

中国生态产品供给效率改善的影响因素研究： 基于技术创新与制度整合双重视角

盛 蓉

(华东师范大学崇明生态研究院, 上海 200062)

摘要：提升生态产品供给效率对其稳定、可持续供给、增进人民生态环境福祉具有重要价值。本文通过动态价值当量法、超效率SBM模型及Malmquist指数测算中国省域生态产品价值及供给效率改善情况,从技术—制度双视角探究效率改善的影响因素。结果显示:技术创新和财政补贴仅显著促进纯技术效率(PEC)改善,但同时财政补贴也明显抑制规模效率(SEC)改善;生态产品消费意愿可显著促进综合效率(MI)和PEC改善,乡村反哺水平则显著促进SEC改善。后两者为技术创新和财政补贴对SEC改善的缺位提供了补充,形成了制度整合优势。应促进生态消费和乡村反哺价值观等非正式制度建设的长效化,推进城乡融合发展,构建生态产品投入产出的要素市场化流动和收益机制,全面改善生态产品供给效率。

关键词：生态产品供给;效率改善;影响因素;技术创新;制度整合

生态产品供给是践行“两山”理论和增进人民生态环境福祉的重要路径。继党的“十八大”和“十九大”报告提出“增强生态产品生产能力”和“要提供更多优质的生态产品”以来,党的“二十大”报告提出“提升生态系统多样性、稳定性、持续性”和“建立生态产品价值实现机制”,为未来提供生态产品等福祉提出了更高、更长远的要求。2010年,国务院《全国主体功能区规划》将生态产品定义为“维系生态安全、保障生态调节功能、提供良好人居环境的自然要素,包括清新的空气、清洁的水源和宜人的气候等”。生态产品来源于生态系统,现有研究一般认为生态产品的内涵等同于生态系统服务^[1,2],并且生态产品的实质是生态系统服务^[3]。结合生态系统服务的相关界定^[4,5],生态产品供给可界定为“基于生态系统及其过程向人类提供直接或间接的产品及服务”。近年来,国内外学者对生态产品供给进行了多样化的研究,涉及到生态产品供给的系统性^[6]、需求偏好^[7]及购买支付^[8,9]等问题,还包括生态产品供给的能力、驱动机制^[10]、协同供给^[11]、交易机制^[12]等,这一领域已成为近年来理论界关注的热点之一。

随着生态产品供给研究的日渐扩展和丰富,供给效率问题已成为该领域的新焦点,引起了国内外众多学者的关注^[3,13]。生态产品的供给需要生态环境系统化提升,其修复、整治和管护等需要大量前期投入成本,但目前生态产品供给面临巨大的投入短缺压力,政府公共财政资金投入生态补偿的比例趋于下降^[2],市场主体等参与生态环境修复遭遇前期投入大及收益难保证等障碍^[14,15],经营性生态产品收益和市场消纳能力有限也导致此类

收稿日期: 2023-02-20; 修订日期: 2023-07-28

基金项目: 上海市哲学社会科学规划课题(2022BCK004); 自然资源部大都市区国土空间生态修复工程技术创新中心2021—2022年度开放性创新项目(CXZX202203); 中央高校基本科研业务费项目(2022ECNU-XWK-ZX10)

作者简介: 盛蓉(1985-),女,内蒙古包头人,博士,副研究员,研究方向为资源环境管理、城乡绿色发展等。

E-mail: shengrong5@126.com

生态产品供给不稳定。这种现实中的投入短缺压力，制约着生态产品的稳定、持续供给，更凸显了供给效率改善的紧迫性。如何疏解这一压力已成为亟需破解的瓶颈，需以较高的生态产品投入产出效率来缓解这种压力，以生态产品的高效供给提升人民享有生态环境福祉的可持续性。

现有研究已探讨了生态产品供给的效率改善及影响因素，揭示出效率有待提升的状况，并提出诸多应对措施。基于生态产品与生态系统服务的密切关联^[3]，国外文献综述主要围绕生态系统服务这一概念进行，在Costanza等^[4]及《千年生态系统评估》^[5]对生态系统服务及价值的界定基础上，国外研究近期对生态系统服务供给效率改善及影响因素的分析集中在两方面：一是生态系统服务供给的投入成本效率，Pascual等^[6]认为水域管理决策中需兼顾考虑生态系统服务供给与相关成本投入的效率。Shin等^[17]分析日本农地洪水灾害缓解价值的直接支付效率。二是从非期望产出视角分析生态系统服务供给的效率改善及影响因素，Susaeta等^[18]基于DEA分析发现佛罗里达某地森林的林木、碳汇和物种丰富性供给大多是DEA无效的，气候变化对生态系统服务供给的效率有负面影响。Chen等^[19]认为生态产品供给和需求间的差异也会引发非期望产出视角的效率低下问题。还有研究者提出差异性支付方案^[20,21]、政府机构预算可变及减少历史拍卖信息公开^[22]等，以促进供给效率改善。

在国内，生态产品供给仍存在总量和结构等不足，因此有研究揭示林业、水、优良空气等生态产品供给效率有待提升的状况及影响因素。如朱颖等^[23]从公共产品供给视角，发现黑龙江不同国有重点林区的森林生态产品投入产出效率差异较大，其效率受资金投入影响最大，提出应拓宽资金供给渠道、优化资金结构。张洪瑞等^[24]也发现国有林区森林生态产品供给效率不高，主要受资金利用技术影响。贺义雄等^[25]发现舟山市水生态产品供给效率波动较大，科技水平、水利设施建设及产业结构对效率有显著促进作用。郑晶等^[26]发现中国省域生态产品供给效率受经济水平、产业结构、科技投入影响，应转变经济发展方式、优化生态系统结构和遵循生态法则。此外，还有学者提出了合理规划生态产品供给类型区域及强化市场作用^[27]、推进区域景观规划^[28]，以及通过项目外包、特许经营等市场化机制提升供给效率的对策。

然而，现有关于生态产品供给效率改善的研究，主要集中在技术及经济、产业等因素的影响及路径，对制度性因素影响的研究有限，除了资金投入因素外，忽视了诸如意愿、观念等非正式制度因素起到的作用，不足以深入揭示生态产品供给效率改善的内在规律和潜在路径。基于此，本文在技术因素基础上引入制度因素特别是非正式制度因素，从技术创新—制度整合视角，探讨其对供给效率改善的影响。本文的贡献在于：（1）以“技术+制度”的生态创新视角对原有的生态产品高效供给理论体系进行了焦点重构，弥补了技术驱动不足的缺陷，为生态产品供给效率改善的促进机制提供了更完善的视角。（2）通过对比不同因素作用于综合效率、纯技术效率和规模效率变化的方式，提供了各技术和制度因素的作用边界与差异性。（3）验证了非正式制度因素对生态产品供给效率改善的正面效应，为非正式制度因素的积极作用提供了实证证据。

1 技术与制度因素影响生态产品供给效率改善的理论框架及假设

生态创新最初被定义为企业为减少环境损害而进行的技术、流程、系统及产品创

新^[29],因此早期生态创新的核心在于技术创新,技术创新在环境规制下对于改善生态环境和推动绿色发展起到了积极作用^[30]。随后,经合组织曾将社会和制度结构要素也包括在内^[31],因此生态创新的界定逐渐演变为可以同时保护环境和带来商业机会的所有技术与非技术形式的创新^[32]。

在生态创新视角下,现有研究探讨了技术创新对生态产品供给效率的影响,认为科技投入、科技发展水平有利于提高资源利用效率和生态治理水平,对部分地区的供给效率有促进作用^[25,26]。然而,中国目前对科技发展特别是绿色技术创新的重视和投入力度较大,与目前供给效率退步的现状形成一个悖论,引发我们思考并继续挖掘技术创新对不同效率影响的差异性,探讨技术创新作用的边界。现有研究发现这种差异性存在于不同地区之间,然而本文认为差异很可能存在于不同的效率类型间。参照现有研究将生产率变化分解为技术进步和技术效率变化,并将技术效率变化继续分解为纯技术效率和规模效率变化^[24,33,34]的逻辑,生态产品供给的综合效率中,纯技术效率变动代表的是在管理和运作过程中对所投入的生产要素进行了充分的利用。而技术创新,尤其是通过科技创新投入和专利授予等衡量的技术创新水平,主要体现在整个社会绿色技术和知识的革新及积累层面,可提升各类生产要素的利用率,使得产出最大化,主要对应于纯技术效率的改善。因此,技术创新这种知识和技术水平的提高主要是通过相关人员提升管理和要素应用率水平来促进纯技术效率改善的,但其与规模效率改善之间的关系尚没有明确的研究证据支撑。

