

引用格式: 彭红松, 郭丽佳, 章锦河, 等. 区域经济增长与资源环境压力的关系研究进展[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 593-606.
[Peng H S, Guo L J, Zhang J H, et al. Research progress and implication of the relationship between regional economic growth and resource-environmental pressure[J]. Resources Science, 2020, 42(4): 593-606.] DOI: 10.18402/resci.2020.04.01

区域经济增长与资源环境压力的关系研究进展

彭红松¹, 郭丽佳¹, 章锦河², 钟士恩¹, 虞虎³, 韩 娅⁴

(1. 南京财经大学工商管理学院, 南京 210046; 2. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 南京财经大学红山学院, 南京 212413)

摘要: 经济增长与资源环境压力的关系是区域可持续发展研究的重要方向, 然而却很少有研究在不同理论脉络下系统梳理相关成果, 并比较不同理论、方法、模型、指标与评价体系的优劣势与应用范围, 以至于难以确定理论贡献。本文综述了相关的5类理论模型与实证研究, 并比较其理论内涵、模型方法、评价体系及适用性, 在此基础上提出二者关系分析的基本框架和重点内容, 以期对相关研究提供理论参考与技术支持。结果发现: ①二者关系研究的理论、方法与指标各具优劣势与应用范围, 相关研究应遵循“检验因果关系方向→识别环境库兹涅茨曲线拐点/脱钩状态→评估生态效率强度→判定耦合协调阶段”的基本框架, 并按照“方向调控→拐点/状态调控→强度调控→系统调控”的思路制定区域可持续发展政策; ②未来应重点开展方法、模型与评价体系的适用性及优化研究, 关注驱动因子、作用机制及路径选择研究, 探索多案例对比、远程耦合及关联研究。

关键词: 经济增长; 资源环境压力; 格兰杰因果; 环境库兹涅茨曲线; 脱钩; 生态效率; 耦合协调; 研究进展

DOI: 10.18402/resci.2020.04.01

1 引言

肇始于工业革命, 人类改造自然的能力突飞猛进, 取得了巨大的物质文明成就, 但这多以巨大的资源消耗和环境污染为代价。从《寂静的春天》^[1]到《增长的极限》^[2], 人类开始反思人与自然的关系, 寻求在保障人类发展进步的同时使地球遭受破坏的路径。直至世界环境与发展委员会(WCED)发布《我们共同的未来》^[3], 首次阐释了“可持续发展”的概念, 标志着人类对资源、环境与发展问题有了全新的认识。然而, “可持续发展”仅是发展的目标, 其自身并不提供具体的实现路径。直到20世纪90年代, 格兰杰因果(Granger Causality)、环境库兹涅茨曲线(EKC)、脱钩(Decoupling)、生态效率(Eco-efficiency)和耦合协调(Coupling Coordination)等理

论、方法和指标的引入, 为区域可持续发展提供了理论指导与量化方法。

经济增长与资源环境压力的关系是区域可持续发展研究的重点。经济增长是人类依托环境资源创造的社会财富, 也是表征人类发展^[4]与福祉^[5]的指示器, 资源环境压力则是地理环境对人类活动的负向反馈。只有当人类活动对地理环境的影响不超出资源支撑能力和环境吸纳能力, 才能维持系统可持续发展。研究二者间的关系, 既是评估人类活动对资源环境的作用强度及资源环境的响应, 又是对地理学人地关系研究传统的学术观照。

目前相关研究较丰富, 大致可分为两类: 一是基于经济学、物理学、生物学等学科理论, 侧重引申理论内涵、构建分析框架、提出研究假设、开发模型

收稿日期: 2019-07-03; 修订日期: 2019-10-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801129); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(18YJC790124); 江苏省第十六批“六大人才高峰”高层次人才选拔培养项目(YJ-020)。

作者简介: 彭红松, 男, 安徽宿松人, 讲师, 博士, 研究方向为生态经济与区域旅游业可持续发展。E-mail: penghongsongahsd@163.com

通讯作者: 钟士恩, 男, 山东滕州人, 副教授, 研究方向旅游地理与旅游规划。E-mail: fgh1475@163.com

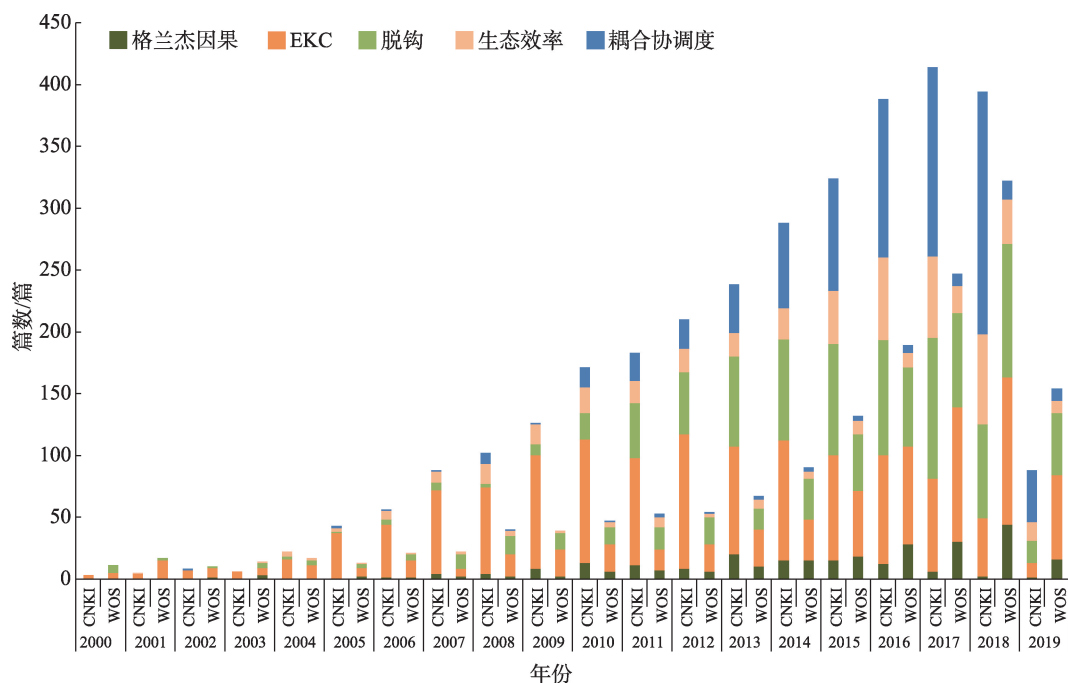
方法与评价体系。如Grossman等^[6]将库兹涅茨曲线引入资源环境领域,提出环境库兹涅茨曲线假说。世界经合组织(OECD)^[7]构建脱钩指数模型和评价体系。世界可持续发展工商理事会(WBCSD)^[8]开发生态效率指标,测度产品、企业、行业、区域的可持续发展能力。二是直接使用相关理论、方法与指标展开实证检验及评价。相比于前者,后者较为多见。然而,仍有两个方面的议题有待进一步探讨:一是厘定理论贡献。已有研究很少在不同理论脉络下系统梳理相关成果,并比较不同理论、方法、模型、指标与评价体系的优劣势与应用范围,以至于难以确定理论贡献;二是明确技术路线的适用性。当上述框架被先验地“复制”和“移植”到新案例中,可能因为时空尺度转换,模型方法变式,指标数据分异乃至自然、经济与社会文化情境的差异性,而发生应用失调问题,由此可能导致理论的“拿来主义”,甚至结论的“有偏”。

