

农业生态资本投资水平及其空间溢出效应研究

严立冬, 刘昊昕, 邓远建, 屈志光

摘 要: 农业生态资本投资是农业生态环境治理的重要保障, 是推动我国农业生态文明建设和绿色低碳发展的重要基础。本文运用熵权法对 2004—2018 年中国省域农业生态投资水平进行了测度, 并基于四种不同空间矩阵构建的空间杜宾面板数据模型, 对农业生态资本投资水平的空间格局及空间溢出效应进行分析。研究发现: (1) 全国农业生态投资水平总体上呈现“东强—中次—西弱”的梯次格局, 省域之间差距明显。(2) 农业生态资本投资水平存在明显的空间集聚特征, 东部地区呈现高高集聚特征, 西部地区呈现低低集聚特征。(3) 从空间溢出效应来看, 农村经济发展程度、农村人力资本和技术水平对本地和邻近地区的农业生态资本投资具有促进作用。农村生态资源禀赋对本地区和邻近地区的农业生态资本投资具有负向影响。农村居民收入对本地区农业生态资本投资具有负向影响, 对邻近地区影响不显著。在未来政策制定上从全局来看要着眼于区域差异化管理、跨区域农业生态资本投资合作。

关键词: 生态资本; 农业生态资本投资; 空间溢出效应

中图分类号: F323.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2021)06-0077-14

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2021.06.008

一、引 言

改革开放四十多年来, 农业实现快速发展的同时, 农业生态环境却遭到极大的破坏, 农业生态资源大量地被耗竭, 严重地影响了农业可持续发展。如何建设农业生态环境, 提高生态效益, 探索农业绿色发展的新模式, 这对于促进人与自然和谐发展、促进乡村生态振兴具有重要的现实意义^[1]。2021 年 6 月 1 日起实施的《乡村振兴促进法》第 34 条规定: 国家加强乡村生态保护, 实施生态系统保护和修复工程, 健全生态系统保护制度和生态保护补偿机制, 改善乡村生态环境。乡村生态振兴需要建设良好的农业生态系统。农业生态系统的良性循环取决于农业生态资本存量。由于我国农村地域辽阔、地形复杂、气候变化多样, 农村生态环境相对脆弱, 再加上农业人口众多, 单纯依靠农业生态系统自身修复增值补充是远远不够的, 必须依靠农业生态资本投资来增加生态资本存量^[2]。因此本文尝试从农业生态资本投资视角探寻解决农业生态环境问题的新思路。

生态资本概念最早可以追溯到 Vogt 等^[3]对“自然资本”的研究, 他认为自然资源是国家发展

基金项目: 国家社会科学基金重点项目“我国自然资源资本化市场建设的政策体系构建研究”(15AZD062); 国家自然科学基金面上项目“农业生态资本运营的益贫效应及其与精准扶贫协同机制研究”(71673302); 中南财经政法大学研究生教育创新计划项目“农业生态资本投资的生态溢出机理、溢出效应及政策响应研究”(202010814)

作者简介: 严立冬, 中南财经政法大学工商管理学院教授、博士生导师(湖北 武汉 430073); 刘昊昕(通讯作者), 中南财经政法大学工商管理学院博士研究生, 武汉设计工程学院商学院副教授, liuhaoxin@aliyun.com; 邓远建, 中南财经政法大学工商管理学院副教授; 屈志光, 中南财经政法大学信息与安全工程学院副教授

的一种资本,如果自然资源发生持续的耗竭,国家发展能力就会受到影响。而国内最早探讨生态资本概念的是刘思华^[4],他认为生态资本包括生态资源和生态环境存量两部分,强调保持生态资本存量非减或有所增值是可持续经济发展的必要前提。由于生态资本概念提出较晚,生态资本投资的研究在国内外涉及比较少。早期的学者认为生态资本投资的重点在于克制对自然资源 and 生态环境存量的消费^{[5](P156-168)[6](P321-324)}。尽管生态系统耗损可以自身增值补充,但是与人类对生态资本的消耗速度相比,显得远远不够,因此生态资本存量的增加主要还应通过人为干预投资方式来进行。严立冬等^{[7][8](P525-530)}认为生态资本投资是对生态资本价值运用和消费,是为了生态资本收益最大化而进行的投资行为,并提出生态污染治理、生态恢复建设、生态技术研发等凡是能够增加生态资本存量的活动(资金或实物投入)均可视为生态资本投资。过渡到农业,农业生态资本投资是指增加农业生态资本存量的投资行为^[9]。这种投资行为范围非常广泛,研究表明农业生态污染治理、农业生态修复、农业生态补偿、农业生态文化培育和农业生态产业发展等活动均能够改善农村生态环境,增加农业生态资本存量^{[10][11][12][13][14]}。

由于交通和信息化的发展,地理空间距离不断压缩,经济活动、社会发展、生态资源环境系统交互影响不断加深^[15]。这导致生态资本投资活动容易产生跨区域的空间溢出效应。空间溢出效应的存在让农业生态资本投资活动变得更为复杂。现有文献就农业生态资本投资的空间溢出效应相关研究并未达成一致共识,形成了两种主要观点:(1)生态资本投资产生明显的正向空间溢出效应。Whitmire等^[16]研究发现对农业流域的湿地和溪流的治理和保护能够增加硝酸盐的滤出,防止其对下游生态系统造成危害。Costanza等^[17]认为农业生态系统可以为人类提供粮食,具有生产功能,但同时也是生态资源,具有涵养水源、维持生物多样性等生态功能,具有极强的正外部性。(2)生态资本投资产生的正向溢出效应不明显,甚至会产生负的空间溢出效应。Sigman^[18]通过比较跨区域河流的污染治理水平发现,如果某个区域选择“搭便车”,跨界外溢性就会降低环境治理。张可等^[19]发现政府对农村水环境治理减排强度以北京和上海两市为中心向外围辐射,治理效果依次递减,空间溢出效应显著。外溢性的存在导致本区域环境收益下降,降低了地方政府保护环境的积极性,影响区域间生态资本投资水平。沈能等^[20]认为由于地区间污染倾销和政府环境政策“邻里仿效”,使得农业污染排放呈现空间集聚特征,污染反而加剧。李建琴^[21]、罗万纯^[22]等从农业生态环境公共产品特性、强外部效应及公有产权属性角度出发,发现农村生态资本投资过程中存在着严重的市场失灵,农村环境公共服务供给与农村居民合作中存在“公共地悲剧”。