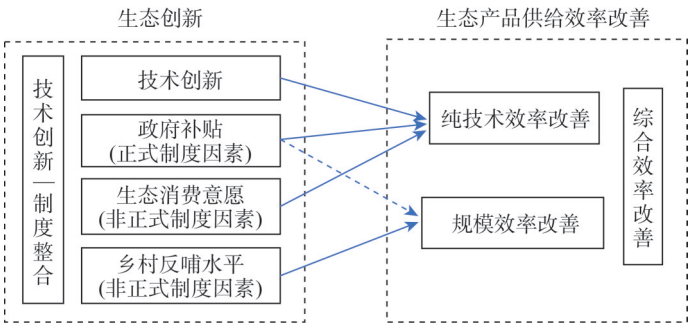
基于此,提出本文的理论假设1:技术创新对生态产品供给的纯技术效率改善有显著的正面作用。

同时,制度因素对生态产品效率的改善也不可或缺,但目前这方面研究仍存在短板,现有研究关注到了资金投入短缺及结构不善对供给效率产生的负面影响^[23,24],从而提出需要提升资金投入的力度和优化利用方式的路径。然而,资金的投入对效率的影响也存在差异性,由于目前对生态产品投入的社会性资金难以获得大样本的统计信息,同时政府投入的多少对社会资金的投入也有引导作用,暂且以政府的补贴投入来考虑,政府对生态环境领域的投入可以看做是一种政策信号,表明政府对生态产品供给的重视程度。因此,在生态产品供给的管理和资源利用过程中,生产者在接收到这类政策信号后将会充分利用各类要素,在现有投入水平下以求最大程度地产出生态产品,从而促进了纯技术效率的改善。在政府补贴引导加大的情况下,有研究通过分析补贴对某些农产品规模效率的影响后得出无显著作用的结论^[35],然而,在其他社会和市场资金的投入短期内快速增加的情况下,也有研究认为如果经营主体的经营和销售能力未能相应提升,那么“盲目扩张”则会对规模效率带来负面影响^[36]。对于生态产品来说,即便是目前运营专业性较强的“生态银行”模式,仍存在产业化运营和市场接受度低的困境^[37]。因此,以生态产品现有的经营和销售状况来说,政府补贴的增加可能并不利于形成供给的恰当规模,对规模效率的改善产生负面影响。

基于此,提出本文的理论假设2:政府补贴对生态产品供给的纯技术效率改善有显著的正面作用,但对规模效率改善有显著负面作用。

除了正式制度因素之外,新制度经济学认为还存在非正式制度,是指价值理念、文化及传统等一系列非强制性的规则。在生态产品供给领域,意愿、价值理念等非正式制

度因素对生态产品供给的效率也可能产生影响。现有研究认为价值观等因素对提供生态系统服务供给不可或缺^[38,39]，价值观、认同态度等因素对公众生态环保行为^[40,41]、大气污染治理效率^[42]、生态文明建设效率^[43]、生态旅游开发及企业环境绩效等都有显著作用。但在生态产品供给效率改善上，对这种意愿、价值观等影响因素的验证与分析仍然较少。首先，生态消费意愿关系到购买生态产品的倾向性和实际行为，如果消费意愿较高，将会产生一种市场带动作用，这种作用将会促进生产者充分利用要素而达成最大产出，进而促进纯技术效率的改进。虽然这种由市场需求所带动的投入产出与以上政府引导的投入相比，更有助于形成适合的规模，从而促进规模效率的改善，但由于市场本身发展的阶段性与健全程度不一致的原因，这种市场带动作用是否有利于形成最佳规模仍具有不确定性。其次，生态产品及其产业与乡村密切相关，对乡村的关注、反哺程度代表着重视乡村和城乡融合的价值观，也可能成为影响生态产品供给效率的因素。反哺通常是指工业化和现代化进程中工业对农业的反哺以及城市对农村的反哺^[44]，具有收入反哺、资源反哺^[45]、知识反哺以及离乡精英反哺^[46]等方式。但由于城镇对于乡村的反哺并非一种固定例行的行为，因此乡村反哺的程度、方式都存在较大的差异性，大多数个案化、地域化的反哺行为也无法对其进行对比量化，但城乡收入差距的缩小作为对乡村反哺的一种结果^[47]，可以替代性地衡量对乡村反哺的程度。现有研究发现，城乡收入差距增加会抑制农业生产率增长^[48]，这为本文中乡村反哺缩小城乡差异并促进生态产品效率增长提供了一定的依据。当对乡村的反哺达到一定的水平，城乡均衡化的程度将提高，这种城乡趋于“等值化”的环境，会使得城乡土地、资本等各类生产要素的价值平等化并且更具流动性，承载生态产品供给的生态空间规模和布局会逐渐得以优化，从而带动各类资本、人力要素投入达到恰当的规模，规模效率也就随之提升。同时，这种非正式制度因素作为正式制度因素的补充，形成了一种“制度整合”的优势，不仅对纯技术效率改善有积极影响，还可以对技术创新和政府补贴在规模效率改善上的“失灵”提供补充，见图1。



注：图中实线箭头代表正面作用，虚线箭头代表负面作用。

图1 技术创新和制度整合对生态产品供给效率改善的影响框架

Fig. 1 The framework in which tech innovation and institutional integration influences the supply efficiency improvement of ecological products

基于此，提出本文的理论假设3：生态产品消费意愿对生态产品供给的纯技术效率改善有显著正面作用。理论假设4：乡村反哺因素对生态产品供给的规模效率改善有显著的正面作用。

2 研究方法与数据来源

2.1 基于生态系统服务动态价值当量的省域生态产品供给价值测算

因本文涉及较大范围的省域生态产品供给价值量，故借鉴 Costanza 等^[4]、谢高地等^[49]的研究，根据生态系统服务价值当量法，测算中国省域 2011—2020 年的生态产品供给价值量。

对于各省份 1 个标准单位面积农田生态系统粮食价值（标准当量）的计算，借鉴魏慧等^[50]和王若思等^[51]的区域性生态系统价值当量计算方法，首先通过各省份的粮食单位面积产量和粮食平均收购价格，得出单位面积农田的粮食生产经济产值，而标准当量则按照单位面积农田粮食生产经济产值的 1/7^[52]来计算；再以 2020 年价格为基准，用 CPI 指数对各省份每年的标准当量进行修正，2011—2020 年这一时期各省份标准当量的平均值见表 1。

表 1 2011—2020 年中国省域标准当量的平均值
Table 1 Provincial ecosystem service average value equivalent in China in 2011-2020 (元/hm²)

省(市、自治区)	平均标准当量	省(市、自治区)	平均标准当量	省(市、自治区)	平均标准当量
北京	2153.89	浙江	2203.75	海南	1810.27
天津	2040.12	安徽	1886.40	重庆	1905.33
河北	1952.80	福建	2040.41	四川	1991.67
山西	1462.12	江西	2121.50	贵州	1341.26
内蒙古	1735.41	山东	2305.21	云南	1568.38
辽宁	2305.24	河南	2150.94	西藏	2050.32
吉林	2535.55	湖北	2151.78	陕西	1441.15
黑龙江	1855.78	湖南	2266.15	甘肃	1479.57
上海	2598.11	广东	2018.37	青海	1389.34
江苏	2391.94	广西	1819.03	宁夏	1759.06
				新疆	2267.07

对于省域生态产品供给价值量的测算，根据谢高地等^[49]的“中国生态系统单位面积生态服务价值当量表（2007 年）”，分别计算农田、森林、草地、湿地、河流/湖泊和荒漠生态系统的食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤、维持生物多样性、提供美学景观九个二级类型的生态系统服务价值。此外，根据谢高地等^[53]对价值当量表的动态修正方法，用 NPP 动态因子对食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、废物处理、维持生物多样性、提供美学景观功能的价值当量因子进行调节，用降水量动态因子对水文调节功能的价值当量因子进行调节，用土壤保持时空因子对土壤保持功能的价值当量因子进行调节。

各省份生态产品供给价值量测算公式如下：

$$EcoV = \sum_{k=1}^p EcoV_k \tag{1}$$

$$EcoV_k = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q D \times F_{nij} \times A_{ij} \tag{2}$$

$$F_{nij} = \begin{cases} P_{ij} \times F_{n1} \text{ 或} \\ R_{ij} \times F_{n2} \text{ 或} \\ S_{ij} \times F_{n3} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $EcoV$ 是各省份生态产品供给价值量（亿元）； $EcoV_k$ 是第 k 种生态系统的服务功能价值（亿元）； D 代表的是各省份2011—2020年的标准当量（亿元）； F_{nij} 是不同生态系统在第 i 年第 j 省份第 n 种服务功能的单位面积价值当量因子； A_{ij} 是第 i 年第 j 省份的不同生态系统面积（ hm^2 ）； F_n 代表的是不同生态系统的第 n 类生态系统服务的价值当量因子； n_1 是通过NPP时空调节因子进行修正的服务功能； n_2 是通过降水量时空调节因子进行修正的服务功能； n_3 是通过土壤保持因子进行修正的服务功能； P_{ij} 、 R_{ij} 、 S_{ij} 分别是NPP时空调节因子、降水时空调节因子和土壤保持时空调节因子，以上三个时空调节因子是通过第 i 年第 j 省份NPP（或降水量或土壤保持量）与全国平均NPP（或降水量或土壤保持量）的比值来表示，具体的计算方法见谢高地等^[53]的研究。