基于此,本文综述了该领域5类理论模型与实证研究,着重比较理论内涵、模型方法、评价体系及适用性,进而提出二者关系分析的基本框架和重点内容,以期对相关研究提供理论参考与技术支持。

2 区域经济增长与资源环境压力的关系研究综述

笔者根据以往研究经验和时下热点与前沿,发现相关研究多围绕格兰杰因果、环境库兹涅茨曲线、脱钩、生态效率及耦合协调等理论模型展开。鉴于CNKI、Web of Science核心合集数据库在中英文数据库中有较好的权威性和代表性。因此,笔者于2019年5月30日,以两类数据库为检索源,2000—2019年为检索期,“格兰杰因果(Granger Causality)”“环境库兹涅茨曲线(EKC)”“脱钩(Decoupling)”“生态效率(Eco-efficiency)”和“耦合协调(Coupling Coordination)”为主题/关键词,并辅以“区域(Regional)”“经济增长(Economic Growth)”“资源(Resource)”“环境(Environment)”等主题/关键词进行检索。检索完成后,剔除书评、报道、研究报告、学位论文及与主题不相关的文献,最终获得了包括期刊论文、会议论文和著作在内的4726篇文献,在此基础上进行文献计量分析(图1)。

从总量和峰值看,近20年来相关研究持续增长,总量达4726篇(CNKI与WOS分别为3157篇、1569篇),并于2018年达到峰值(716篇)。从模型



注:数据收集截至日为2019年5月30日,2019年的数据无统计意义。

图1 2000—2019年区域经济增长与资源环境压力关系研究的文献

Figure 1 Literature on the relationship between regional economic growth and resource-environmental pressure, 2000-2019

2020年4月

应用看,运用格兰杰因果、EKC、脱钩、生态效率和耦合协调模型的文献分别为313、1797、1209、554和853篇。从文献来源看,WOS中主要载于Science of the Total Environment、Journal of Cleaner Production、Ecological Indicators、Energy Economics等刊物,CNKI中具有代表性的是资源科学、中国人口·资源与环境、自然资源学报、生态学报、地理学报等刊物。下文将分别梳理上述5类理论模型与应用研究的进展,并进行评述。

2.1 格兰杰因果检验方法

格兰杰因果检验是常用的计量经济分析方法,用以检验经济变量在时间序列上是否存在统计学意义的因果关系。在检验之前,一般需对变量进行单位根检验和协整检验。

学术界基于不同尺度的案例,采用不同假设、数据、模型、变量、研究期及估计方法对二者格兰杰因果关系进行了大量检验(表1)^[9-15]。研究尺度与对象方面,主要涉及国家、省区、城市等大尺度的经济体,但由于数据可得性不佳,对中小尺度的经济体与行业层面的关注稍显不足。研究内容方面,在全球能源危机与气候变化的背景下,主要关注经济增长与能源消耗、废弃物排放(尤其是碳排放)的关系。研究结果方面,对假说的成立性及方向产生了分歧,分别支持保护假说(Growth-led Pressure)^[16]、增长假说(Pressure-led Growth)^[17]、互馈假说(Bidi-

rectional Causality)^[18]和中立假说(No Causal Relationship)^[19]。若保护假说成立,政策调控时应致力于提高资源环境效率,并对资源环境的损耗予以修复和补偿;若增长假说成立,表明资源环境要素对经济增长贡献较大,应充分发挥资源环境优势。需要注意的是,格兰杰因果关系成立并不等于存在实际的因果关系,只能说明某个序列有助于准确预测另一序列,是否呈因果关系需综合相关理论、模型和经验判定。

深究研究结果出现分歧的原因,一方面可归因于不同案例的自然、经济与社会文化背景的差异性;另一方面在于模型、方法、数据与检验技术的差异。从技术路线看,总体经历了从“传统的向量自回归与标准的格兰杰因果检验→双变量E-G两步协整检验与向量误差修正模型→多变量协整检验与自回归分布滞后模型→面板单位根、协整与格兰杰因果检验”的渐进过程,但不同技术各有所长,适用性也有差异^[9]。例如,单位根检验技术方面,当样本容量较小时,ADF检验稳健性较好,而当序列存在自相关和异方差时,PP检验稳健性更佳^[20]。协整检验技术方面,有观点认为多变量J-J最大似然法优于双变量E-G两步法^[9,21],另一种声音则认为没有明确的证据表明任何一种技术优于其他,甚至同一数据集下不同检验技术所得弹性值也存在较大差异^[20]。而在数据方面,学术界已基本达成共识,认为面板

表1 区域经济增长与资源环境压力格兰杰因果关系的研究文献

Table 1 Literature on Grainger causal relationship between regional economic growth and resource-environmental pressure

作者	研究期	数据与方法	研究案例	基本结论
Appiah ^[9]	1960—2015年	时间序列单位根、协整和格兰杰因果检验	加纳	真实GDP←能源消费
Alshehry等 ^[10]	1980—2011年	时间序列单位根、协整和格兰杰因果检验	沙特阿拉伯	GDP←能源消费、GDP↔碳排放
Cowan等 ^[11]	1990—2010年	面板格兰杰因果检验	金砖国家	GDP→耗电:南非; GDP↔耗电:俄罗斯; GDP×耗电:中国、巴西、印度; GDP→碳排放:南非; GDP←碳排放:巴西; GDP↔碳排放:俄罗斯; GDP×碳排放:印度、中国
Yoo等 ^[12]	1975—2006年	时间序列单位根、协整和格兰杰因果检验	7个拉丁美洲国家	GDP←耗电:阿根廷、巴西、智利、哥伦比亚、厄瓜多尔; GDP↔耗电:委内瑞拉; GDP×耗电:秘鲁
Chen等 ^[13]	1971—2001年	时间序列单位根和格兰杰因果检验,面板单位根、协整和格兰杰因果检验	10个亚洲国家和地区	GDP→耗电:印度、新加坡、马来西亚、菲律宾; GDP←耗电:香港; GDP×耗电:韩国、印度尼西亚、台湾、泰国; 不明确:中国
彭新育等 ^[14]	1990—2013年	时间序列单位根和格兰杰因果检验	中国广东省	GDP←能源消费
陈桂月等 ^[15]	1986—2009年	时间序列平稳性、协整和格兰杰因果检验	中国山西省	GDP→工业废弃物排放