通过进一步研究农业生态资本投资的影响机理和影响因素,Zhao等^[23]发现,公众环保意识逐渐增强、公众舆论和环保行为会对生态资本投资的空间溢出效应产生积极促进作用,此外,经济发展水平、技术进步、人口增长、产业结构等问题对生态资本投资的溢出效应也有影响。宋马林等^[24]发现地方保护及资源错配将通过空间溢出效应加剧其他地区的环境福利绩效损失,因此要降低地方保护和市场分割水平,充分发挥市场在资源配置中的决定作用。综上所述,国内外关于农业生态资本投资的概念逐渐明晰,已有文献从不同侧面,围绕农业生态资本投资的定义、特征、方式等做了理念性探讨,为研究农业生态资本投资理论的发展提供了理论基础及政策导向。但已有文献对农业生态资本投资水平的测度尚未开展,同时忽略了空间溢出效应对农业生态资本投资的影响。

基于上述现实背景和文献梳理,本文尝试从以下两方面进行深入研究:(1)构建农业生态资本投资水平的评价指标体系,将农业生态资本投资分为农业生态污染治理投资、农业生态系统修复投资、农业生态保护补偿投资、农业生态文化培育投资和农业生态产业发展投资,并在此基础上对农业生态资本投资进行综合评价。(2)建立空间面板模型,验证农业生态资本投资是否存在区域之间的外溢性,其对本区域和邻近区域产生何种影响,考虑空间溢出效应后现有研究中的影响因素是否存在变化。厘清这些问题有助于探寻农业生态资本投资水平区域差异的经济根源,识别我国农业生

态环境治理的关键因素，从而为我国农业生态资本投资政策的合理制定和有效实施提供必要的经验支持和决策依据。

二、理论分析

随着经济发展外延空间不断扩张，物流、交通、信息技术的发展，各区域之间的空间交互影响越发强烈，再加上生态系统自身的系统性和整体性，使得本地区农业生态资本投资对其他区域的生态资本投资产生交互影响。本区域农业生态资本投资产生的收益会随着农业生态系统空间流转型、区域间经济交互、农业生产要素的流动以及区域间政策互动的作用溢出到别的区域，对别的区域可能产生示范效应、规模效应、技术创新效应等正向溢出效应，也可能产生“搭便车效应”“邻避效应”等负向溢出效应，进而增加或者减少农业生态资本积累，从而导致生态环境发生改善或者恶化的情况（如图 1 所示）。

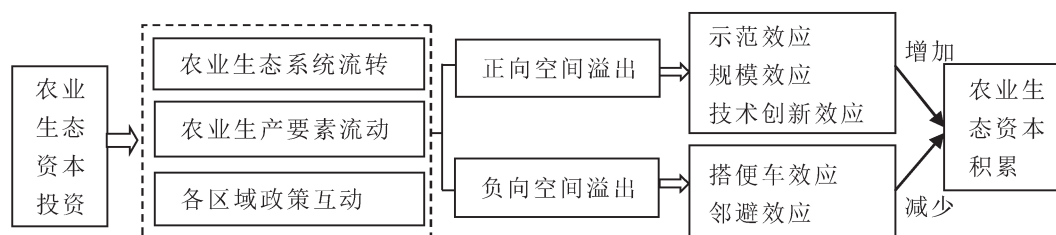


图 1 农业生态资本投资空间溢出机理

（一）农业生态资本投资空间溢出路径

1. 农业生态系统空间流转。农业生态系统的能量流、物质流和信息流可能通过一定途径和媒介在空间上发生位移，转到其他地方，并在具备适当条件的外部地区产生相应的功能。这就是农业生态系统的空间流转性。对农业生态资本进行投资，即增加农业生态系统的物质和能量的投入，促使系统内物质和能量传递到系统外，并结合外部条件形成一定的功能。

2. 农业生产要素流动。农业生态资本投资提升生态环境质量，促进人们健康水平的提高与人力资本积累，形成人才集聚。而人才集聚促进了农业生态技术知识的扩散和流动，加快了发源地新思想和新技术被其他地区复制、模仿的速度，从而激发创新意识，实现地区之间的人力资本、技术等要素溢出。

3. 各区域政策互动。目前，农业生态资本投资主要还是以公共投资为主，投资主体主要是政府。各地政府之间在税收、支出、环境保护、产业发展等政策上的互动，构成了农业生态资本投资的溢出渠道。一方面，在条块分割的行政管辖制度和中央及地方官员绩效考核的双重压力下，地区之间尤其是相邻地区比较容易形成税收竞争、支出竞争等局面，相互影响的程度更大，更容易形成空间溢出效应。另一方面，在上级政府的协调下，各地之间可以就农业生态资本投资达成合作协议，这样，农业生态资本投资的受益范围就自然扩大到整个合作范围内。

（二）农业生态资本投资空间溢出效应

1. 正向空间溢出效应。规模效应是指由于政策导向及农业生态资本投资增值性的特征，农业生态资本投资发展过程具有很强的集聚倾向性，农业生态产业相关资源在一定区域内集聚，极有可能产生空间集聚效应，不仅能够通过降低信息不对称、交易成本等方式缓解市场摩擦，带来规模经济效应，而且还能够产生新知识和新技术的溢出，产生正向效率溢出效应，促进本地区农业生态资

本投资水平的提升。

示范效应是指农业生态资本投资作为一个新的投资模式,其农业生态资本投资规则,农业生态产业体系、政府管理模式创新都具有很强的示范意义。通过对局部地区或某些部门、领域的农业生态资本投资试验,总结成败得失,完善改革方案,寻找规律,实现重点突破与整体创新,从而为更大范围的改革实践提供可复制、可推广的示范和标杆。例如浙江“丽水山耕”、福建南平“生态银行”的成功试点,其对周边的辐射和带动作用是非常重要的。

区域技术创新效应对本区域和邻近区域的农业生态资本投资产生推动作用。一方面,农业技术在促进本地区农业生态资本投资水平的同时也对周边地区形成扩散效应,邻近地区吸收外来的技术及经验,从而获得更高的效益。另一方面,技术水平的提高,使农业生态资源的利用率和产出率也得到了提高,降低资源消耗,减少污染排放,实现降低生产成本、增加产品的附加值,从而大大地提高了农业生态资本投资收益,引发邻近区域的绿色模仿行为。

2. 负向空间溢出效应。在条块分割的行政辖区背景下,受制于中央绩效考核和地方官员的双重压力,这种责任与收益不对等的投资行为会强化周边区域政府“搭便车”的动机,同时也会让本区域政府在决策上更重视以改善局部环境质量为目标的治污模式,使得地方政府之间容易产生推诿和卸责的倾向。这不仅抑制了农业生态资本投资在地区间的生态溢出效应和规模效应,甚至强化了环境污染的“邻避效应”,对农业生态污染的治理产生消极的影响。