以上数据来源情况如下，粮食单位面积产量、粮食年均收购价格来自中国粮食和物资储备年鉴，基于全国2011—2020年的收购价格，用省域各年份的农产品价格指数与当年全国农产品价格指数的比值作为时空调节因子，得到各省份2011—2020年的粮食收购价格。CPI指数来自各省份统计年鉴，省域不同生态系统面积数据来自中国年度土地覆盖数据集（CLCD）的逐年土地覆盖信息，NPP相关的数据来自NASA，土壤保持量基于通用土壤流失方程由ArcGIS测算，省域年均降水量数据根据中国气象数据的降水量数据整理得出。

2.2 基于超效率SBM模型和ML指数的生态产品供给效率测算

借鉴已有研究对于生产效率的分解^[24,33,34]，本文采用考虑非期望产出的超效率SBM模型和Malmquist指数测算省域生态产品供给效率的改善情况，综合效率变化（ MI ）可分解为被评价单元在两个时期内的技术效率变化（ EC ）和技术进步（ TC ）。按FGNZ分解法将技术效率变化（ EC ）进一步分解，得到纯技术效率变化（ PEC ）和规模效率变化（ SEC ）。

$$MI = EC \times TC = PEC \times SEC \times TC \quad (4)$$

式中：技术进步指的是在生产及非生产过程中采用新设备、新工艺、新材料及进行相关改进等，技术效率（或纯技术效率或规模效率）变化代表的是后一年的技术效率（或VRS技术效率或规模效率）除以当年的技术效率（或VRS技术效率或规模效率），如测算出的 MI 、 PEC 、 $SEC > 1$ ，则代表各效率值较前一个时期有改善。各投入、期望及非期望产出指标有（表2）：

（1）物质资本投入。选取涉及农、林、牧、渔及水资源等的第一产业资本存量（亿元）为指标，根据宗振利等^[54]的2011年各省份一产资本存量及折旧率，采用永续盘存法计算，为了与期望产出中生态产品供给价值对应，将2011—2020年一产资本存量价值基于2020年价格进行转换。因一产情况较为特殊，其资本持有可能较为分散，那么这一资本存量所能产出的生态产品价值就会因资本分散程度有所不同，故需在一产业本存量基础上根据资本持有的分散程度进行调整。本文将农户在农林牧渔业的固定资产投资额与一产固定资产总投资额的比例作为资本存量调整因子，这一比例越高，则对应省份和年份的一产资本持有分散程度越高，这将会弱化资本存量的产出能力。如果用一产资本存

表2 各项投入、产出指标选取及数据来源

Table 2 Input and output variables and data source

各项投入/产出	指标选取	数据来源
物质资本投入	一产资本存量	基于宗振利等 ^[54] 研究中的一产资本存量,采用永续盘存法测算,农户在农林牧渔业的固定资产投资额与一产固定资产投资额分别来自《中国农村统计年鉴》与各省份国民经济统计公报及统计年鉴
劳动力投入	一产和生态旅游从业人员数	《中国人口和就业统计年鉴》《中国旅游统计年鉴》
土地要素投入	各类生态用地面积	CLCD逐年土地覆盖数据集
能源投入	农林牧渔产业的能源终端消费量	《中国能源统计年鉴》的能源平衡表
期望产出	生态产品供给的价值量	见1.1部分的测算
非期望产出	(1) 各省份空气污染水平 (2) 各省份噪声水平	(1) 用以测算该值的空气优良天数比例(AQI)来自各省份生态环境状况公报 (2) 用以测算该值的区域环境噪声平均等效声级来自生态环境状况公报

量除以该调整因子,则可反映出更准确的资本存量产出能力。同时,经调整后,一产资本存量与生态产品价值产出之间也满足了显著正相关的条件。

(2) 劳动力投入。选取第一产业和生态旅游业的从业人员数(万人)为指标。根据已有文献中自然景观旅游占旅游总收入70%的设定^[55],基于旅游业从业人员数得出生态旅游的从业人数。

(3) 土地要素投入。用生态产品供给的用地面积(km²)表示,因生态产品供给价值测算是基于各类生态用地进行的,故采用各省份2011—2020年除建设用地之外的生态用地总面积表示。

(4) 能源投入。用农林牧渔等领域的主要能源消费量(万tce)表示,包括煤、油品和电力终端消费量,并换算为以标准煤为单位。

(5) 期望产出。选取前面测算的省域生态产品供给价值量(亿元)表示。

(6) 非期望产出。生态产品在生产、养护以及消费过程中,同样会产生污染的问题,比如原料或产品的交通运输、生产者或消费者出行所带来的空气和噪声污染,都属于非期望产出。考虑到数据的可得性和可比性,本文选取两个指标:一是空气污染,选取 $[100-AQI \times 100]$ 表示;二是噪声,选取区域环境噪声昼间时段的平均等效声级dB(A)表示。

2.3 基于IPAT模型扩展的生态产品供给效率改善影响因素的GMM动态面板分析

本文采用IPAT扩展模型,分析生态产品供给效率改善的影响因素。IPAT模型是用于分析环境压力影响因素的模型,具体如下:

$$I = P \times A \times T \quad (5)$$

式中: I 是环境压力; P 是人口数量(万人); A 为富裕度; T 是技术因素。

该模型适合于对技术创新因素影响的分析,同时在此基础上对影响生态产品供给效率改善的因素进行扩展,除了现有经济、产业因素外,引入正式制度和非正式制度因素的变量。此外,本文采用动态面板分析法,将滞后期的因变量纳入解释模型。本文对作为因变量进行了转换,即若此值大于1,则视为有效率改善,并将其重新编码为1,若小于等于1,则视为无效率改善,编码为0。

对连续性变量取对数后，模型如下：

$$E_{it} = \lambda E_{i(t-1)} + \alpha \ln P_{it} + \beta \ln GDPPC_{it} + \theta \ln TEC_{it} + \gamma \ln GDPR_{it} + \delta \ln FIR_{it} + \mu \ln SUR_{it} + \omega_1 \ln ER_{it} + \omega_2 \ln RI_{it} + \ln \varepsilon$$

(6)

式中： E_{it} 为第*i*省份第*t*年生态产品供给效率改善； $E_{i(t-1)}$ 是第*i*省份第*t*-1年生态产品供给效率改善，即因变量滞后一期； $\ln P_{it}$ 代表人口水平（万人）； $\ln GDPPC_{it}$ 为人均GDP（万元）； $\ln TEC_{it}$ 是技术性要素； $\ln GDPR_{it}$ 是经济发展水平（%）； $\ln FIR_{it}$ 是产业结构要素； $\ln SUR_{it}$ 是正式制度因素； $\ln ER_{it}$ 、 $\ln RI_{it}$ 代表非正式制度因素； λ 、 α 、 β 、 θ 、 γ 、 δ 、 μ 、 ω_1 、 ω_2 是待估参数； ε 为随机扰动项。

关于指标选取，因变量为2012—2020年省域生态产品供给效率改善，分别将综合效率（*MI*）变化、纯技术效率变化（*PEC*）和规模效率变化（*SEC*）转换为0或1，作为因变量。

自变量包括人口和富裕程度，同时在技术要素基础上进行扩展，纳入正式及非正式制度视角的因素，同时包括经济、产业结构要素及因变量滞后一期（表3）。

基本因素有三个：（1）人口，用常住人口表示；（2）富裕程度，用人均GDP表示；（3）技术创新，用绿色专利授权数量表示。同时已有研究中提出的因素包括：（4）经济发展水平，用GDP增长率来衡量；（5）产业结构因素，采用与农林牧渔及水产品密切相关的第一产业固定资产投资比例来表示产业结构特点。本文引入的制度性因素包括：（6）正式制度因素，采用环保治理财政投入占GDP比例表示，生态产品供给对政府及补贴的依赖性较高，本文尝试以补贴比例这一量化指标，代表正式制度因素的影响；（7）非正式制度因素，选取两个指标，一是整个社会对生态产品消费的倾向性及意愿，不同地区对生态标签产品的支付意愿存在差异^[6]，并且当地居民对生态产品消费的态度及所形成的氛围会对生态产品供给产生影响^[7]。此处采用两个与生态产品消费密切相关的指标之乘积来表示，第一个是农林牧渔等第一产业与生态旅游业增加值之和，第二个是

