
- [37] 国家发展改革委国土开发与地区经济研究所课题组. 地区间建立横向生态补偿制度研究[J]. 宏观经济研究, 2015, (3): 13–23. [Institute of Spatial Planning and Regional Economy, National Development and Reform Commission P. R. C. The research on ecological compensation between the regions[J]. Macroeconomics, 2015, (3): 13–23.]
- [38] 欧维新, 王宏宁, 陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化[J]. 生态学报, 2018, 38(17): 6337–6347. [Ou W X, Wang H N, Tao Y. A land cover-based assessment of ecosystem services supply and demand dynamics in the Yangtze River Delta region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): 6337–6347.]
- [39] 柳荻, 胡振通, 靳乐山. 生态保护补偿的分析框架研究综述[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 380–392. [Liu D, Hu Z T, Jin L S. Review on analytical framework of eco-compensation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(2): 380–392.]
- [40] 吴乐, 孔德帅, 靳乐山. 生态补偿对不同收入农户扶贫效果研究[J]. 农业技术经济, 2018, (5): 134–144. [Wu L, Kong D S, Jin L S. Can eco-compensation contribute to poverty alleviation? A heterogeneity analysis at farmer level[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2018, (5): 134–144.]
- [41] 刘晋宏, 孔德帅, 靳乐山. 生态补偿区域的空间选择研究: 以青海省国家重点生态功能区转移支付为例[J]. 生态学报, 2019, 39(1): 53–62. [Liu J H, Kong D S, Jin L S. Research on spatial selection of ecological compensation areas: Using the transfer payment of national key ecological function areas of Qinghai Province as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): 53–62.]
- [42] 张涛, 杨高升, 张晓婧. 基于空间异质性的水源地精准补偿研究[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(2): 168–174. [Zhang T, Yang G S, Zhang X J. Research on precision compensation model of water source based on spatial heterogeneity[J]. Resource Development & Market, 2019, 35(2): 168–174.]
- [43] 杨丽雯, 董丽青, 张立伟, 等. 固碳服务供需平衡和服务流量化评估: 以引黄入晋南干线为例[J]. 资源科学, 2019, 41(3): 557–571. [Yang L W, Dong L Q, Zhang L W, et al. Quantitative assessment of carbon sequestration service supply and demand and service flows: A case study of the Yellow River Diversion Project South Line[J]. Resources Science, 2019, 41(3): 557–571.]
- [44] Cai W B, Gibbs D, Zhang L, et al. Identifying hotspots and management of critical ecosystem services in rapidly urbanizing Yangtze River Delta Region, China[J]. Journal of Environmental Management, 2017, 191: 258–267.
- [45] Schaefer M, Goldman E, Bartuska A M, et al. Nature as capital: Advancing and incorporating ecosystem services in United States federal policies and programs[J]. Proceedings of the National Academy of Science, 2015, 112(24): 7383–7389.
- [46] Haozhi P, Brian D, Georgia D, et al. Socio-hydrology modeling for complex urban environments in support of integrated land and water resource management practices[J]. Land Degradation & Development, 2018, DOI: 10.1002/ldr.3106.
- [47] Yang T, Pan H, Hewings G, et al. Understanding urban sub-centers with heterogeneity in agglomeration economies: Where do emerging commercial establishments locate[J]. Cities, 2019, 86: 25–36.
- [48] Goldenberg R, Kalantari Z, Cvetkovic V, et al. Distinction, quantification and mapping of potential and realized supply-demand of flow-dependent ecosystem services[J]. Science of The Total Environment, 2017, 593: 599–609.
- [49] Zhan J Y, Zhang F, Chu X, et al. Ecosystem services assessment based on emergy accounting in Chongming Island, Eastern China [J]. Ecological Indicators, 2018, 105: 464–473.
- [50] Palomo I, Martín-López B, Potschin M, et al. National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows [J]. Ecosystem Services, 2013, 4: 104–116.
- [51] Fridman D, Kissinger M. An integrated biophysical and ecosystem approach as a base for ecosystem services analysis across regions [J]. Ecosystem Services, 2018, 31: 242–254.
- [52] Li Y Y, Tan M H, Hao H G. The impact of global cropland changes on terrestrial ecosystem services value, 1992–2015[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(3): 323–333.
- [53] Xu C, Haase D, Pauleit S, et al. The impact of different urban dynamics on greenspace availability: A multiple scenario modeling approach for the region of Munich, Germany[J]. Ecological Indicators, 2018, 93: 1–12.
- [54] Deal B, Pan H, Pallathucheril V, et al. Urban resilience and planning support systems: The need for sentience[J]. Journal of Urban Technology, 2017, 24(1): 29–45.
- [55] Schröter M, Koellner T, Alkemade R, et al. Interregional flows of ecosystem services: Concepts, typology and four cases[J]. Ecosystem Services, 2018, 31: 231–241.
- [56] Rocas-Díaz J V, Vayreda J, Banqu  -Casanovas M, et al. Assessing the distribution of forest ecosystem services in a highly populated Mediterranean region[J]. Ecosystem Services, 2018, 93: 986–997.
- [57] Liu J G, Hull V, Batistella M, et al. Framing sustainability in a

- telecoupled world[J]. *Ecology and Society*, 2013, 18(2): 344–365.
- [58] Waage S, Hwang L, Armstrong K. The Quiet (R)Evolution in Expectations of Corporate Environmental Performance[R]. San Francisco: BSR's Ecosystem Services Working Group, 2012.
- [59] Pan H Z, Zhang L, Cong C, et al. A dynamic and spatially explicit modeling approach to identify the ecosystem service implications of complex urban systems interactions[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 102: 426–436.
- [60] Keesstra S D, Nunes J P, Novara A, et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services[J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 610: 997–1009.

Research progress on farmland ecological compensation mechanism based on ecosystem service evaluation

LI Shuang¹, NIE Xin², ZHANG Anlu³

(1. School of Economics and Trade, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China; 2. School of Public Policy and Management, Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. College of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to promote the ecological protection and restoration, the Party Central Committee has put forward new guidelines for the construction of ecological compensation system, and has carried out practice in key areas. However, the misalignment of supply and demand of ecosystem service leads to the uncertain participants and the inconsistent ecological compensation standards hinder the stable operation of the mechanism, which affects the implementation effect of the ecological compensation mechanism. Therefore, this paper analyzes the concept of ecosystem service supply and demand, summarizes the relationship between them, analyzes the definition and transport process of ecosystem service flow, introduces the main modeling methods of ecosystem service, and summarizes the current situation of farmland ecological compensation mechanism, compensation standards and identification of participants. Based on these, the shortcomings and future directions of ecosystem services assessment are pointed out, and the development trend of modeling methods of ecosystem services is summarized. Furthermore, this paper proposes feasible directions and ideas for the design and improvement of agricultural land ecological compensation mechanisms. According to the analysis, the main research progress is as follows: (1) The current ecosystem service assessment focuses on the function and potential, and ignores the intermediate process of ecosystem service delivery; (2) The modeling methods of ecosystem services are constantly improved, the technical threshold is raising, and more attention is paid to the integration of diversification and cross-discipline; (3) The scheme design of farmland ecological compensation mechanism needs to be improved in combination with spatial flow attributes. Therefore, to reasonably improve the agricultural land ecological compensation mechanism, the ecological compensation standard can be measured according to the spatial flow distribution of the agricultural land ecosystem service flow, and the participants can be determined by identifying the recipients of the ecosystem service benefits.

Key words: farmland; ecosystem service evaluation; ecosystem service supply; ecosystem service demand; ecosystem service flow; ecological compensation mechanism