三、研究方法和指标选取

(一) 研究方法

1. 熵权综合指数法。由于农业生态资本投资是由多维度、多指标构成的系统性指标体系,为了避免受主观因素的影响,本文选用一种比较客观的赋权方法,即熵值法来计算各指标的权重。熵权综合指数法的理论建模思路为:首先用熵权法确定指标权重,然后根据熵权法确定的指标权重计算熵权综合指数。确定指标权重,即是对各个指标进行无量纲化处理与赋权。熵权法指标的无量纲化处理普遍采用极值法,正向指标与负向指标计算公式如下:

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

$$v_{ij} = \frac{\max(x_j - x_{ij})}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

i 代表地区, j 代表评价指标, x_{ij} 代表原始数据, v_{ij} 代表标准化处理后的数据, $0 \leq v_{ij} \leq 1$ 。其次,计算指标权重,公式为 $w_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^n d_k}$, 其中, $d_j = 1 - e_j$ 代表差异性系数。然后,根据 w_j 和

各指标的标准化数据 v_{ij} , 可以得到各对象各指标的标准化数据加权值 g_{ij} , 计算公式为:

$$g_{ij} = w_j \times v_{ij} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (3)$$

最后,根据得到的各对象各指标的标准化数据加权值 g_{ij} , 将各层级加权值逐层加总,即可得到综合评价指标体系的熵权综合指数 G_{ij} , 计算公式为:

$$G_{ij} = \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad (4)$$

2. 莫兰指数法。在农业生态资本投资过程中,不可避免地存在资源的流动与交换。一般而言,一个省份的生态资本投资往往会对其他省份产生重要影响,这就表现出显著的空间溢出效应。省份之间的距离越近,这种溢出效应表现越强烈,尤其是相邻省份表现得更为突出,这就是本文所要考察的空间相关性。通常使用莫兰指数 (Moran's I) 来检验变量空间依赖强度的大小。莫兰指数包含

全局莫兰指数和局部莫兰指数。全局空间莫兰指数主要分析数据在整体系统内的分布特征,局部莫兰指数主要分析系统内各组成部分的分布特征。其具体的公式分别如下:

全局莫兰指数(Global Moran's I) 计算公式:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

局部莫兰指数(Local Moran's I) 计算公式为:

$$I = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (6)$$

x 为地区 i 的观测值, n 为地区数, W 为空间权重矩阵。Moran's I 的最终取值始终在 -1 和 1 的区间之内,并且不同的取值代表了不同的空间相关性。

3. 空间面板模型。农业生产要素在各省域间的流动并不是互相独立的,某个省份生态资本投资可能会受其他省份投资行为的影响。因此,忽略农业生态资本投资的空间相关性可能会造成模型的错误设定。综合考虑空间关联性因素,本文引入空间计量方法重新审视各省份农业生态资本投资水平及其影响因素,深层次探讨其中机理。为了考察不同空间计量模型回归结果的稳健性,本文引入了空间自回归模型(SAR)、空间误差模型(SEM)和空间杜宾模型(SDM),将模型一般化为如下形式:

$$y = \rho W y + X \beta + W X \theta + \mu_i + \xi_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

$$\varepsilon_{it} = \lambda W \varepsilon_{it} + v_{it}, v_{it} \sim N(0, \sigma_{it}^2 I_n)$$

其中, ρ 表示衡量不同区域变量间依存度的空间自相关系数, μ_i 表示空间固定效应, ξ_t 表示时间固定效应, ε_{it} 表示随机干扰项。若 $\theta=0$, $\rho=0$ 且 $\beta \neq 0$, 则为一般的空间滞后模型(SAR); 若 $\theta=0$, $\beta=0$ 且 $\rho \neq 0$, 模型为空间误差模型(SEM), 表示随机干扰项存在空间依赖性; 当 $\beta \neq 0$ 且 $\theta \neq 0$ 时, 模型简化为一般的空间杜宾模型(SDM)。模型的选择需要根据具体的检验来确定。

(二) 指标选取及数据来源

农业生态资本投资概念提出较晚,国内外学者研究并不多。本文借鉴了严立冬等^[8]对生态资本投资的概念界定,认为生态资本投资是指通过生态恢复建设、环境污染治理等活动,使生态资本存量增加的投资行为。同理,农业生态资本投资是指增加农业生态资本存量的投资行为。在此基础上本文将农业生态资本投资分解成五类,即农业生态污染治理投资、农业生态修复投资、农业生态保护补偿投资、农业生态文化培育投资和农村生态产业发展投资。农业生态污染治理投资是农业生态资本投资的关键内容。目前,农业生态污染治理投资主要包括农业污染治理投资、农业面源污染治理以及农村污染治理。农业生态系统修复投资主要是指对受损农业生态系统的修复,是农业生态资本投资的基本内容,主要包括农田生态系统修复、土地修复、林地修复、草地修复和水体修复。农业生态补偿投资主要是激励农户退出耕地开展植树种草、恢复土地生态服务功能的大型国家财政支付为主的资金投入,本文选取了退耕还林补助资金(万元)和水土保持补偿资金(万元)来衡量。农业生态补偿投资是为了平衡农村生态保护者和破坏者之间的经济利益关系,是农业生态资本投资的前提和制度保障。农业生态文化培育投资能够提高农村居民生态文化素质,对农业生态资本投资的可持续发展有着重要的意义。而农村生态产业发展是农业生态资本投资收益的价值实现形式,是农业生态资本投资的动力和源泉。在参考相关学者的研究基础上,对各类生态资本投资选取相关指标如下,并采取熵权法计算农村生态资本投资综合指数来表征农村生态资本投资水平(如表1所示)。

本研究采用年度数据,为了测算农业生态资本投资水平,同时考虑数据的可取得性,选择研究样本为2004—2018年中国30个省、自治区和直辖市(不含香港、澳门和台湾地区,西藏由于数据缺乏,

表 1 农业生态资本投资水平评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标要素层
农业生态 资本投资	农业生态污染治理投资	农业污染治理投资	财政环境保护支出与地区生产总值之比（%）
			生态保护和环境治理投资与固定资产投资之比（%）
		农业面源污染治理	化肥施用强度（吨/千公顷）
			农药使用强度（吨/千公顷）
	农业生态系统修复投资	农村污染治理	农村改水投资（万元）
			农村改厕投资（万元）
		农田生态系统修复	农作物播种面积（万公顷）
			有效灌溉面积（万公顷）
	农业生态保护补偿投资		农业用水量（亿立方米）
			除涝面积（万公顷）
		土地生态修复	农作物病虫害鼠防治面积（千公顷次）
			土地治理项目（万元）
	农业生态文化培育投资	林地生态修复	生态退耕（万亩）
			造林面积（万公顷）
		草地生态修复	森林抚育（万元）
		水体生态修复	累计种草保留面积（千公顷）
	农业生态产业发展投资	生态保护补偿	水土保持补偿资金（万元）
		生态文化宣传	退耕还林补助资金（万元）
		生态文化教育	环境社会宣传活动次数（个）
		生态产业发展	开展环境宣传教育活动人数（人）
	产业化经营投入		环境教育基地个数（个）
			绿色农业企业个数（个）
			农业地理保护品牌个数（个）
			林业旅游休闲康养（万元）
			农村产业化经营投入（万元）