表3 各连续变量的描述性统计结果

Table 3 Summary of variables

变量名称	选取指标（取对数）	平均值	标准差	最小值	最大值
人口	常住人口 ($\ln P$)	8.13	0.84	5.75	9.44
富裕程度	人均GDP ($\ln GDPPC$)	1.65	0.42	0.65	2.80
技术创新	绿色专利授权数 ($\ln TEC$)	5.98	1.58	0.69	8.84
经济发展	GDP增长率 ($\ln GDPR$)	1.92	0.75	-6.91	2.75
产业结构	一产投资比例 ($\ln FIR$)	-3.71	1.04	-9.78	-1.66
正式制度	环保治理财政投入占 GDP比例 ($\ln SUR$)	-0.33	0.65	-1.50	4.35
非正式制度	生态产品消费的倾向性 ($\ln ER$)	12.12	0.96	8.68	13.60
	乡村反哺水平 ($\ln RI$)	9.97	0.25	9.33	10.69

(100-恩格尔系数×100) 的值, 根据恩格尔系数的定义, 该系数越低代表家庭用于食物等基本需求之外的消费越多, 那么对生态产品消费这种溢价性较强的产品也就更加偏好, 代表整个社会绿色生活方式和文化氛围对生态产品的供给越有利, 但是由于一产等增加值的高低与当地的资源禀赋也紧密相关, 为更加准确地体现出生态消费意愿的水平, 应该在前述两指标乘积中剔除资源禀赋的因素, 因此该乘积再除以当地当年的生态用地比例值, 最终得出的指标来表示生态产品消费倾向; 二是因生态产品供给与乡村及其人口密切相关, 对乡村及其生活水平的重视程度也可表现出整个社会珍视生态环境的价值观, 这种对乡村的反哺用农村家庭人均可支配收入水平与城镇化率的比值表示, 这一比值越高可反映出城乡差距越小, 反哺水平越高。

常住人口数据来自《中国统计摘要》, 人均GDP数据来自《中国统计年鉴》, 绿色专利授权数据整理自国家知识产权局, GDP增长率来自各省份统计公报及年鉴, 一产固定资产投资、环保治理财政投入、旅游收入、恩格尔系数、农村居民家庭人均可支配收入和城镇化率数据来自各省份统计公报及年鉴。此外, 生态旅游业增加值的计算方法是基于旅游总收入和生态旅游约占旅游业总额的70%^[55], 得出生态旅游总收入, 再基于现有文献中关于旅游收入与旅游增加值的比例^[58], 得出生态旅游业增加值。

本文采用Stata软件来进行动态面板数据分析。表3显示的是上述各变量的描述性统计结果。并对面板数据采用HT单位根检验来判断数据是否具有平稳性, 均通过检验, 且在1%水平上显著。

3 结果分析

3.1 中国生态产品供给价值量的演变

在2011—2020年, 中国生态产品供给价值量的演变见表4。总体来看先升后降, 最高点是2013年的25.15万亿, 从变化率来看, 2019年和2020年有较大幅度的明显下降。不同生态系统服务功能的价值量演变中, 首先是维持生物多样性、水文调节、气候调节及气体调节、保持土壤、废物处理功能的价值量相对较高, 其次是提供美学景观和原材料生产, 食物生产功能的价值量最低, 各类功能的价值量水平也表现出类似的变化趋势。调节功能价值量最高而食品、原材料等供给量较低的特点与已有研究中2010年中国生态系统服务价值量的测算结果^[53]类似。基于本文所采用的价值量测算方法, 生态产品价值量的下降趋势主要是与各类生态系统用地面积的变化有关, 尽管近年来中国森林和湿地的面积在快速提升, 但部分地区农田和水域的面积有所下降, 因此生态产品供给价值量也会随之变化。

表4 2011—2020年中国生态产品供给价值量演变
Table 4 Ecological products value evolution in China in 2011-2020

生态产品价值	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
总价值量/万亿	22.65	24.92	25.15	24.96	23.68	22.20	22.61	22.36	20.10	18.82
变化率/%	—	10.06	0.92	-0.75	-5.12	-6.26	1.83	-1.08	-10.13	-6.36

从省域生态产品供给价值角度, 由于生态系统资源禀赋的不同, 价值量差异很显著, 以2020年为例, 省域生态产品供给价值量情况见图2。总价值量在1万亿元以上的

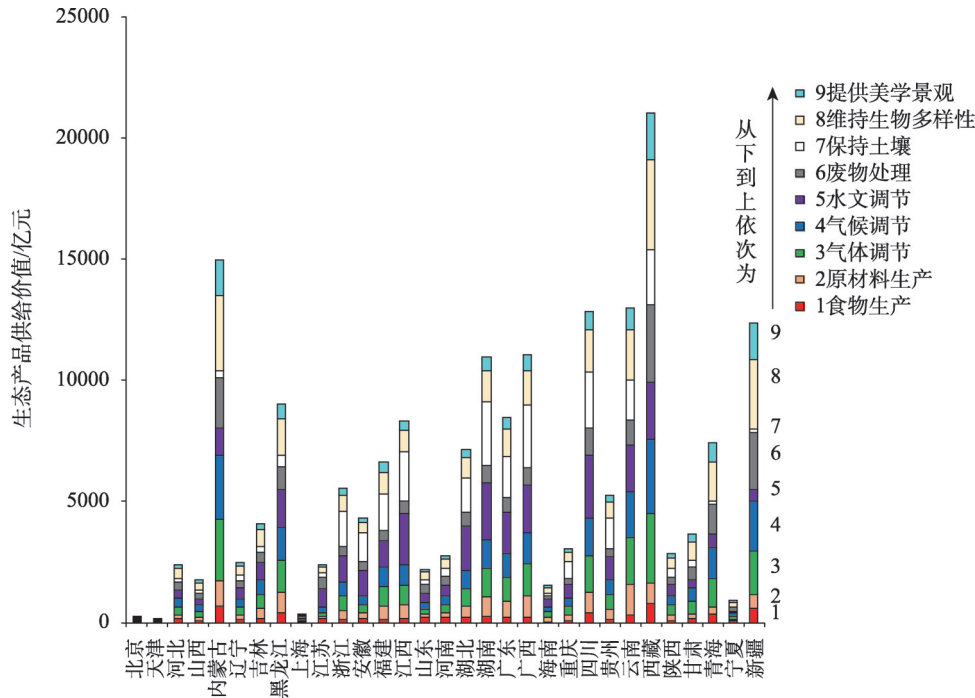


图2 2020年中国省域生态产品供给价值总量及各类生态系统服务功能价值量

Fig. 2 Total ecological products value and different ecosystem functional values by province in China in 2020

地区有西藏、内蒙古、新疆、云南、四川、广西及湖南，而北京、上海和天津的生态产品供给量较小，基本在100亿~400亿元之间。细分到不同种类的生态系统服务功能，各省份生态系统的几类调节、废物处理与维持生物多样性的价值量普遍较高，而食物生产、原材料及景观价值量则仅占较少比例。

3.2 中国生态产品供给效率改善及演变

2012—2020年，中国省域生态产品供给综合效率（MI）的改善情况显示，省域综合效率的改善状况出现了频繁的波动，效率实现改善的年份相对有限，在9年31省份共279个样本数据中，有151个样本出现综合效率退步的情况。所有省份都不同程度地出现了综合效率退步的情况，一些省份综合效率退步的年份高达7年，有超过50%的省份在超过一半的年份中并未实现综合效率的改善。

将综合效率（MI）改善继续分解为技术进步（TC）与技术效率变化（EC），后者则可继续分解为纯技术效率变化（PEC）和规模效率变化（SEC）。观察以上151个综合效率退步的样本，其中有108个样本的技术进步（TC）测算结果小于1，有113个样本较前一年未能实现技术效率的改善，结合继续分解的结果，纯技术效率退步和规模效率退步的情况同样多发。本文基于动态价值当量法测算生态产品价值量并测度效率的结果与已有研究得出了相似的结论，中国生态产品供给效率亟需改善，下面将分别以综合效率变化、纯技术效率变化和规模效率变化为因变量，聚焦技术创新—制度整合双重视角，分析效率改善的影响因素。

3.3 技术创新—制度整合下生态产品供给效率改善的影响因素

本文借助Stata软件基于系统GMM动态面板方法分析生态产品供给效率改善的影响

因素。在具体的模型设定上,首先根据IPAT基础模型及已有控制变量,考察技术创新因素的影响,然后采取制度因素变量逐个进入的方式来分析不同制度因素的影响及技术创新与制度整合的影响(表5)。