注:→表示保护假说成立,←表示增长假说成立,↔互馈假说成立,×表示中立假说成立。

数据的可靠性优于时间序列和截面数据。需特别注意的是,遗漏稳健性检验程序将直接削弱结果的稳健性,这也是导致目前结果分歧的另一原因。

基于此,采用更可靠的面板数据,开展多尺度实证对比研究,并综合运用多种模型、方法与检验技术提升结果的稳健性或可成为未来研究的突破点,最终在格兰杰因果的方向和驱动机制上发现一般性规律。

2.2 环境库兹涅茨曲线假说检验方法

EKC假说由库兹涅茨曲线假说发展而来,认为经济增长与资源环境压力长期上呈倒U形曲线关系,即在经济增长过程中,资源环境压力首先呈现上升趋势,随着人均GDP的提高,达到拐点后,资源环境压力转向下降的趋势,最终二者的联系断开(或叫脱钩)^[6]。若假说成立,则预示着持续的、积极的经济增长最终将缓解资源环境压力。

目前学术界主要从规模效应、结构效应、技术效应、规制政策、环境质量需求的收入弹性、国际贸易与市场机制、能源价格与强度等方面解释EKC假说^[22-25]。然而,该假说与其理论解释仍面临3个方面的挑战:一是仅关注经济增长对资源环境的影响,忽视了资源环境系统对经济系统的反馈^[26, 27],更难揭示二者间的互动关系及作用机制;二是仅反映了长期的发展趋势,未能揭示短期的动态变化;三是

在全球化、流动性、新技术与复杂情境交织的背景下,该假说的理论解释力仍有待验证。

已有研究基于不同模型、方法、指标、案例与数据对EKC假说展开了大量检验,然而结果表明曲线的形态趋于多样化(如倒U形、U形、N形、倒N形和线形),拐点也各有不同(表2)^[28-34]。深究其原因,一方面在于资源环境问题具有复杂性、流动性与扩散性。例如,瞬时性、局域性污染物大多支持EKC假说,而累积性、扩散性污染物则多拒绝^[25]。另一方面在于研究模型、方法、指标及数据等技术性因素的差异,甚至植根于研究案例资源环境本底、社会经济条件、政治体制、能源与环境规制等情境的差异^[22, 35]。

模型构建方面,包括二次、三次和对数函数3类。其中运用二次和对数函数的研究大多证实了EKC假说,而采用三次函数和多种方程结合的模型则兼有倒U形和倒N形^[36]。这可能是由于检验结果对模型的函数形式及估计技术过于敏感^[37]。有批评者认为单一的回归模型不能全面刻画经济与资源环境系统的关系^[27]。因此,有学者构建了包含产业结构、技术进步、国际贸易、消费偏好、能源价格、环境政策,甚至社会因素的结构模型,以揭示曲线形态变化的“黑箱”^[38, 39]。

除模型设定外,变量及其规格也直接影响假说检验的结果。经济发展维度上,已有研究大多严格

表2 区域经济增长与资源环境压力EKC假说的研究文献

Table 2 Literature on environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis between regional economic growth and resource-environmental pressure

作者	研究期	数据与方法	研究案例	基本结论
Xie等 ^[28]	2015年	截面二次对数函数空间自回归模型	中国249个城市	人均GDP和PM2.5浓度呈倒U形关系,拐点为25336.47元
Bimonte等 ^[29]	1980—2008年	面板二次对数函数回归模型	意大利20个地区	人均收入与人均土地消费呈倒U形关系
Zaman等 ^[30]	2005—2013年	面板二次对数函数回归模型	亚太国家、欧盟与高收入OECD成员国、非OECD成员国3类集团	碳排量与人均GDP呈倒U形关系
Lee等 ^[31]	2003—2010年	面板二次和三次函数固定效应模型	中国东、中、西、东北等4大地区	人均GDP和二氧化硫、废水排放呈倒U形或N形关系
Begum等 ^[32]	1970—2009年	时间序列二次对数函数回归模型	马来西亚	人均GDP与人均碳排呈U形关系
张月等 ^[33]	2002—2014年	面板三次对数函数回归模型	中国及中国8大地区	人均工业用水与人均GDP呈倒U形关系,各地区拐点因工业发展水平及经济状况而异
张宏等 ^[34]	2009—2013年的60个月	时间序列三次对数函数回归模型	周庄、锦溪与千灯古镇	周庄的污水、粪便、垃圾排放量与人均旅游收入分别呈U形曲线、U形曲线、单调上升线性关系,锦溪分别是倒U形、N形、N形曲线,千灯则是单调上升线性、倒U形曲线、线性上升关系

2020年4月

遵循原假说,采用经济发展的人均指标(如人均GDP/收入),较少考虑到收入在群体和空间中并非均匀分配的实际而采用中值或密度指标^[40],或使用更全面的人类发展指数^[4]。资源环境维度上,已有研究表明EKC假说对资源环境指标的类型和时空尺度较敏感,并可能更适用于短期和局域污染物(如SO₂、SPM、NO_x和CO),而具有全球影响的资源环境指标(如CO₂、能源和城市垃圾)则呈现线性关系。此外,城市或局域尺度直接影响人体健康的空气质量指标一般支持EKC假说,而较少直接影响人体健康的空气污染物拒绝了EKC假说,强致癌化学品因具有不可逆转性也不支持EKC假说^[22]。综合来看,资源环境指标的选择仍有以下4类问题:一是多使用单个资源或环境指标,导致所得结论偏离了EKC假说综合考量两系统间关系的初衷,而较少采用生态足迹、碳足迹、能源足迹、物质流等集成性指标;二是多关注特定时期资源环境要素的人均排放量/浓度指标,而忽略了历史累积性,导致即使该时期的人均排放量/浓度减少(降低),但累积排放量/浓度仍然可能过高而同样不可持续^[27, 38];三是多关注易治理的环境污染指标,相对忽视气候变化、生物多样性减少、土地利用与覆被变化等较难治理的生态退化指标;四是多考虑经济体内的资源环境问题,未充分关注资源环境效应的时空转移现象及其空间分异^[41]。

从研究尺度看,EKC假说最早基于国家尺度提出,基于此理论情境,相关研究大多基于国家或区域等大、中尺度的经济体,近年才开始应用到全球、地方和局域尺度。有学者指出EKC形态对案例的空间尺度、发展阶段性、地理背景较敏感^[27]。例如,过小的经济体可能依靠国内外贸易实现资源环境影响的区际转移,可能并不遵循EKC形态,经济发展水平过低的海岛国家和原始部落可能由于发展阶段的限制,短期内也不会出现倒U形EKC现象^[42]。此外,有学者尝试在景区尺度检验EKC假说,但结果亦未能趋同^[34, 43]。值得注意的是,EKC假说是否适用于此类具有明显资源环境效应空间转移特征的小尺度区域,仍有待验证。