也没纳入到研究样本中）形成的面板数据，数据主要来自中国官方公布的数据：《中国农业统计年鉴》《中国林业统计年鉴》《中国水利统计年鉴》《中国财政统计年鉴》《中国环境统计年鉴》等及各省各年统计年鉴。其中有部分指标在某些年限存在缺失的情况，采用线性插值法进行补值。

（三）空间权重矩阵的设计

为对农业生态资本投资的空间关联特征予以系统考察，本文设定了四种空间权重矩阵。其中，第一种空间权重矩阵 W_1 基于 Queen 空间邻接关系设定，当两个省份接壤（具有共同的边长或者顶点）时，空间权重矩阵的元素设定为 1。考虑到生态系统是一个有机整体，在一定时空范围内，由生物因素与环境因素相互作用、相互影响所构成的综合体，一般而言，距离越近的区域，生态溢出越大，距离越远的区域，生态溢出越弱，故第二种空间权重矩阵 W_2 是基于地理距离而设计，其元素取值为两个省份的省会城市间公路距离的倒数。考虑到生态溢出跟经济发展水平相关，故第三种空间权重矩阵 W_3 按照目的地经济规模设计，其元素取值各区域人均 GDP 年均值绝对差值的倒数。第四种空间权重矩阵 W_4 则综合考虑了地理距离因素和经济发展因素，基于经纬度距离倒数的平方与经济规模矩阵的乘积所对应的元素值，处理方法参考范巧等^[25]。根据设计行随机标准化处理后得出上述四种空间权重矩阵分别为 W_1 ， W_2 ， W_3 ， W_4 （如图 2 所示）。

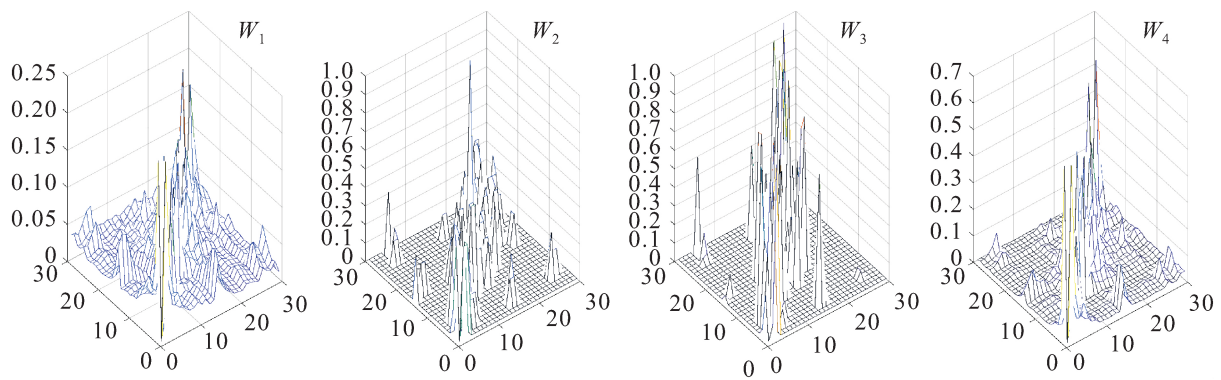


图 2 经过行随机标准化处理的四种空间权重矩阵

四、结果与分析

（一）农业生态资本投资水平评价结果

本文运用熵权法对 2004—2018 年 30 个省份的农业生态投资水平进行了测度，采用 STATA16 得出具体的测度结果（如表 2 所示）。2004—2018 年中国省域农业生态资本投资水平总体呈增长趋势。东部地区的农业生态资本投资平均水平为 0.237 8，高于中部地区 0.216 5 和西部地区的 0.167 4，呈现“东部最高，中部次之，西部最低”的格局。从整体结果来看，我国农业生态资本投资水平存在显著的差异，主要是因为我国东部地区率先开展工业化，经历过农业环境严重污染给生产和生活造成的不便，因此对环境保护的需求非常强烈。同时，东部地区经济基础比较好，市场机制完善，农业生态资本投资环境比较优越；而西部地区相对来说经济发展比较落后，农业环境污染程度相对较轻，从而对农业生态资本投资的需求并不那么强烈，再加上农业生态资本投资规模大、建设周期长，收益回报低，与之相比地方政府更容易将精力投入在经济效益比较高的行业，因而造成了区域之间的差异。

（二）农业生态资本投资的空间溢出效应

1. 空间相关性分析。从全局莫兰指数来看，在 W_1 、 W_2 、 W_4 权重矩阵下，2004—2018 年中国农业生态资本投资的全

表 2 2004—2018 年全国各省份的农业生态投资综合指数

区域	2004—2008	2009—2013	2014—2018	综合指数
全国平均	0.2175	0.1963	0.2219	0.2066
北京	0.1714	0.1561	0.1499	0.1601
天津	0.1611	0.1744	0.1799	0.1828
河北	0.2458	0.2825	0.2886	0.2550
辽宁	0.1907	0.2122	0.1918	0.1846
上海	0.2458	0.1938	0.2193	0.2091
江苏	0.3580	0.3131	0.4284	0.3519
浙江	0.2672	0.2999	0.3764	0.3080
福建	0.2550	0.1836	0.2509	0.2091
山东	0.4182	0.3295	0.3254	0.3346
广东	0.2519	0.2122	0.2254	0.2326
海南	0.2173	0.1540	0.1673	0.1989
东部平均	0.2529	0.2282	0.2548	0.2378
山西	0.1499	0.1387	0.1856	0.1571
吉林	0.2927	0.2009	0.2275	0.2366
黑龙江	0.3376	0.2519	0.2815	0.2958
安徽	0.1612	0.1683	0.2081	0.1683
江西	0.1489	0.1816	0.2122	0.1754
河南	0.2417	0.2397	0.2479	0.2476
湖北	0.2183	0.2652	0.3019	0.2356
湖南	0.2591	0.1816	0.2458	0.2152
中部平均	0.2262	0.2035	0.2388	0.2165
广西	0.1867	0.1571	0.2009	0.1744
重庆	0.1948	0.1234	0.2111	0.1805
四川	0.2652	0.2244	0.2734	0.2581
贵州	0.1591	0.1244	0.1561	0.1540
云南	0.2550	0.2377	0.2132	0.2254
陕西	0.1907	0.2122	0.1714	0.1816
甘肃	0.1326	0.1173	0.1255	0.1183
青海	0.1291	0.1304	0.1589	0.1305
宁夏	0.1448	0.1010	0.0938	0.1295
内蒙古	0.1091	0.1122	0.2499	0.1418
新疆	0.1683	0.2122	0.0908	0.1469
西部平均	0.1760	0.1593	0.1768	0.1674