表5 中国省域生态产品供给效率改善的影响因素系数及显著性

Table 5 Coefficients and significance of the influencing factors

		模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
E_{t-1}	<i>MI</i>	-0.1482	-0.1557	-0.1449	-0.2145	-0.1470	-0.2240
	<i>PEC</i>	-0.5641*	-0.6635*	-0.6626**	-0.6234**	-0.6504*	-0.6265**
	<i>SEC</i>	-0.2653***	-0.2463***	-0.2540***	-0.2585***	-0.2402***	-0.2415***
$\ln P$	<i>MI</i>	-0.0559	-0.0653	-0.0599	-0.3567**	-0.0570	-0.3796**
	<i>PEC</i>	-0.1956	-0.1948	-0.1512	-0.5145***	-0.2095	-0.4548**
	<i>SEC</i>	0.0645	0.0700	0.0214	0.0019	0.0423	-0.0183
$\ln GDPPC$	<i>MI</i>	0.1679	0.1491	0.1451	-0.0254	0.1801	0.0238
	<i>PEC</i>	-0.3285*	-0.3846*	-0.3424	-0.5444**	-0.4318*	-0.4977**
	<i>SEC</i>	0.1194	0.0512	0.0151	0.0037	-0.0302	-0.0782
$\ln TEC$	<i>MI</i>	-0.0140	-0.0166	-0.0149	-0.0106	-0.0185	-0.0148
	<i>PEC</i>	0.1435*	0.1467*	0.1476*	0.1514**	0.1535*	0.1549**
	<i>SEC</i>	-0.0475	-0.0532	-0.0556	-0.0487	-0.0390	-0.0449
$\ln GDPR$	<i>MI</i>		-0.0891***	-0.0933***	-0.0924***	-0.0928***	-0.1007***
	<i>PEC</i>		-0.0881*	-0.0829*	-0.0872*	-0.0816*	-0.0829**
	<i>SEC</i>		-0.0443	-0.0444	-0.0353	-0.0218	-0.0239
$\ln FIR$	<i>MI</i>		0.0143	0.0135	-0.0113	0.0122	-0.0213
	<i>PEC</i>		0.0060	-0.0013	-0.0159	0.0093	-0.0212
	<i>SEC</i>		-0.0427*	-0.0373	-0.0512	-0.0355	-0.0243
$\ln SUR$	<i>MI</i>			0.0014			0.0264
	<i>PEC</i>			0.1003***			0.0903***
	<i>SEC</i>			-0.1141*			-0.1372**
$\ln ER$	<i>MI</i>				0.2817**		0.3291**
	<i>PEC</i>				0.3131*		0.2863*
	<i>SEC</i>				0.0544		0.0057
$\ln RI$	<i>MI</i>					-0.0828	-0.1958
	<i>PEC</i>					0.1187	-0.0078
	<i>SEC</i>					0.2345*	0.2759
AR2	<i>MI</i>	0.534	0.441	0.498	0.274	0.455	0.272
	<i>PEC</i>	0.261	0.210	0.143	0.210	0.240	0.146
	<i>SEC</i>	0.296	0.318	0.297	0.280	0.340	0.362
Hansen	<i>MI</i>	0.111	0.096	0.101	0.153	0.098	0.175
	<i>PEC</i>	0.301	0.267	0.320	0.333	0.273	0.388
	<i>SEC</i>	0.256	0.244	0.265	0.279	0.290	0.271

注: *, **, ***分别表示10%、5%、1%的水平上显著,下同。

结果显示,6个模型中的AR2和Hansen检验结果都>0.05,表明GMM方法和模型变量选取合理有效。模型1包括IPAT模型三个基础变量及因变量的滞后项,*PEC*和*SEC*滞

后项的系数均为负且显著,表明纯技术效率和规模效率改善的情况波动频繁;且6个模型中都凸显出效率改善的这种波动效应,表明中国生态产品供给效率改善并没有稳定的正向累积效应,凸显出生态产品供给过程中投入和产出的粗放特征,并未形成有意识的、稳定的高效供给机制。

以绿色专利授权数代表的技术因素对效率的影响具有差异性,技术创新仅对 PEC 的改善有比较显著的促进作用,对 MI 和 SEC 的改善具有微弱的负面影响,并不显著,表明技术创新所带来的技术知识和管理水平的提升,有利于生产要素的充分利用和最大化产出,促进了纯技术效率的改善。这也解释了中国绿色技术创新水平不断提升与生态产品供给效率退步之间的悖论,即技术创新仅促进了其中的纯技术效率,因此聚焦于技术创新的生态创新仍远远不够,需要对资源合理配置并形成生态产品高效供给的合理制度环境,共同促进效率的全面提升。模型2在模型1的基础上,加入以往研究中的经济增长和产业结构要素,结果显示经济增长率对 MI 和 PEC 的改善有非常显著且稳定的抑制作用,说明在发展路径上追求高速增长,不仅对生态环境质量有损害,同时也不利于生态产品的高效供给。原因在于经济高速增长很可能会占用生态产品供给所需的各类资本、土地等要素投入,产生一定的权衡效应,对合理配置生态产品供给的各项要素投入产生不利影响,同时也会产生更多的污染等非期望产出,从而引发供给的低效。

模型3加入财政补贴型这一变量,发现其对 PEC 有显著促进作用,而对 SEC 有较为显著的负面影响,说明补贴有利于这一领域生产要素投入的充分利用,提高了各类资源的利用率及产出水平,从而促进了纯技术效率改善,但同时也说明由于政府较高补贴的信号可能带动相关要素的短期过度投入;又由于生态产品整体的经营和市场水平未能相应提升,因此并不利于该领域保持其最佳规模,阻碍了规模效率的提升。模型4加入用以表示生态产品消费倾向性的非正式制度因素,其对 MI 和 PEC 的改善均表现出显著的促进作用,但对 SEC 的正面影响并不显著,说明市场需求的带动作用确实存在不确定性,并不能保证生态产品供给的规模效率一定得到改善;这样的结果不仅验证了理论假设中生态消费意愿对纯技术效率改善的作用,也发现其对 MI 改善的促进同样较为显著,与政府补贴的带动作用相比,这种基于市场的带动作用确实较为全面,对 PEC 、 SEC 均有稳定的促进,从而使得 MI 也得到明显的改善。模型5加入代表对乡村及其人口反哺程度的变量,其对 SEC 的改善有较为显著的正面影响,这为补贴措施和生态消费意愿因素对 SEC 改善的缺位提供了补充。反哺乡村使城乡发展趋于均衡,在城乡融合的背景下,城乡土地、资本等各类生产要素趋于双向自由流动,改变了生态产品大规模聚集于偏僻乡村的现状,带动各类要素投入的规模和结构实现优化,从而促进了规模效率的改善。目前,各类资源向城镇聚集趋于固化,而反哺乡村这一举措使得城乡均衡、要素双向流动,将有助于生态产品供给规模效率的改善,可以说,这一诉诸公平性的解决方案为效率的提升也做出了不可或缺的贡献,实现了兼顾公平与效率的目标。

模型6在模型2的基础上加入上述三个正式及非正式制度变量,发现补贴对 PEC 的正面作用及对 SEC 的负面作用、生态消费意愿对 MI 和 PEC 的正面作用及乡村反哺水平对 SEC 的促进作用仍然有显著性,三个制度性因素的作用较为显性和稳定。从制度整合来看,在目前的补贴政策基础上,有必要从进一步推动生态消费、乡村反哺及城乡均衡等这类非正式制度建设上实现各类效率的整体改善,推动这类非正式制度因素的长效化、

稳定化,从而保持这种制度整合下的优势。

为验证研究结果的可靠性,本文用替换变量和改变样本容量的方式进行稳健性检验,首先采用替换自变量的方式,将原自变量一产资本投入比例(*FIR*)替换为三产资本投入比例(*TIR*);其次将乡村家庭人均可支配收入与城镇化率比值所表示的对乡村反哺水平,更换为乡村与城镇家庭人均可支配收入的比值;再次,采取改变样本容量的方式,在样本中去掉内蒙古、新疆和西藏三个面积较大且生态用地远高于其他地区的样本,再次进行分析,稳健性检验的结果见表6~表8。本文主要关注的具有显著性的技术因素和制度性变量系数的作用方向并未发生变化,尽管其显著性有略微变化,但并不构成实质性影响,说明结果稳健有效。

表6 稳健性检验结果一
Table 6 Robustness results (1)