研究数据方面,主要有时间序列、截面与面板数据3类,研究结果亦未能达成共识。由于数据可

得性的限制,相关研究以前两者居多。一般而言,时间序列分析适用于单个国家或地区,有的研究认为除面板数据分析外,需要重点关注时间序列分析,以提供特定国家或地区发展特殊性的经验证据^[22, 44]。但应用中需着重增强ECK模型的灵活性与稳健性,虽然目前已开发出从不连续趋势中识别时间模式的结构化分析技术、处理非平稳数据的自回归分布滞后方法和非线性非参数模型^[28],但在样本的代表性和结果的普适性方面仍受到质疑。另有学者质疑了部分基于发达经济体ECK检验的有效性,指出其数据大多始于20世纪70年代,并早已达到ECK拐点而转向倒U形曲线的右侧^[45]。截面数据则适用于跨国或跨地区样本,但在建模中应注意样本的异质性,一般可建立随机效应模型解决这一问题。面板数据则兼具前两者的特征,因此有学者呼吁采用长时间序列的面板数据,以提高结果的稳健性^[39]。此外,研究期的选择也同样影响研究结果,例如大部分学者认为ECK假说在检验短期的流量污染(如SO₂)方面比长期的存量污染(如NO_x、CO₂)更有效,但需注意,虽然短期内ECK可能呈倒U形,但长期趋势下仍可能演化为N形^[46]。

综上,尽管ECK假说面临着诸多挑战,但也从侧面证实了其强大的理论张力。未来采用长时间序列的面板数据,建立全面反映二者关系及作用机制的计量模型,兼顾指标的多维度、异结构、流动性与扩散性特征,开展多尺度、多案例的对比研究,或可发现更加稳健、更有说服力的结论。

2.3 脱钩分析方法

“脱钩”源于物理学领域,是使两个或多个物理量间的响应关系不再存在^[47]。世界银行率先将脱钩引入资源环境领域,特指打破资源环境压力与经济绩效的联系^[7]。脱钩分析不仅能透过简约的数量关系表征二者间的内在联系,而且能有效识别关系演化的具体阶段和实时信息,目前主要用于分析经济增长与物质资源消耗、能源消费、土地占用、环境污染和碳排放等方面。与ECK假说关注经济发展对资源环境影响的长期趋势不同,脱钩重点关注二者互动关系的短期实时变化(通常为1年度)^[28]。

模型方法方面,目前主要有OECD脱钩指数模型、变化量综合分析法、Tapio脱钩弹性模型、IGTX

模型、计量分析方法等,在应用中一般需依据研究情境进行遴选(表3)^[7,47-50]。需注意的是,以上模型方法仅考虑了经济体内资源环境压力的相对量变化,并未考虑累积量是否超过承载力的阈值,用于考察单个案例脱钩状态的变化尚可,但可能并不适用于案例间的比较^[7]。未来将脱钩分析与生态足迹、资源环境承载力、资源环境卫星账户等方法相衔接,或可解决这一问题。脱钩类型与判定准则方面,基于不同模型方法,类型划分与判定准则各异,包括3分法、6分法和8分法等。其中,Tapio模型为避免过度解释脱钩弹性指数(DEF)的微小波动,将 $DEF=1\pm 20\%$ 的变化仍视作未脱钩(连接),并定义为增长连结和衰退连结^[47]。但质疑者认为临界值0.8和1.2只是交通领域的经验值,是否适用其他领域仍有待检验,因此有学者剔除DEF的 $1\pm 20\%$ 变化,直接将 $DEF=1$ 视作临界状态,并将Tapio的8分法简化为7种类型^[51,52]。

关于脱钩分析与可持续性评估的衔接,大多研究希望通过实现脱钩目标来促进经济体可持续发展,然而脱钩并不等于强可持续性。例如在相对脱钩情形下,资源环境压力并未减缓。因此,有学者呼吁在“脱钩”与“减排”双重目标框架下进行可持续性评估,并认为只有绝对脱钩(或强脱钩)实现了

减排目标,而其他类型的脱钩均不符合可持续发展目标^[53]。同时,还明确了双重目标下不同脱钩状态的优劣。在经济繁荣时,绝对脱钩(或强脱钩)优于相对脱钩(或弱脱钩);在经济衰退时,衰退脱钩优于弱负脱钩与强负脱钩,因为后两者意味着更高的排放强度,而弱负脱钩又比强负脱钩更可取,因为在排放强度均上升的前提下,前者更符合减排目标^[53]。

脱钩指标方面,一般基于驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)概念框架构建资源环境压力指标,包括材料使用、能源消耗、水质、废弃物管理、空气污染、气候变化、生物多样性等,但在指标选取的科学性方面仍有4个方面待完善:一是多是使用资源环境压力的总量指标,较少关注到强度指标与效率指标。这3类指标所表征的脱钩内涵有明显差异,有学者认为区域经济增长与碳排放的脱钩不是一蹴而就的,应遵循从“碳排强度脱钩→人均碳排放量脱钩→总碳排放量脱钩”的渐进过程^[54];二是多未考虑自然资源的可再生性与环境污染的可吸纳性,未来需要权衡消耗(占用)量与再生量、排放量与吸纳量的关系;三是多未考虑自然资源的流动性和环境负外部性的扩散与空间转移特征,采用终端核算的思维或可解决这一问题;四是DPSIR框架并不足以表征经济驱动力与资源环境系统间的多维交互关

表3 区域经济增长与资源环境压力脱钩分析模型比较

Table 3 Comparison of decoupling analysis models between regional economic growth and resource-environmental pressure

模型方法	基本理念与类型划分	优缺点
OECD脱钩指数模型	基本理念:单位GDP资源环境压力的下降率 类型划分:绝对脱钩、相对脱钩和未脱钩3类,相对脱钩与绝对脱钩的临界点即EKC拐点	优点:①容易理解;②对数据要求不高 缺点:①存在经济繁荣与衰退两种情境下的脱钩类型划分,具体细分也不详细,不利于直观判断脱钩的状态和程度;②指标敏感性较强,结果易受基期选择的影响发生波动;③未考虑总量变化
变化量综合分析法	基本理念:经济增长与资源环境压力的弹性分析 类型划分:强脱钩、弱脱钩、衰退性脱钩、强复钩、弱复钩、扩张性复钩6类	优点:①综合考虑了总量变化与相对量变化;②克服了OECD脱钩指数模型在基期选择上的困境和脱钩类型难以识别的局限,更详细地反映了脱钩状态和程度;③容易理解;④数据要求不高 缺点:不能区分未脱钩与复钩的关系
Tapio脱钩弹性模型	基本理念:经济增长与资源环境压力的弹性分析 类型划分:强脱钩、弱脱钩、衰退脱钩、强负脱钩、弱负脱钩、扩张负脱钩、增长连结、衰退连结8类	优点:①使用负脱钩的概念替换变化量综合分析法中的复钩,同时为避免过度解释脱钩弹性指数(DEF)的微小波动,将 $DEF=1\pm 20\%$ 的变化仍视为未脱钩(连接);②容易理解;③数据要求不高 缺点:脱钩类型划分复杂,容易混淆
IGTX模型	基本理念:基于IPAT方程的二者关系的定量表达 类型划分:绝对脱钩、相对脱钩与未脱钩3类	优点:指标易计算,结果更易识别 缺点:①很少使用,需要区分经济繁荣与衰退两种情境下的脱钩;②容易受到其他非环境因素的影响,研究周期越短,脱钩指数越易扭曲
计量分析方法	基本理念:建模原理和思想与以上方法不同,除包含经济发展与资源环境的关系外,模型中还可涵盖城市化、工业化、家庭收入等解释变量 类型划分:无	优点:①方法更成熟,结果更精准;②函数方程形式多样 缺点:①数据质量要求高;②变量选取主观性强,难以进行横向比较研究