局 Moran 指数均为正值，且全部通过 P 值小于 0.05 的显著性水平检验。这说明农业生态资本投资水平在空间分布上存在显著的集聚效应，即高农业生态资本投资水平地区与周围高农业生态资本投资水平地区集聚在一起，低农业生态资本投资水平地区与周围低农业生态资本投资水平地区集聚在一起。但是在 W_3 经济权重矩阵下，全局 Moran 指数大部分都不显著。这说明经济规模差异空间矩阵不适合对农业生态资本投资的空间相关性进行分析。基于此，本文后面在做空间计量分析时仅考虑 W_1 、 W_2 和 W_4 三个权重矩阵下的实证结果。表 3 以 W_1 为例^①，给出了 2004—2018 年中国省域农业生态资本投资水平的全局 Moran 指数，所有指数为正值且显著，可以看出中国生态资本投资水平存在高-高型集聚和低-低型集聚的空间正相关特征，而且这种邻近地区间的作用呈现逐年降低的趋势。这表明高-高型集聚和低-低型集聚的空间集聚性特征正在减弱。主要是因为各个地区之间农业生态资本投资行为最初主要以“邻里仿效”为主，随着农业生态资本投资活动在全国范围内的试点、推广，越来越多的地区开始关注自身的农业生态价值和生态优势，慢慢探索出适合本地区的农业生态资本投资方式，从单纯的“模仿”逐渐走向“创新”。

表 3 2004—2018 年中国省域农业生态资本投资水平的全局 Moran 指数

年份	Moran's I	P 值	年份	P 值
2004	0.272	0.007	2012	0.021
2005	0.263	0.008	2013	0.023
2006	0.283	0.006	2014	0.024
2007	0.274	0.006	2015	0.040
2008	0.264	0.008	2016	0.047
2009	0.254	0.010	2017	0.054
2010	0.251	0.011	2018	0.043
2011	0.247	0.011		

然而，全局 Moran's I 只能反映所有空间单元在全局上的空间分布特征，而对于其在局部上的空间分布情况则无法考察，因此引入局部空间散点图（LISA）来研究被考察对象内部详细的空间差异性问题。

图 3 以 W_1 为例，给出了 2004 年和 2018 年两年的局部莫兰散点图，2004 年各省份农业生态资本投资水平主要呈现高高型集聚和低低型集聚，其中黑龙江、辽宁、吉林、河北、四川、山西、江苏、山东等省份属于高高型区域，而低低型的省份主要集中在宁夏、甘肃、新疆、青海、云南、贵州、广西、内蒙古等地。2018 年上海、浙江、福建、广东、湖北省、云南进入了高高聚集型省份行列，而广西、贵州退出了低低型省份行列。将 2004 年和 2018 年空间集聚情况进行对比可以看出，高高值集聚的省份在增加，低低值集聚省份呈现缩减趋势，且农业生态资本投资高高集聚地区呈现从中西部地区向东部地区集中的演变特征。

2. 空间计量模型估计结果。为了考察农业生态资本投资的影响因素及其空间关联性，同时考虑数据的可得性和完整性等，将影响因素设定如下：（1）经济发展水平是衡量一个地区经济社会综合能力的重要指标，考虑到经济发展基础是农业生态资本投资的前提，选取农林牧副渔总产值来衡量。（2）农村人力资本是农业生产中重要的要素投入。农业从业人员的素质提高，不仅会提高农业生产过程中的管理能力和技术水平，而且高素质的劳动力会更加重视生产中的环境保护问题，并愿意将新的节能环保技术、新的发展理念、新的绿色发展模式运用于农业生产中，减少农业生产污染，促进农业生态资本投资水平的提升。选取农村居民初中及以上教育程度占总人口比重来衡量。

^① 限于篇幅，本文没有报告其他三种权重矩阵的具体检验结果，有兴趣的读者可以向作者索取。

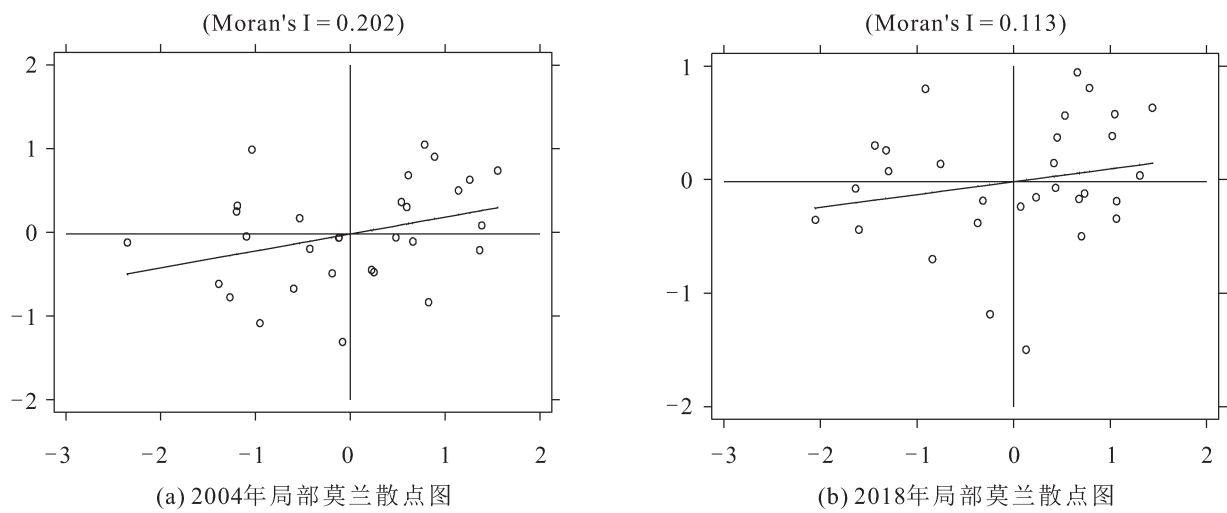


图 3 中国各省份农业生态资本投资水平局部莫兰散点图

(3) 农业生态资源禀赋是农业生态资本投资的前提。一般来说生态资源稀缺地区的居民相较于生态资源富足地区的居民，对生态环境破坏容忍程度更低，更倾向于采取积极主动的环境治理措施。本文使用农业生态价值来衡量一个地区的农业生态资源禀赋。生态价值来源于农业非生产功能，包括涵养水源、水土保持、改善大气质量、生物多样性、土壤净化和生态娱乐等农业生态价值。关于农业生态价值的核算，采取 Costanza 等^[17]提出的当量因子法对农业生态系统产生的非物质形态生态服务价值进行货币化估算，当量因子则参考谢高地等^[26]的测算结果。(4) 技术水平是影响农村环境治理能力最重要的因素。农业技术水平的提高能够显著提升农业生态资源的利用率。选取农业机械总动力来衡量。(5) 农村居民收入水平会影响农村生态资本投资的规模，选取农村居民家庭人均可支配收入来衡量。变量的描述统计结果如表 4 所示。