		模型2	模型3	模型4	模型5
<i>E_{t-1}</i>	<i>MI</i>	-0.1698	-0.1506	-0.2319	-0.1562
	<i>PEC</i>	-0.6432*	-0.6233**	-0.6260*	-0.6247*
	<i>SEC</i>	-0.2524***	-0.2527***	-0.2644***	-0.2444***
ln <i>TEC</i>	<i>MI</i>	-0.0242	-0.0215	-0.0129	-0.0279
	<i>PEC</i>	0.1391*	0.1462*	0.1417**	0.1377*
	<i>SEC</i>	-0.0362	-0.0454	-0.0387	-0.0172
ln <i>SUR</i>	<i>MI</i>		-0.0045		
	<i>PEC</i>		0.0803**		
	<i>SEC</i>		-0.1272**		
ln <i>ER</i>	<i>MI</i>			0.2493**	
	<i>PEC</i>			0.1881*	
	<i>SEC</i>			-0.0007	
ln <i>RI</i>	<i>MI</i>				-0.1187
	<i>PEC</i>				-0.0743
	<i>SEC</i>				0.2418*
控制变量	效率	Y	Y	Y	Y
AR2	<i>MI</i>	0.385	0.470	0.230	0.416
	<i>PEC</i>	0.220	0.176	0.203	0.268
	<i>SEC</i>	0.295	0.307	0.269	0.324
Hansen	<i>MI</i>	0.093	0.098	0.138	0.096
	<i>PEC</i>	0.246	0.269	0.283	0.241
	<i>SEC</i>	0.258	0.252	0.278	0.275

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于中国省域2011—2020年数据,通过动态价值当量法测算省域生态产品供给价值,通过超效率SBM模型和*ML*指数对效率改善进行测算,并从技术创新—制度整合视角探究效率改善的影响因素。结论如下:

表7 稳健性检验结果二
Table 7 Robustness results (2)

		模型2	模型3	模型4	模型5
E_{t-1}	MI	-0.1698	-0.1506	-0.2319	-0.1522
	PEC	-0.6432*	-0.6233**	-0.6260*	-0.5231*
	SEC	-0.2524***	-0.2527***	-0.2644***	-0.2473***
$\ln TEC$	MI	-0.0242	-0.0215	-0.0129	-0.0194
	PEC	0.1391*	0.1462*	0.1417**	0.1388*
	SEC	-0.0362	-0.0454	-0.0387	-0.0493
$\ln SUR$	MI		-0.0045		
	PEC		0.0803**		
	SEC		-0.1272**		
$\ln ER$	MI			0.2493**	
	PEC			0.1881*	
	SEC			-0.0007	
$\ln RI$	MI				0.1631
	PEC				0.3328
	SEC				0.3166*
控制变量	效率	Y	Y	Y	Y
AR2	MI	0.385	0.470	0.230	0.435
	PEC	0.220	0.176	0.203	0.293
	SEC	0.295	0.307	0.269	0.316
Hansen	MI	0.093	0.098	0.138	0.099
	PEC	0.246	0.269	0.283	0.367
	SEC	0.258	0.252	0.278	0.252

(1) 2011—2020年，中国生态产品供给价值量先升后降，省域生态产品供给价值量的差异显著。省域综合效率（ MI ）的改善状况出现频繁波动，所有省份都不同程度地出现综合效率退步的情况。进一步分解后，纯技术效率（ PEC ）退步和规模效率（ SEC ）退步的情况同样多发。

(2) 技术创新仅对 PEC 改善有显著促进，财政补贴投入的正式制度因素对 PEC 改善起到显著促进作用，但同时也明显抑制 SEC 改善，生态产品消费意愿对 MI 和 PEC 均有显著的正面影响。乡村反哺水平因素则较为显著地促进 SEC 改善，非正式制度因素为技术创新和正式制度对 SEC 改善的缺位提供了补充，形成了制度整合的效率改善优势，这为技术创新与制度整合促进生态产品供给效率的改善提供了积极的实证证据。

4.2 讨论及启示

生态产品供给的综合效率变化中包含复杂的信息，经分解后得到了纯技术效率和规模效率改善的情况，这种差异性的分析方式为效率改善影响因素的分析提供了更加精确的路径。与现有研究中对技术影响的结论^[25,26]不同的是，本文发现技术创新仅对纯技术效率改善有显著促进，技术创新提高了该领域的技术知识和管理水平，促进了投入要素的充分利用，但并不能保证规模效率的改善。在非正式制度因素的影响上，现有研究认为非正式机制在生态系统服务供给方面提升效率的作用低于强制性协议^[59]，本文则验证了

表8 稳健性检验结果三
Table 8 Robustness results (3)

		模型2	模型3	模型4	模型5
E_{t-1}	MI	-0.1557	-0.1449	-0.2145	-0.1470
	PEC	-0.6635*	-0.6626**	-0.6234**	-0.6504*
	SEC	-0.2463***	-0.2540***	-0.2585***	-0.2402***
$\ln TEC$	MI	-0.0166	-0.0149	-0.0106	-0.0185
	PEC	0.1467*	0.1476*	0.1514**	0.1535*
	SEC	-0.0532	-0.0556	-0.0487	-0.0390
$\ln SUR$	MI		0.0014		
	PEC		0.1003***		
	SEC		-0.1141*		
$\ln ER$	MI			0.2817**	
	PEC			0.3131*	
	SEC			0.0544	
$\ln RI$	MI				-0.0828
	PEC				0.1187
	SEC				0.2345*
控制变量	效率	Y	Y	Y	Y
AR2	MI	0.441	0.498	0.274	0.455
	PEC	0.210	0.143	0.210	0.240
	SEC	0.318	0.297	0.280	0.340
Hansen	MI	0.096	0.101	0.153	0.098
	PEC	0.267	0.320	0.333	0.273
	SEC	0.244	0.265	0.279	0.290

非正式制度因素在生态产品供给效率改善方面与财政补贴投入措施的差异，非正式制度在各类效率的提升上都表现出积极作用，特别是弥补了技术创新和正式制度对规模效率改善的缺失，这一积极证据将为在政策中更重视这类柔性制度性措施提供参照。

本文的缺陷在于，基于大样本的分析对非正式制度因素只能选择易量化的指标，客观上忽略了基于调查、访谈等方式获取价值观、态度等数据的可能性，这些数据可能更具表现力。因此，后续研究可基于较小尺度的（多）案例分析，进一步分析非正式制度及制度整合对于生态产品供给效率改善的影响。此外，生态产品供给价值量变化在2019年和2020年下降幅度较大，这背后的现实原因较为复杂，由于本文篇幅所限，无法展开深入研究，需要后续研究的进一步分析。

政策启示在于，在中国进行生态产品供给和提升生态产品产出价值的过程中，亟需克服目前供给低效的问题，精细化地识别不同类型效率退步的状况及影响因素，更好地提高生态产品供给的持续性和稳定性。（1）在推动生态创新的过程中，由于技术创新仅对纯技术效率的改善表现出显著的积极作用，需要认识到技术创新的作用边界与局限性，同时也应认识到财政投入对不同效率的作用具有分异性。因此，不仅应持续大力在生态产品供给领域进行技术创新和政府投入，采用新知识和技术，促进纯技术效率改善，同时也要看到生态创新在技术创新的基础上需要进一步优化制度环境，加强制度环

境营造,特别是关注非正式制度因素的长效化。(2)应加强生态消费理念和乡村反哺价值观等非正式制度建设,才能同时促进规模效率的提升,形成技术创新—制度整合的效率改善优势。在本文中市场带动的生态产品需求表现出了比政府补贴带动更加全面的效率改善促进功能,因此需要强化公众的绿色消费观念,营造更多的生态消费场景,要大力构建生态产品投入产出的市场化机制,吸引更多的生态产品供给市场主体,通过市场化、产品化的方式实现更多元化主体的参与,鼓励各投入要素的市场化流动,同时支持各类要素及其产品通过市场化路径获取收益,从而促进要素投入的充分利用,也要注意政府的引导作用,形成政府引导和市场主体相结合的生态产品供给健康市场机制。(3)乡村反哺及城乡均衡有助于要素在城乡间进行更加合理的配置,促进规模效率的提升,从而全面实现供给效率的改善,因此应进一步丰富对乡村反哺的方式,在经济补贴之外促进乡村生态型产业振兴,为乡村发展提供产业支柱,为乡村人口提供更多的就业机会,缩小城乡间的经济、设施差距,推进城乡均衡、融合发展。

参考文献(References):