注:整理自文献[7, 47-50]。

2020年4月

系。OECD^[7]认为采用基于国家资产负债表的绿色GDP、物质流和生态足迹等方法,并集成与开发相关指标或可弥补这一缺憾。

研究尺度方面,多关注国家、区域、城市和部门尺度的案例与对象,未来在深入开展宏观层次脱钩分析的同时,应加强微观层次的脱钩研究,这对于制定微观规制政策具有重要的参考作用和指导意义^[50]。近年有学者关注到景区尺度^[55],但由于景区具有典型的资源流动性和环境负外部性的扩散及空间转移特征,脱钩分析可能并不适用。否则,结果可能偏离实际,出现明明“绿水青山、鸟语花香”,而研究结果却是未脱钩的误判。未来为进一步明确经济体内不同产业/部门的定位与发展方向,还需考察产业/部门脱钩对经济体总体脱钩的贡献。

2.4 生态效率评价方法

生态效率本是生物学概念,最早由 Schaltegger 等^[56]引入工商业可持续发展领域,随后被 WBCSD 推广。基本思想是以最小的资源消耗和环境成本获得最大的经济产出。生态效率作为一种“生态-经济”二维价值观,近年来被广泛用于评价区域经济增长与资源环境压力的效率关系。

生态效率的测度是区域生态效率研究的基础,目前测度方法主要有单一比值法、指标体系法和模型

法(表4)^[57-59]。不同测度方法的原理、优劣势与适用性有较大差异,在应用中一般需根据研究情境遴选。

区域生态效率的测度指标主要包括经济与环境维度指标。由于评价尺度、主体、对象和目的不同,学术界对指标遴选有较大分歧。一般而言,经济维度可用总量和增加值衡量,以GDP和增加值指标较常见。例如,欧盟区域生态效率(ECOREG)计划选择了产业部门的产值、GDP、增加值3个指标^[60]。虽然GDP是目前应用最广泛、统计资料最齐全的经济产出指标,但有学者质疑其并未考虑到经济结构的变化^[61]和生态系统服务价值(ES)^[62],更未剔除资源环境成本。资源环境指标方面,WBCSD^[8]推荐使用原材料、能源、水资源的消耗量和废弃物、消耗臭氧层物质、温室气体、酸化气体的排放量等7类指标。Melanen 等^[60]选取自然资源消耗和环境变化/干预指标2类指标。近年来,学术界还引入全要素生产率(TFP)理论构建生态效率指标^[63, 64]。除指标遴选的分歧外,由于资源环境指标单位不一,因此还存在指标集成的问题。目前解决方案大致有3种:一是使用生态足迹、碳足迹、水足迹、能值分析等方法将各类指标统一为同一单位;二是使用AHP、主成分分析、模糊综合评价等赋权方法将不同指标集成;三是采用无需赋权的非参数DEA方法。需指出

表4 区域经济增长与资源环境压力发展效率测度方法比较

Table 4 Comparison of methods for measuring eco-efficiency between regional economic growth and resource-environmental pressure

测度方法	方法亚类	优劣势与适用性
单一 比值法	①产品/服务的价值(分子)与资源环境影响(分母)的比值 ②上述形式的倒数,类似于资源消耗和环境污染的强度指标	优点:①目前应用最广的测度方法,便于核算创造单位经济价值的资源环境成本,主要适用于研究单个项目或技术对象;②两种形式本质相同,物质流分析、能值分析、生命周期评价、生态足迹分析等方法,常用于测度产品/服务的价值或环境影响,也可归于此类 缺点:①环境影响指标涉及的范围比较有限,只能表征某一类环境影响;②未能提供生态效率最优值,难以指导实践
指标 体系法	熵权法 层次分析法 主成分分析法 模糊综合评价法 逼近理想解排序法	优点:构建包含经济和资源环境维度的指标体系,综合表征区域复合生态系统的发展水平和协调度 缺点:需使用赋权方法解决资源环境维度指标的集成问题,无论主观赋权还是客观赋权均有局限,并可能导致效率评价结果有偏
模型法	数据包络分析 随机前沿分析	优点:①能够处理多投入、多产出并分解综合效率;②无需事先假定方程、估计方程参数与赋权,最大限度地保留了数据的原始信息;③易于比较效率值 缺点:①将偏离生产前沿面即视为无效率,忽视了随机效应和测量误差,可能会高估无效率值;②有诸多技术细节易被忽视,如依据实际情况选择投入或产出导向,检验投入与产出变量的相关性,检验投入指标间、产出指标间的独立性,考虑决策单元的异质性,处置非期望产出及确保决策单元数是指标数的3倍等 优点:考虑了随机变量,并将与生产前沿的偏差分解为随机误差(白噪声)和无效率,克服了DEA高估无效率值的缺点 缺点:模型假设不当将直接导致结果有偏

的是,ECOREG计划中还涵盖了社会维度指标^[60],但学术界对指标选择和赋权分歧较大,同时,将社会维度纳入区域生态效率评价的范畴也饱受概念泛化的质疑。综上,针对不同尺度与类型的案例,因地制宜地构建区域生态效率测度方法、模型及评价体系,仍是未来研究的重点与难点。

2.5 耦合协调度评价模型

耦合协调关系是经济增长与资源环境压力关系研究领域的另一重要分支。由于上述4类理论模型侧重揭示两个要素或系统间的单向影响关系,如保护假说、增长假说、EKC假说、基于DPSIR框架的脱钩分析、生态效率的比值法等,难以表征多个系统间的交互作用。在此背景下,“耦合”与“耦合协调”的概念应运而生。

“耦合”原是物理学概念,指系统间相互依赖、相互影响的动态关系^[65]。“耦合协调”则反映了系统间相互配合、相互协调、健康发展的关系与态势,表征系统由无序走向有序的状态^[66]。随着时间的推移,耦合协调的概念被引入地理学,并于21世纪初在资源、环境与可持续发展领域得到广泛应用,相关成果较丰富。