表 4 变量的描述统计结果

变量名称	定义	样本数	平均数	标准差	最小值	最大值
农业生态资本投资 (E)	农业生态资本投资综合指数	450	0.232	0.150	0.024	0.612
农村经济发展水平 (ECOL)	农林牧渔业总产值 (亿元)	450	2082.444	1942.290	48.200	9590.800
农村人力资本 (POP)	农村居民初中及以上教育程度 占总人口比重 (%)	450	49.457	11.780	0.580	66.600
农业生态资源禀赋 (RES)	农业生态价值 (亿元)	450	1357.667	1168.497	44.908	5480.145
农业技术水平 (TEC)	农业机械总动力 (万千瓦)	450	2643.933	2634.714	73.690	13353.020
农村居民富裕程度 (INC)	农村居民家庭人均可支配收入 (元/人)	450	6754.919	5056.112	1309.460	30374.699

究竟是否采用空间面板回归模型以及采用空间面板回归模型中的哪种形式，需要借助相关检验统计量的检验结果来判断。首先，采用 Hausman 检验判断使用固定效应还是随机效应模型，从表 5 结果可以看出，无论采用 W_1 、 W_2 还是 W_4 的矩阵形式，采用固定效应回归模型较为合适。其

次, 需要用 (robust) LM 检验对空间滞后模型和空间误差模型进行比选, 检验结果表明经典 LM、稳健 LM 检验在 1% 水平上均拒绝不存在空间误差和空间滞后的原假设, 表明同时存在空间误差效应和空间滞后效应。接下来使用 Wald 检验和 LR 检验判断空间杜宾模型能否简化为空间滞后模型或空间误差模型, 检验结果表明在 W_1 、 W_2 和 W_4 权重矩阵形式下, Wald 检验和 LR 检验结果均在 5% 水平上拒绝原假设, 表明采用空间杜宾模型较为合理。最后用 Likelihood ratio 检验来判断具体空间杜宾模型使用何种固定效应, 检验结果显示在 W_1 、 W_2 和 W_4 权重矩阵形式下, Likelihood ratio 检验在 1% 水平上拒绝了时间固定效应不显著的原假设, 拒绝空间固定效应不显著的原假设。因此, 使用双固定效应下的空间面板模型合适。

表 5 空间面板模型的估计结果 (双向固定效应)

变量	W_1			W_2			W_3		
	SAR	SEM	SDM	SAR	SEM	SDM	SAR	SEM	SDM
ECOL	Q 087**	Q 094**	Q 114**	Q 069*	Q 054*	Q 088**	Q 055*	Q 044**	Q 053
POP	Q 033***	Q 051***	Q 053*	Q 046**	Q 044**	Q 055*	Q 050**	Q 058**	Q 067**
RES	-Q 284**	-Q 214**	-Q 195***	-Q 289***	-Q 226**	-Q 199***	-Q 324***	-Q 216**	-Q 217***
TEC	Q 228***	Q 216***	Q 143***	Q 263***	Q 231***	Q 154***	Q 325	Q 153***	Q 191***
INC	-Q 256**	-Q 245**	-Q 351***	-Q 262**	-Q 213**	-Q 308***	-Q 273*	-Q 212**	-Q 355***
$W \times ECOL$			Q 228**			Q 595**			-Q 105
$W \times POP$			Q 277***			Q 652*			Q 237**
$W \times RES$			-Q 488**			-Q 488***			-Q 625***
$W \times TEC$			Q 535***			1.332***			Q 625***
$W \times INC$			-Q 152			-1.380**			-Q 651**
ρ/λ	Q 395***	Q 132***	Q 373**	Q 632***	Q 163***	Q 395***	Q 146**	Q 115***	Q 236***
$R\text{-squared}$	Q 889	Q 885	Q 921	Q 867	Q 865	Q 888	Q 829	Q 842	Q 887
$Adj\ R\text{-squared}$	Q 825	Q 821	Q 908	Q 824	Q 822	Q 848	Q 774	Q 821	Q 834
log-L	151.052		146.293	139.337	121.975	137.712	101.080	102.420	101.521
检验方法	估计值		P 值	估计值		P 值	估计值		P 值
Wald _spatial _lag	23.525***		Q 001	21.565***		Q 002	31.345***		Q 001
LR _spatial _lag	25.176***		Q 003	27.454***		Q 002	28.865***		Q 001
Wald _spatial _error	21.974***		Q 001	26.978***		Q 002	38.678***		Q 001
LR _spatial _error	29.347***		Q 001	22.908***		Q 001	35.785***		Q 001
Hausman _test	38.642***		Q 000	31.567***		Q 000	43.895***		Q 000

注: ***, **, * 分别表示在 1%、5% 和 10% 显著性水平上显著。

由表 5 的估计结果来看, 空间杜宾双向固定效应模型的拟合度高于空间滞后模型和空间误差模型。通过对空间杜宾模型双向固定效应模型下的三种权重矩阵设定下拟合度判定系数进行比较, W_1 、 W_2 和 W_4 分别为 0.9018、0.8475 和 0.8344。这表明基于 Queen 空间邻接关系 W_1 矩阵设定下的空间杜宾双向固定效应模型的拟合度最优。本文后面在做空间效应分解时仅考虑基于 W_1 设定下的实证结果。下文重点对各变量的估计系数进行实际的解释分析。

农村经济发展水平对农业生态资本投资增长有显著的影响。一方面, 农业生态资本投资资金来源于区域经济的发展, 因此随着区域经济发展水平的提高, 农业生态资本投资规模也会增长。另一方面, 环境污染水平与经济发展呈现倒 U 型的关系, 在到达拐点之前污染水平和经济发展水平是同比例上升的, 因此农业生态资本投资也会随着经济发展水平的提升而增加。农村人力资本的估计系数为正, 说明农村人力资本的提升能够促进农业生态资本投资的发展。提高农村地区人力资本的教育水平, 尤其是生态文明教育, 可以培育和提升农村居民的生态文明素养和环境保护意识。通过