- [1] 谭荣. 科学编制生态产品供给规划: 聚焦生态产品价值实现机制典型路径. 中国自然资源报, 2020-05-27(003). [TAN R. Scientifically stipulating ecological product provision planning-focusing on classical routes of value realization of ecological products. China Natural Resources News, 2020-05-27(003).]
- [2] 丘水林, 靳乐山. 生态产品价值实现的政策缺陷及国际经验启示. 经济体制改革, 2019, (3): 157-162. [QIU S L, JIN L S. International experience and reference of value realization of ecological goods. Reform of Economic System, 2019, (3): 157-162.]
- [3] 曾贤刚, 虞慧怡, 谢芳. 生态产品的概念、分类及其市场化供给机制. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 12-17. [ZENG X G, YU H Y, XIE F. Concept, classification and market supply mechanism of ecological products. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(7): 12-17.]
- [4] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(15): 253-260.
- [5] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005: 7.
- [6] LOWE E, STEVEN R, MORRIS R, et al. Supporting urban ecosystem services across terrestrial, marine and freshwater realms. Science of the Total Environment, 2022, 817: 152689, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152689.
- [7] GITHIORA-MURIMI Y, OWUOR M, ABILA R, et al. Integrating stakeholder preferences into ecosystem services mapping in Yala Wetland, Kenya. Ecosystem and People, 2022, 18(1): 146-163.
- [8] HU P, ZHOU Y, ZHOU J, et al. Uncovering the willingness to pay for ecological red lines protection: Evidence from China. Ecological Indicators, 2022, 134: 108458, Doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108458.
- [9] LOPEZ-CUBILLOS S, RUNTING R, SUAREZ-CASTRO A, et al. Spatial prioritization to achieve the triple bottom line in payment for ecosystem services design. Ecosystem Services, 2022, 55: 101424, Doi: 10.1016/j.ecoser.2022.101424.
- [10] 金铂皓, 黄锐, 冯建美, 等. 生态产品供给的内生动力机制释析: 基于完整价值回报与代际价值回报的双重视角. 中国土地科学, 2021, 35(7): 81-88. [JIN B H, HUANG R, FENG J M, et al. Analysis on internal driving mechanism of eco-label product supply: From the perspectives of complete value and intergenerational value. China Land Science, 2021, 35(7): 81-88.]
- [11] 谷中原, 谭洪. 生态文明视域下的优质生态产品协同供给. 人民论坛·学术前沿, 2021, (23): 132-134. [GU Z Y, TAN H. Collaborative supply of ecological products from the perspective of ecological progress. Frontiers, 2021, (23): 132-134.]
- [12] 苏伟忠, 周佳, 彭棋, 等. 长江三角洲跨界流域生态产品交易机制: 以天目湖流域为例. 自然资源学报, 2022, 37(6): 1598-1608. [SU W Z, ZHOU J, PENG Q, et al. Ecosystem service products trading in the transboundary basin of the

- Yangtze River Delta: An example of Tianmu Lake Basin. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1598-1608.]
- [13] COSTANZA R. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness and sustainability. *Ecosystem Services*, 2020, 43: 101096, Doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101096.
- [14] 吴强, 李森, 高龙, 等. 社会资本参与流域综合治理的现状、问题和建议. *水利经济*, 2019, 37(4): 23-26, 76. [WU Q, LI M, GAO L, et al. Status, issues and recommendations of participation of social capital integrated river basin management. *Journal of Economics of Water Resources*, 2019, 37(4): 23-26, 76.]
- [15] LU H, MAYER A, ZHOU S, et al. Unveiling the quasi-public-private partnership (QPPP): Evidence from China's environmental service sector. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 2021, 23(3): 302-316.
- [16] PASCUAL A, GIARDIAN C, ROVAK N, et al. Integrating ecosystem services modeling and efficiencies in decision-support models conceptualization for watershed management. *Ecological Modelling*, 2022, 466: 109879, Doi: 10.1016/j.ecolmodel.2022.109879.
- [17] SHIN W M, KIM B. The efficiency of payment for ecosystem services (PES) in preservation of farmland for mitigation of flood damage in the age of climate change: Case study of Japan. *Journal of Korean Society of Rural Planning*, 2020, 26(1): 1-12.
- [18] SUSAETA A, ADAMS D, CARTER D, et al. Climate change and ecosystem services output efficiency in Southern Loblolly Pine Forests. *Environmental Management*, 2016, 58(3): 417-430.
- [19] CHEN W, CHI G. Spatial mismatch of ecosystem service demands and supplies in China, 2000-2020. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2022, 194(4): 295, Doi: 10.1007/s10661-022-09981-y.
- [20] WANG J P, WANG J M, ZHANG M, et al. The payment scheme for ecosystem services in the coastal city based on the ecosystem services value and current payment efficiency: A case study in Jimo of Qingdao city, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(32): 49179-49193.
- [21] CHEN X, LUPI F, VINA A, et al. Using cost-effective targeting to enhance the efficiency of conservation investments in payments for ecosystem services. *Conservation Biology*, 2010, 24(6): 1469-1478.
- [22] MESSER K, DUKE J, LYNCH L, et al. When does public information undermine the efficiency of reverse auctions for the purchase of ecosystem services?. *Ecological Economic*, 2017, 134: 212-226.
- [23] 朱颖, 张滨, 倪红伟, 等. 基于公共产品供给理论的森林生态产品产出效率比较分析. *林业经济问题*, 2018, 38(2): 25-32, 102. [ZHU Y, ZHANG B, NI H W, et al. Study on output efficiency of forest ecological products based on supply theory of public goods. *Issues of Forestry Economics*, 2018, 38(2): 25-32, 102.]
- [24] 张洪瑞, 吕洁华. 森林生态产品供给的投入产出效率分析: 以东北重点国有林区为例. *经济问题*, 2017, (9): 87-94. [ZHANG H R, LYU J H. Analysis on input-output efficiency of supply of forest eco-products: A case study of key state-owned forest area of northeast. *On Economic Problems*, 2017, (9): 87-94.]
- [25] 贺义雄, 张怡卉, 李春林. 基于RSBM-DEA模型的舟山市水生态产品供给效率及影响因素研究. *水资源保护*, 2022, 38(4): 195-203. [HE Y X, ZHANG Y H, LI C L. Supply efficiency of water ecological products and its influencing factors in Zhoushan city based on RSBM-DEA model. *Water Resources Protection*, 2022, 38(4): 195-203.]
- [26] 郑晶, 于浩. 供给侧改革视角下中国省域生态产品有效供给及影响因素. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 3326-3336. [ZHENG J, YU H. Effective supply of eco-product and its influence factors at provincial scale of China from the perspective of supply-side reform. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(10): 3326-3336.]
- [27] 彭文英, 尉迟晓娟. 京津冀生态产品供给能力提升及价值实现路径. *中国流通经济*, 2021, 35(8): 49-60. [PENG W Y, YUCHI X J. The supply capacity improvement and value realization path of ecological products in Beijing-Tianjin-Hebei. *China Business and Market*, 2021, 35(8): 49-60.]
- [28] 王夏晖, 朱振肖, 牟雪洁, 等. 区域景观规划: 增强优质生态产品供给能力的重要途径. *环境保护*, 2021, 49(13): 54-57. [WANG X H, ZHU Z X, MU X J, et al. Regional landscape planning: An important way to enhance the supply capacity of high quality ecological products. *Environmental Protection*, 2021, 49(13): 54-57.]
- [29] BEISE M, RENNINGS K. Lead markets and regulation: A framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations. *Ecological Economics*, 2005, 52(1): 5-17.
- [30] 胡森林, 鲍涵, 郝均, 等. 环境规制对长三角城市绿色发展的影响: 基于技术创新的作用路径分析. *自然资源学报*, 2022, 37(6): 1572-1585. [HU S L, BAO H, HAO J, et al. Research on the impact of environment regulation on urban