研究内容方面,早期主要聚焦国家、区域、城市等尺度耦合协调关系的测度、空间分异及作用机理,近年开始采用系统动力学、元胞自动机和人工智能算法模拟其演化,并注意到远程耦合现象^[67-71]。例如,Liu等^[71]率先提出远程耦合世界的可持续性研究框架,倡导从跨地区到全球各层面对影响可持续性的远距离社会经济和环境相互作用进行综合研究。马丽等^[72]分析中国350个地级单元经济发展与环境污染的耦合度、协调度及空间格局,认为整体上处于低耦合、低协调的状态,并表现出较大的地区差异。采用灰色关联度算法,杜湘红等^[73]测算了2004—2013年洞庭湖生态经济区水资源环境与社会经济系统的耦合关系,认为总体处于磨合耦合阶段。李强等^[74]测度了长江经济带108个城市经济增长质量与生态环境优化的耦合协调度,并发现外商直接投资、研发、制度质量促进耦合协调发展,而经济增长、产业升级和环境规制降低耦合协调度。综合来看,目前大多研究尚停留在两系统间关系的判定阶段,对多系统、多要素间的耦合协调关系、交互作用

机理及远程耦合问题研究仍不足,导致难以全面揭示区域耦合协调特性,并识别关键生态胁迫因子。

模型构建方面,多简单借鉴物理学容量耦合及其系数模型,使用离差公式构建耦合度和耦合协调度模型。但有学者指出,耦合度模型在应用中存在模型表达错误及两系统与多系统模型混用的现象^[75]。模型系数方面,大多直接借鉴经验系数或采用等权重的方式确定系数,仅有少数研究运用熵权、专家打分、主成分分析等赋权方法确定权重,或检验权重赋值差异对耦合协调度的影响^[26],忽略了区域发展阶段、资源环境承载力和关键生态胁迫因子的差异。指标体系方面,经济社会指标主要有规模与效益指标,资源环境指标主要来源于压力-状态-响应(PSR)概念框架^[26],但在特定的研究情境下仍未达成共识。评价准则方面,仍具有较大的主观性甚至随意性^[75],分别采用0.3、0.5与0.7分段法^[26]、中值分段法^[72]和四分法^[76],划分为耦合与不耦合2大类、6小类及18个基本类型^[77],平衡发展、过渡发展与失衡发展3大类、4中类及12小类^[26]等,导致研究结果的横向可比性差。因此,有学者呼吁,耦合协调度的取值范围和阶段划分不能机械地划定,需根据所分析的具体问题和采用的计算方法而定^[75]。

综上,未来开发特定情境下的模型与系数、指标体系与评价准则,并从两系统局域耦合向多系统远程耦合及互馈过程扩展,是耦合协调关系研究的突破点。

3 区域经济增长与资源环境压力的关系研究框架

经济增长与资源环境压力的关系是区域可持续发展研究的重要方向,上文综述了相关5类理论模型与应用研究,并比较其理论内涵、模型方法、评价体系及适用性。文献分析表明,一方面,5类理论模型的理论基础、研究范式及优劣势各有不同,分别侧重“要素”间的因果关系方向、EKC拐点、脱钩状态、效率强度和“系统”间的耦合协调阶段;另一方面,5者循序渐进、互为补充、相互验证。

具体而言,格兰杰因果主要检验时间序列的“内在因果”关系及方向,通常也是进行EKC假说检验的前置步骤,EKC假说和脱钩分别关注识别EKC

2020年4月

拐点和脱钩状态,生态效率旨在评估效率强度。从格兰杰因果关系与EKC假说的联系看,若保护假说不成立,则直接拒绝EKC假说^[78]。从EKC假说与脱钩关系的联系看,EKC拐点即绝对脱钩与相对脱钩的临界点,差异在于前者表征经济驱动力对资源环境影响的长期趋势,后者聚焦二者交互关系的短期变化。从EKC假说与生态效率的关系看,前者认为区域发展一般遵循“先污染,后洁净”的路径,后者提倡以最小资源消耗和环境损耗,获得最大经济效益的“源头控制”发展模式。总体而言,以上4类理论模型侧重于揭示两要素或系统间的单向影响关系,如保护假说、增长假说、EKC假说、脱钩分析的DPSIR框架和生态效率比值法等,在分析多系统间的交互关系上相对乏力。而耦合协调度模型的优势则是从多系统互动的视角,判定区域可持续发展阶段,是以上4类理论模型的有益补充。

鉴于此,本文认为相关研究应遵循“检验因果关系方向→识别EKC拐点/脱钩状态→评估生态效率强度→判定耦合协调阶段”的基本研究框架,并按照“方向调控→拐点/状态调控→强度调控→系统

调控”的思路制定区域可持续发展政策(图2)。

4 区域经济增长与资源环境压力的关系研究展望

已有研究对区域经济增长与资源环境压力的关系展开了一系列理论探讨与实证分析,并取得了积极的进展,但在以下方面仍有待深化。

(1)方法、模型与评价体系的适用性及优化研究。5类理论模型的理论基础、研究范式与优劣势各有不同,即使在同一理论体系下的模型方法、评价体系与适用性也有差异。因此,未来需在方法论层面达成共识,明确理论边界、适用范围与逻辑关系,并开发特定情境下的普适性方法、模型与评价体系,以增强研究结果的可比性。

(2)驱动因子、作用机制及路径选择研究。经济增长与资源环境压力的关系研究是区域可持续发展研究的切入点。目前相关研究大多聚焦于可持续性“现状”评估,对“前向”的驱动因子与作用机制及“后向”的路径选择研究相对薄弱。因此,通过模拟各类发展情景,综合资源禀赋、产业结构、技术进步、贸易流动、资源与环境政策等变量,探索二者

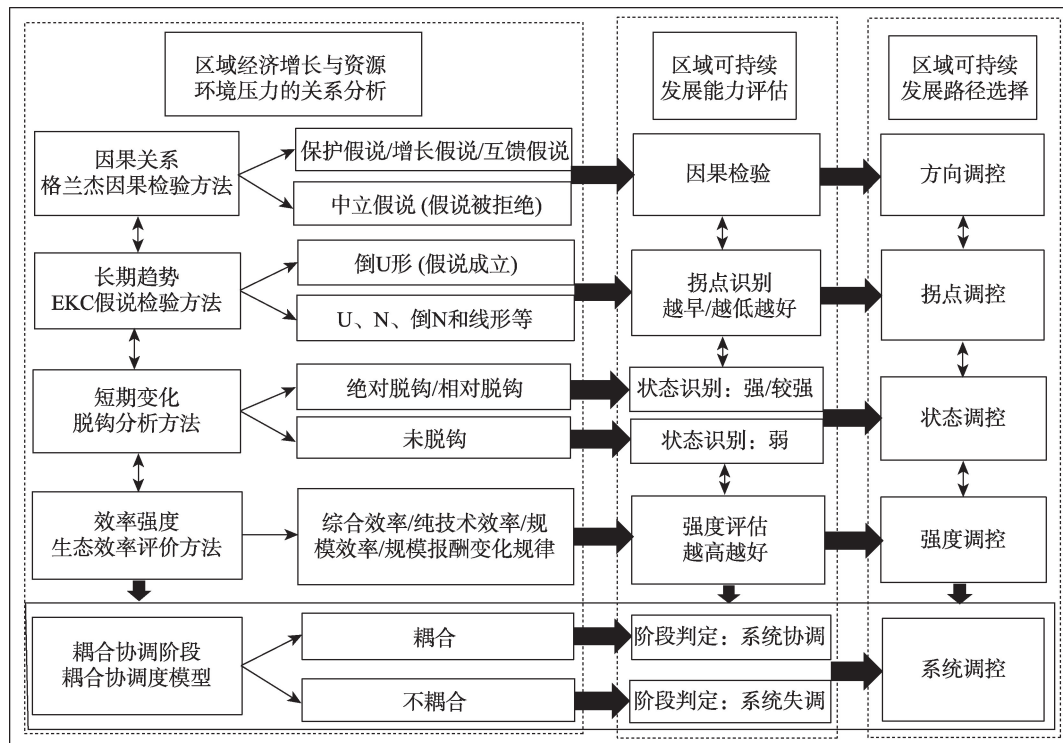


图2 区域经济增长与资源环境压力的关系研究框架

Figure 2 Research framework on the relationship between regional economic growth and resource-environmental pressure