环境教育, 推动农村居民积极、主动、有效参与生态环境保护和污染治理, 保障农村生态资本投资活动的推进和落实。农业生态资源禀赋对农业生态资本投资增长具有抑制作用。生态资源的丰裕程度决定对农业污染排放的承载能力, 对农业生产的持续稳定发展产生重要影响。生态资源稀缺地区的居民相较于生态资源富足地区的农村居民, 对生态环境破坏容忍程度更低, 更倾向于采取积极主动的环境治理措施。农业技术水平显著的估计系数为正, 且通过了 1% 的显著水平。说明农业技术水平的投入对农业生态资本投资的产生明显的促进作用。通过技术创新促进技术的生态化发展, 提高生态资源的利用率和产出率, 降低资源消耗, 减少污染排放, 实现降低生产成本、增加产品的附加值、提高产品的生态位, 将农业生态资本投资维持较高收益率^[27], 高水平的收益率的提高能够激发更多的社会资本进入该领域, 提高农业生态资本投资水平。农村居民收入水平的估计系数为负, 且通过了 1% 显著水平的检验。这主要是因为农业生态资本投资涵盖的领域包括农业生态污染治理、农业生态系统修复等以及农村环境公共基础设施的建设等, 投资规模大、资金周转慢, 建设周期长, 收益滞后且具有很强的外溢性, 尽管农业生态资本投资在改善生态环境上有显著的社会效益, 然而其经济效益并不明显, 私人资本并不愿意进入到农业生态资本投资领域, 因此才会出现农村居民收入与农业生态资本投资呈负向关系。

基于 Queen 空间邻接关系 W_1 矩阵设定下的空间杜宾双向固定效应模型的参数估计结果, 可分别得到各变量的空间总效应、直接效应和间接效应, 结果如表 6 所示。

表 6 空间杜宾模型直接效应、间接效应与总效应

效应	直接效应		间接效应		总效应	
	系数	P 值	系数	P 值	系数	P 值
农村经济发展水平	0.1084	0.0102	0.2334	0.0107	0.3418	0.0294
农村人力资本	0.0568	0.0549	0.2924	0.0002	0.3492	0.0002
农村生态资源禀赋	-0.2023	0.0000	-0.5310	0.0000	-0.7333	0.0000
农业技术水平	0.1518	0.0000	0.5753	0.0000	0.7271	0.0000
农村居民收入	-0.3488	0.0012	0.1383	0.4749	-0.2105	0.3064

农村经济发展水平对农业生态资本投资的直接效应系数为 0.1084, 间接效应系数为 0.2334, 均通过了 5% 显著性水平。可见农村经济发展对本区域和邻近区域的农业生态资本投资产生推动作用。农村地区经济的发展加快了各区域之间资金、人口、技术等要素的流动, 加快了生态资源开发和利用, 推动资源变资产、资产变资本, 资本变成资金, 实现了各类要素在更大区域范围内的优化配置, 推动了农业生态资本投资的发展。农村人力资本对农业生态资本投资的直接效应系数为 0.0568, 间接效应系数为 0.2924, 在 10% 的水平显著。可见, 农村人力资本的提高对本地区和邻近区域的农业生态资本投资具有促进作用。农村人力资本素质越高, 更愿意将新的节能环保技术、新的发展理念、新的绿色发展模式运用于农业生产中, 同时随着人口的流动, 绿色生产方式、环保理念也随着农村人口流动而溢出到其他区域, 进而推动农业生态资本投资的发展。农村生态资源禀赋对本地区农业生态资本投资水平具有抑制作用, 但是对周边农业生态资本投资水平产生积极影响。生态资源丰裕的地区, 生态系统自我修复的能力比较高, 居民对生态环境保护的意识不强, 对环境破坏的容忍度较高, 同时生态资源丰裕的区域其生态收益往往会通过农业生态系统而流转至临近区域, 改善临近区域的生态环境, 临近区域容易产生“搭便车效应”, 从而降低了农业生态资本投资的意愿。农业技术水平的直接效应系数为 0.1518, 间接效应系数为 0.5753, 均通过了 1% 的显著性水平。可见技术水平对本区域和邻近区域的农业生态资本投资产生推动作用。一方面, 农业技术在促进本地区农业生态资本投资水平的同时也对周边地区形成扩散效应, 邻近地区吸收外来的

技术及经验,从而获得更高的效益。另一方面技术水平的提高,使农业生态资源的利用率和产出率也得到了提高,降低资源消耗,减少污染排放,实现降低生产成本、增加产品的附加值,从而大大地提高了农业生态资本投资收益,引发邻近区域的绿色模仿行为。农村居民收入水平的直接效应系数是 -0.3488 ,通过了1%的显著性水平,而间接效应系数是 0.1383 ,未通过显著性检验,说明农村居民收入对本区域农业生态资本投资具有抑制作用,对相邻地区的促进作用并不明显。可能的原因是农业生态资本投资具有公共品性质,其所有权和收益权分离。当本地区进行农业生态资本投资时,其产生的生态效益不仅仅能够改善本地的生态环境,同时也可以改善周边区域的生态环境,生态效益的外溢性使得本区域农业生态资本投资的真实收益很难得到实现,因此本地区对农业生态资本投资的意愿就会降低,而周边区域生态环境可以免费受益于该区域农业生态资本投资,导致其投资意愿并不显著。比如流域生态系统,上游改善生态环境的同时,下游便会收益。而上游作为生态涵养区,为了改善流域环境不得不牺牲掉大量经济发展的机会,居民收入水平无法提高,长此以往,上游的生态资本投资意愿就会降低,而下游地区享受了免费“搭便车”的便利,其投资意愿并不显著。

五、研究结论及政策启示

(一) 研究结论

农业生态资本投资是一项复杂的系统工程,涉及经济、社会与文化等方面的深层次变革。农业生态资本投资与其他资本投资相比,具有显著的空间特征。采用简单的线性模型来考察农业生态资本投资可能是不准确和全面的。所以研究通过构建空间计量模型,并设置邻接、地理、经济以及地理经济嵌套矩阵四种不同类型的空间权重矩阵,实证检验了2004—2018年农业生态资本投资水平及空间溢出效应。从结果来看,研究发现:(1)研究基于Queen空间邻接关系矩阵设定下的空间杜宾双向固定效应模型更好地体现了农业生态资本投资的空间特征。(2)我国农业生态资本投资水平存在较为明显的空间非均衡性,总体来看,东部最高,中部次之,西部最低,地区差距逐步缩小并呈现出东部地区高高值集聚,西部地区低低值集聚的特征。(3)从空间溢出效应来看,农村经济发展程度、农村人力资本和技术水平对本地和邻近地区的农业生态资本投资具有促进作用。农村生态资源禀赋对本地区和邻近地区的农业生态资本投资具有负向影响。农村居民收入对本地区农业生态资本投资具有负向影响,对邻近地区影响不显著。