- green development in the Yangtze River Delta: An analysis of intermediary mechanism based on technological innovation. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1572-1585.]
- [31] OECD. *Eco-innovation in Industry: Enabling Green Growth*. Paris, France: OECD, 2010: 15-16.
- [32] SARKAR A N. Promotion of eco-innovation to leverage sustainable development of eco-industry and green growth. *European Journal of Sustainable Development*, 2013, 2(1): 171-224.
- [33] 郑京海, 胡鞍钢. 中国改革时期省际生产率增长变化的实证分析(1979—2001). *经济学(季刊)*, 2005, 4(2): 263-296. [ZHENG J H, HU A G. An empirical analysis of provincial productivity in China (1979-2001). *China Economic Quarterly*, 2005, 4(2): 263-296.]
- [34] 姚战琪. 生产率增长与要素再配置效应: 中国的经验研究. *经济研究*, 2009, 44(11): 130-143. [YAO Z Q. Productivity growth and factor reallocation: China's empirical study. *Economic Research Journal*, 2009, 44(11): 130-143.]
- [35] 时小琳, 石德金, 戴永务, 等. 补贴政策对农户油茶生产效率影响的实证分析. *福建论坛: 人文社会科学版*, 2016, (6): 188-194. [SHI X L, SHI D J, DAI Y W, et al. Empirical analysis of subsidy policy's influence on farmers' oil tea productivity. *Fujian Tribune*, 2016, (6): 188-194.]
- [36] 江晓敏, 郑旭媛, 洪燕真, 等. 补贴政策、家庭禀赋特征与林业经营规模效率: 以324份油茶微观调研数据为例. *东南学术*, 2017, (5): 174-181. [JIANG X M, ZHENG X Y, HONG Y Z, et al. Subsidy policy, household character and wood scale efficiency: Based on 324 oil tea investigation data. *Southeast Academic Research*, 2017, (5): 174-181.]
- [37] 邱少俊, 徐淑升, 王浩聪. 生态银行实践对生态产品价值实现的启示: 以福建南平的试点探索为例. *中国土地*, 2021, (6): 43-45. [QIU S J, XU S S, WANG H C. Inspiration of ecological bank practice for the realization of ecological products: Based on pilot exploration of Nanping, Fujian. *China Land*, 2021, (6): 43-45.]
- [38] HOYOS D, MARIEL P, FERNANDEZ-MACHO J. The influence of cultural identity on the WTP to protect natural resources: Some empirical evidence. *Ecological Economics*, 2009, 68(8-9): 2372-2381.
- [39] DWYER J, SHORT C, BERRIET-SOLLIEC M, et al. Fostering resilient agro-food futures through a social-ecological systems framework: Public-private partnerships for delivering ecosystem services in Europe. *Ecosystem Services*, 2020, 45: 101180, Doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101180.
- [40] 施卓敏, 郑婉怡. 面子文化中消费者生态产品偏好的眼动研究. *管理世界*, 2017, 33(9): 129-140, 169. [SHI Z M, ZHENG W Y. Eye movement research on consumer's preference for ecological products in face culture. *Journal of Management World*, 2017, 33(9): 129-140, 169.]
- [41] 徐宁宁, 郭英之, 柳红波. 文化认同对游客环境责任行为的影响: 一个链式中介模型. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(8): 199-208. [XU N N, GUO Y Z, LIU H B. Influence of cultural identity on tourists' responsibility behavior: A chain intermediary model. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(8): 199-208.]
- [42] 蓝庆新, 陈超凡. 制度软化、公众认同对大气污染效率的影响. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(9): 145-152. [LAN Q X, CHEN C F. Soft institution, public recognition and efficiency of air pollution abatement. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(9): 145-152.]
- [43] 宋文飞. 中国地区生态非正式制度对生态文明建设效率的溢出效应分析. *华东经济管理*, 2019, 33(7): 52-60. [SONG W F. Analysis on the spillover effect of China's regional ecological informal institutions on the construction efficiency of ecological civilization. *East China Economic Management*, 2019, 33(7): 52-60.]
- [44] 任保平, 钞小静. 工业反哺农业、城市带动乡村: 长江三角洲地区的经验及其对西部的启示. *西北大学学报: 哲学社会科学版*, 2006, 36(2): 11-18. [REN B P, CHAO X J. Industry fostering agriculture and urban promoting the mode of development of rural area: The experience of the Yangtze River Delta and its inspiration for western regions in China. *Journal of Northwest University: Philosophy and Social Sciences Edition*, 2006, 36(2): 11-18.]
- [45] 刘玲, 许润, 高星汉. 资源发反哺与制度安排对知识移民有偿继承宅基地意愿的影响. *资源科学*, 2021, 43(7): 1348-1360. [LIU L, XU R, GAO X H. The impact of feeding resources back and institutional arrangements on the willingness of intellectual immigrants to pay for the inheritance of homesteads. *Resources Science*, 2021, 43(7): 1348-1360.]
- [46] 粟后发. 乡土韧性与城乡回路: 精英反哺的社会文化动因及影响. *社会学评论*, 2022, 10(4): 204-221. [SU H F. The resilience of rurality and urban-rural loop: The social and cultural motivation and influence of elites' feeding back. *Sociological Review of China*, 2022, 10(4): 204-221.]
- [47] 童潇. 工业反哺农业的“复合型”转向与欠发达农村社区的再建设: 城乡一体化、统筹城乡发展与社会建设的视角.

- 甘肃社会科学, 2012, (2): 50-54. [TONG X. Complex transition of industry repaying agriculture and reconstruction of rural community: From perspective of urban-rural integration, unified development and social building. Gansu Social Sciences, 2012, (2): 50-54.]
- [48] 曾龙, 付振奇. 中国城乡收入差距对农业生产率的影响: 基于农村劳动力转移与农村居民收入的双重视角. 江汉论坛, 2021, (11): 15-24. [ZENG L, FU Z Q. China urban-rural income difference's influence on agricultural productivity: Based on dual perspectives of rural labor migration and rural residents' income. Jiangnan Tribune, 2021, (11): 15-24.]
- [49] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919. [XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911-919.]
- [50] 魏慧, 赵文武, 张骁, 等. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价: 以山东省德州市为例. 生态学报, 2017, 37(11): 3830-3839. [WEI H, ZHAO W W, ZHANG X, et al. Regional ecosystem service value evaluation based on land use changes: A case study in Dezhou, Shandong province, China. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(11): 3830-3839.]
- [51] 王若思, 潘洪义, 刘翊涵, 等. 基于动态当量的乐山市生态系统服务价值时空演变及驱动力研究. 生态学报, 2022, 42(1): 76-90. [WANG R S, PAN H Y, LIU Y H, et al. Evolution and driving forces of ecosystem service value based on dynamic equivalent in Leshan city. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(1): 76-90.]
- [52] 高奇, 师学义, 黄勤, 等. 区域土地利用变化的生态系统服务价值响应. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(s2): 308-312. [GAO Q, SHI X Y, HUANG Q, et al. Ecosystem service value respond to regional land use change. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(s2): 308-312.]
- [53] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254. [XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243-1254.]
- [54] 宗振利, 廖直东. 中国省际三次产业资本存量再估算: 1978—2011. 贵州财经大学学报, 2014, (3): 8-16. [ZONG Z L, LIAO Z D. Estimates of fixed capital stock by sector and region: 1978-2011. Journal of Guizhou University of Finance and Economics, 2014, (3): 8-16.]
- [55] 马国霞, 於方, 王金南, 等. 中国2015年陆地生态系统生产总值核算研究. 中国环境科学, 2017, 37(4): 1474-1482. [MA G X, YU F, WANG J N, et al. Meansuring gross ecosystem product (GEP) of 2015 for terrestrial ecosystem in China. China Environmental Science, 2017, 37(4): 1474-1482.]
- [56] 肖建红, 王敏, 刘娟, 等. 基于生态标签制度的海洋生态产品生态补偿标准区域差异化研究. 自然资源学报, 2016, 31(3): 402-412. [XIAO J H, WANG M, LIU J, et al. Study on the regional difference of eco-compensation standards for the marine ecological products based on marine fisheries' eco-label schemes. Journal of Natural Resources, 2016, 31(3): 402-412.]
- [57] 周玲强, 程兴火, 周天斌. 生态旅游认证产品支付意愿研究: 基于浙江省四个景区旅游者的实证分析. 经济地理, 2006, 26(1): 140-144. [ZHOU L Q, CHENG X H, ZHOU T B. A research on the willingness to pay for certificated eco-tourism product: The empirical analysis based on the tourists of Zhejiang's four scenic spots. Economic Geography, 2006, 26(1): 140-144.]
- [58] 李江帆, 李美云. 旅游产业与旅游增加值的测算. 旅游学刊, 1999, 14(5): 16-19, 76. [LI J F, LI M Y. On the calculation of tourism industry and tourist adding value. Tourism Tribune, 1999, 14(5): 16-19, 76.]
- [59] PFAFF A, VELEZ M A, BROAD, K, et al. Contracts versus trust for transfers of ecosystem services: Equity and efficiency in resource allocation and environmental provision. Water Resources and Economics, 2019, 28: 100118, Doi: 10.1016/j.wre.2018.04.001.

Efficiency of ecological products supply in China and its influencing factors from perspectives of technology innovation and institutional integration

SHENG Rong

(Institute of Eco-Chongming, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Improving the supply efficiency of ecological products is of great value for its stable, sustainable provision and the public ecological welfare. This paper calculates the supply value of ecological products through dynamically adjusted per unit area value equivalent method, and the supply efficiency through the super efficiency SBM model and Malmquist index. The it explores the influencing factors of efficiency improvement from perspectives of technology and institution. The results show that technological innovation and financial subsidy only obviously improves the pure technical efficiency change (*PEC*). But the financial subsidy negatively influences the scale efficiency change (*SEC*). The ecological products consumption willingness obviously improves the efficiency change (*MI*) and pure technical efficiency change (*PEC*). The rural back-feeding value improves the scale efficiency change (*SEC*). The positive influence on *SEC* from rural back-feeding provides a make-up for the absence of stimulus for *SEC* from technological innovation and financial subsidy, forming an institutional integration advantage for efficiency improvement. It is to strengthen ecological consumption willingness and rural back-feeding institutions. The informal institutional construction such as ecological consumption and rural back-feeding value is supposed to be a long-lasting mechanism. Based on the urban-rural co-development, the market-centered production element circulation and profiting mechanism should be built in the ecological product input-output process. The ecological production supply efficiency is supposed to be comprehensively improved.

Keywords: supply of ecological products; efficiency improvement; influencing factors; technological innovation; institutional integration