关系变化的驱动因子、作用机制及发展路径将是未来研究的重点。

(3)多尺度、多类型案例对比研究。地理学研究对象格局与过程的发生、时空分布、相互耦合都是尺度依存的^[79]。已有研究结果出现分歧,一方面在于时空尺度转换等外部技术性因素,另一方面往往植根于案例地理背景的差异。因此,二者关系研究的过程中,区域尺度及异质性问题必须予以高度关注。例如,起源于国家尺度的EKC假说和脱钩分析是否适用于景区这类具有明显资源环境效应空间转移特征的小尺度区域,仍有待验证。还需注意EKC假说存在一定的临界时间尺度、经济规模和经济水平的现象^[42]。基于此,未来应强化不同类型、时空尺度和地理背景的案例对比研究,探索区域可持续发展的基本特征与一般规律。

(4)远程耦合研究。经济社会与资源环境系统具有复杂性、流动性与扩散性特征,但已有研究在经济增长维度中却多未能考虑经济漏损、生态系统服务价值和空间密度特征,资源消耗和环境污染维度也多未考虑资源的区际贸易和环境污染的区际转移与扩散问题^[80]。因此,未来应着眼于远程耦合^[71]理念,对影响可持续性的远距离社会经济和环境相互作用进行综合研究。

(5)关联研究。二者关系的研究,旨在探究区域可持续发展状态与路径,未来可尝试将上述理论模型与生态安全、生态周期、生态胁迫及生态补偿等理论相衔接,通过理论关联与对比,可能会发现一些有价值的结论。

5 结论

本文综述了有关区域资源环境与经济发展关系研究的5类理论模型与应用研究,并比较理论内涵、模型方法、评价体系及适用性,在此基础上提出二者关系分析的基本框架和重点内容。得出如下结论:

(1)已有研究多基于某一类理论模型展开,少有研究在不同理论脉络下系统梳理相关成果,导致难以为研究者提供更多宏观层面的启发。本文试图以“广度”换“深度”,分别综述了该领域应用较广、影响力较大的5类理论模型与实证研究,比较了不同理论模型的理论内涵、模型方法、评价体系及

适用性,重点评述了时空尺度转换、模型方法变式、指标数据分异及地理背景的异质性等关键问题。结果表明,5类理论模型的理论基础、研究范式及优劣势各有不同,分别侧重“要素”间的因果关系方向、EKC拐点、脱钩状态、效率强度和“系统”间的耦合协调阶段。

(2)已有研究多未明确5类理论模型的相互关系与内在逻辑,导致研究者在构建理论框架与选择模型方法时存在困惑。本文认为5类理论模型循序渐进、互为补充、相互验证,相关研究应遵循“检验因果关系方向→识别EKC拐点/脱钩状态→评估生态效率强度→判定耦合协调阶段”的基本研究框架,并按照“方向调控→拐点/状态调控→强度调控→系统调控”的思路制定区域可持续发展政策。未来还应重点开展方法、模型与评价体系的适用性及优化研究,关注驱动因子、作用机制及路径选择研究,探索多案例对比、远程耦合及关联研究。以期抛砖引玉,为相关研究提供一些理论参考与技术支持。

参考文献(References):

- [1] Carson R. Silent Spring[M]. Boston: Houghton Mifflin Company, 1962.
- [2] Meadows D H, Meadows D L, Randers J, et al. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind[R]. New York: Universe Books, 1972.
- [3] WCED (World Commission on Environment and Development). Our Common Future[M]. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [4] UNDP (United Nations Development Programme). Human Development Report 2016: Human Development for Everyone[EB/OL]. (2017-12) [2019-07-03]. http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016_human_development_report.pdf.
- [5] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis[R]. Washington: Island Press, 2005.
- [6] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment[J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [7] OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). Decoupling: A Conceptual Overview[R]. Paris: OECD, 2001.
- [8] WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). Eco-efficiency: Leadership for Improved Economic and Environmental Performance[R]. Geneva: WBCSD, 1996.