(二) 政策启示

首先,由于农业生态资本投资水平存在明显的空间不均衡性,因此政策制定上要在考虑构建跨区域发展协作机制,合理界定各地方政府环境治理责任,弱化政府“搭便车”的动机,将地方政府以改善局部环境质量为目标的狭隘治理模式,转变为追求整体环境质量提升的治理模式,从而全面提升地区间农业生态资本投资水平。其次,要根据农业生态资本投资的区域差异进行全局规划。不同区域之间的农村经济发展水平、农业生态资本、农业生态资源禀赋、农业技术水平以及农村居民收入都存在巨大差异,因此各地区应该因地制宜,在守住自然生态安全边界的前提下,结合本地区资源禀赋进行农业生态资本投资,将生态优势转化为经济优势,走出一条生态优先、绿色发展的道路。

研究也存在一定的局限性。本文将农业生态污染治理、农业生态修复和生态保护补偿等视为积极主动的生产性投资,对于不同投资主体的投资如何影响农业生态资本投资行为等问题,本文未做详尽探讨。其次,研究利用运用可拓展的随机性的环境影响评估模型和空间杜宾模型对农业生态资本投资水平及空间效应进行分析,基于数据限制,对于农业生态资本投资政策支持、投资收益、投

资市场等重要因素并未涉及。如何将这些因素纳入统一的模型分析框架,这些都是后续研究需要进一步深化的方向。

参考文献

- [1] 严立冬,张亦工,邓远建.农业生态资本价值评估与定价模型[J].中国人口·资源与环境,2009(4).
- [2] 刘加林.“四化两型”视角下区域生态资本投资机制创新探讨[J].科技管理研究,2015(4).
- [3] Vogt, P. R., N. A. Ostenso. Steady state crustal spreading[J]. *Nature*, 1967.
- [4] 刘思华.对可持续发展经济的理论思考[J].经济研究,1997(3).
- [5] Daly, H. E. *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*[M]. Boston: Beacon Press, 1996.
- [6] De Groot, R. S. *Evaluation of Environmental Functions as a Tool in Planning, Management and Decision-making*[M]. Wageningen: Thesis Wageningen, 1994.
- [7] 严立冬,刘加林,陈光炬.生态资本运营价值问题研究[J].中国人口·资源与环境,2011(1).
- [8] 严立冬,屈志光,肖锐.环境管理战略转型中的生态资本投资方式探讨[A].中国环境科学学会.2013中国环境科学学会学术年会论文集(第三卷)[C].昆明:中国环境科学学会,2013.
- [9] 屈志光,陈光炬,刘甜.农业生态资本效率测度及其影响因素分析[J].中国地质大学学报(社会科学版),2014(4).
- [10] 张田野,孙炜琳,王瑞波.化肥零增长行动对农业污染的减量贡献分析——基于GM(1,1)模型及脱钩理论[J].长江流域资源与环境,2020(1).
- [11] 鲁亚楠,姚顺波,邓元杰,等.陕北地区土地利用及景观格局变化对生态服务价值的影响——基于退耕还林(草)背景[J].中国农业资源与区划,2019(11).
- [12] 何寿奎.农村生态环境补偿与绿色发展协同推进动力机制及政策研究[J].现代经济探讨,2019(6).
- [13] 文丰安.农村生态治理现代化:重要性、治理经验及新时代发展途径[J].理论学刊,2020(3).
- [14] 张志明,王松瑞.生态重建与生态有机农业的发展[J].行政管理改革,2020(8).
- [15] 成金华,李悦,陈军.中国生态文明发展水平的空间差异与趋同性[J].中国人口·资源与环境,2015(5).
- [16] Whitmire, S. L., S. K. Hamilton. Rapid removal of nitrate and sulfate in freshwater wetland sediments[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005(6).
- [17] Costanza, R., R. D. Groot, P. Sutton, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26.
- [18] Sigman, H. Transboundary spillovers and decentralization of environmental policies[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2005(1).
- [19] 张可,马成文,丰景春,等.基于离散灰色模型的农村水环境政策减排效应及其空间分异性研究[J].中国管理科学,2017(5).
- [20] 沈能,王艳.中国农业增长与污染排放的EKC曲线检验:以农药投入为例[J].数理统计与管理,2016(4).
- [21] 李建琴.农村环境治理中的体制创新——以浙江省长兴县为例[J].中国农村经济,2006(9).
- [22] 罗万纯.中国农村生活环境公共服务供给效果及其影响因素——基于农户视角[J].中国农村经济,2014(11).
- [23] Zhao, X., B. Sun. The influence of Chinese environmental regulation on corporation innovation and competitiveness[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112.
- [24] 宋马林,金培振.地方保护、资源错配与环境福利绩效[J].经济研究,2016(12).
- [25] 范巧,石敏俊.基于结构匹配性和有效相关性的内生时空权重矩阵遴选方法[J].数量经济研究,2018(2).
- [26] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015(9).
- [27] 严立冬,陈光炬,刘加林,等.生态资本构成要素解析——基于生态经济学文献的综述[J].中南财经政法大学学报,2010(5).

Study on the Level of Agricultural Ecological Capital Investment and Its Spatial Spillover Effect

YAN Li-dong, LIU Hao-xin, DENG Yuan-jian, QU Zhi-guang

Abstract: Agricultural ecological capital investment is an important guarantee for the governance of agricultural ecological environment and an important basis for promoting the construction of agricultural ecological civilization and green and low-carbon development in China. This paper uses the entropy weight method to measure the level of agricultural ecological investment in China from 2004 to 2018, and analyzes the spatial pattern and spatial spillover effect of agricultural ecological capital investment level based on the spatial Dobbin panel data model constructed by four spatial matrices. The results show that: (1) the level of agricultural ecological investment in China generally presents a echelon pattern of “strong in the east-secondary in the middle-weak in the west”, and the gap among provinces is obvious; (2) The deposit level of agricultural ecological capital investment has obvious spatial agglomeration characteristics: the eastern region presents high one while the western region presents low one; (3) From the perspective of spatial spillover effect, the degree of rural economic development, rural human capital and technology level can promote agricultural ecological capital investment in local and adjacent areas. Rural ecological resource endowment has a negative impact on agricultural ecological capital investment in this region and adjacent areas. The income of rural residents has a negative impact on the agricultural ecological capital investment in the region, and has no significant impact on the adjacent areas. In terms of future policy formulation, we should focus on regional differential management and cross regional agricultural ecological capital investment cooperation.

Key words: ecological capital; agricultural ecological capital investment; spatial spillover effects

(责任编辑 孙 洁)