2020年4月

- [9] Appiah M O. Investigating the multivariate Granger causality between energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Ghana[J]. *Energy Policy*, 2018, 112: 198–208.
- [10] Alshehry A S, Bellooui M. Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, 41(2): 237–247.
- [11] Cowan W N, Chang T, Inglesi-Lotz R, et al. The nexus of electricity consumption, economic growth and CO₂ emissions in the BRICS countries[J]. *Energy Policy*, 2014, 66: 359–368.
- [12] Yoo S H, Kwak S Y. Electricity consumption and economic growth in seven South American countries[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(1): 181–188.
- [13] Chen S T, Kuo H I, Chen C C. The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries[J]. *Energy Policy*, 2007, 35: 2611–2621.
- [14] 彭新育, 贺慧慧. 广东省能源消费与经济发展之间的关系研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(11): 69–72. [Peng X Y, He H H. Research on relationship between energy consumption and economic development in Guangdong Province[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(11): 69–72.]
- [15] 陈桂月, 李海涛, 梁涛. 山西省工业废弃物排放与经济增长之间的关系分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(6): 1184–1193. [Chen G Y, Li H T, Liang T. The relationship between industrial waste discharge and economic growth in Shanxi, China[J]. *Resources Science*, 2013, 35(6): 1184–1193.]
- [16] Zhang X P, Cheng X M. Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(10): 2706–2712.
- [17] Saboori B, Sapri M, Baba M. Economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in OECD's transport sector: A fully modified bi-directional relationship approach[J]. *Energy*, 2014, 66: 150–161.
- [18] Wang S J, Li Q Y, Fang C L, et al. The relationship between economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions: Empirical evidence from China[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 542: 360–371.
- [19] Richmond A K, Kaufmann R K. Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? [J]. *Ecological Economics*, 2006, 56(2): 176–189.
- [20] Croes R, Vanegas M. Cointegration and causality between tourism and poverty reduction[J]. *Journal of Travel Research*, 2008, 47(1): 94–103.
- [21] Maddala G S, Wu S. A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test[J]. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 1999, 61: 631–652.
- [22] Dinda S. Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey[J]. *Ecological Economics*, 2004, 49(4): 431–455.
- [23] Kaika D, Zervas E. The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory—Part A: Concept, causes and the CO₂ emissions case[J]. *Energy Policy*, 2013, 62: 1392–1402.
- [24] Marsiglio S, Ansuategi A, Gallastegui M C. The Environmental Kuznets Curve and the structural change hypothesis[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2015, 63(2): 265–288.
- [25] Luzzati T, Orsini M. Investigating the energy–environmental Kuznets Curve[J]. *Energy*, 2009, 34(3): 291–300.
- [26] He J Q, Wang S G, Liu Y Y, et al. Examining the relationship between urbanization and the eco-environment using a coupling analysis: Case study of Shanghai, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 77: 185–193.
- [27] Ginevičius R, Lapinskienė G, Peleckis K. The evolution of the Environmental Kuznets Curve concept: The review of the research[J]. *Panoeconomicus*, 2017, 64(1): 93–112.
- [28] Xie Q C, Xu X, Liu X Q. Is there an EKC between economic growth and smog pollution in China? New evidence from semiparametric spatial autoregressive models[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220: 873–883.
- [29] Bimonte S, Stabile A. Land consumption and income in Italy: A case of inverted EKC[J]. *Ecological Economics*, 2017, 131: 36–43.
- [30] Zaman K, Shahbaz M, Loganathan N, et al. Tourism development, energy consumption and Environmental Kuznets Curve: Trivariate analysis in the panel of developed and developing countries[J]. *Tourism Management*, 2016, 54: 275–283.
- [31] Lee S, Oh D W. Economic growth and the environment in China: Empirical evidence using prefecture level data[J]. *China Economic Review*, 2015, 36: 73–85.
- [32] Begum R A, Sohag K, Abdullah S M S, et al. CO₂ emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, 41: 594–601.
- [33] 张月, 潘柏林, 李锦彬, 等. 基于库兹涅茨曲线的中国工业用水与经济增长关系研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(6): 1117–1126. [Zhang Y, Pan B L, Li J B, et al. The relationship analysis between Chinese industrial water use and economic growth based on the Kuznets Curve[J]. *Resources Science*, 2017, 39(6): 1117–1126.]
- [34] 张宏, 侯国林, 黄震方, 等. 古镇旅游地废弃物的环境影响研究: 以不同生命周期阶段周庄、锦溪、千灯为例[J]. *地理科学*, 2015, 35(11): 1419–1428. [Zhang H, Hou G L, Huang Z F, et al. Environmental effect of tourism waste in ancient town: Case study of Zhouzhuang, Jinxi, Qiandeng[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(11): 1419–1428.]
- [35] Jiang J J, Ye B, Zhou N, et al. Decoupling analysis and Environmental Kuznets Curve modelling of provincial-level CO₂ emissions and economic growth in China: A case study[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 212: 1242–1255.

- [36] 虞依娜, 陈丽丽. 中国环境库兹涅茨曲线研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(12): 2018–2023. [Yu Y N, Chen L L. Research progress of the Environmental Kuznets Curve (EKC) in China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(12): 2018–2023.]
- [37] Rashid Gill A, Viswanathan K K, Hassan S. The Environmental Kuznets Curve (EKC) and the environmental problem of the day [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 81: 1636–1642.
- [38] Rothman D S, de Bruyn S M. Probing into the Environmental Kuznets Curve hypothesis[J]. Ecological Economics, 1998, 25: 143–145.
- [39] Churchill S A, Inekwe J, Ivanovski K, et al. The Environmental Kuznets Curve in the OECD: 1870–2014[J]. Energy Economics, 2018, 75: 389–399.
- [40] Ekins P. The Kuznets Curve for the environment and economic growth: Examining the evidence[J]. Environment and Planning A, 1997, 29(5): 805–830.
- [41] 钟茂初, 张学刚. 环境库兹涅茨曲线理论及研究的批评综论[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 62–67. [Zhong M C, Zhang X G. Summary about the critique of Environmental Kuznets Curve [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(2): 62–67.]
- [42] 索罗丹, 钟定胜, 吕坤. 环境库兹涅茨曲线的临界时间尺度、临界经济规模和临界经济水平分析[J]. 中国软科学, 2016, (S1): 213–229. [Suo L D, Zhong D S, Lv K. Critical scale, critical economic scale and critical economic level of the Environmental Kuznets Curve[J]. China Soft Science, 2016, (S1): 213–229.]
- [43] 章锦河, 李曼, 陈静, 等. 旅游废弃物的环境库兹涅茨效应分析: 以黄山风景区为例[J]. 地理学报, 2012, 67(11): 1537–1546. [Zhang J H, Li M, Cheng J, et al. Analysis of environmental Kuznets effect of tourism waste: Case study of Huangshan National Park[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(11): 1537–1546.]
- [44] Akbostancı E, Türüt-Aşık S, Tunç G İ. The relationship between income and environment in Turkey: Is there an Environmental Kuznets Curve?[J]. Energy Policy, 2009, 37(3): 861–867.
- [45] Vincent J R. Testing for Environmental Kuznets Curves within a developing country[J]. Environment and Development Economics, 1997, 2(4): 417–431.
- [46] De Bruyn S. Dematerialization and Rematerialization as Two Recurring Phenomena of Industrial Ecology[A]. Ayres R U, Ayres L W. A Handbook of Industrial Ecology[C]. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.
- [47] Tapio P. Decoupling Has Begun in Finland: Economic Growth, Traffic Volume Growth and the CO₂ Policy of EU15 and Finland 1970–2001[R]. Turku: Tutu Publications, 2003.
- [48] Vehmas J, Kaivo-oja J, Luukkanen J. Comparative De-Link and Re-Link Analysis of Material Flows in EU–15 Member Countries [C]. Wuppertal: Con Account Conference, 2003.
- [49] 陆钟武, 王鹤鸣, 岳强. 脱钩指数: 资源消耗、废物排放与经济增长的定量表达[J]. 资源科学, 2011, 33(1): 2–9. [Lu Z W, Wang H M, Yue Q. Decoupling indicators: Quantitative relationships between resource use, waste emission and economic growth[J]. Resources Science, 2011, 33(1): 2–9.]
- [50] 钟太洋, 黄贤金, 韩立, 等. 资源环境领域脱钩分析研究进展[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1400–1412. [Zhong T Y, Huang X J, Han L, et al. Review on the research of decoupling analysis in the field of environments and resource[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(8): 1400–1412.]
- [51] Tang Z, Shang J, Shi C B, et al. Decoupling indicators of CO₂ emissions from the tourism industry in China: 1990–2012[J]. Ecological Indicators, 2014, 46: 390–397.
- [52] Wei S. Decoupling cultivated land loss by construction occupation from economic growth in Beijing[J]. Habitat International, 2014, 43 (3): 198–205.
- [53] Grand M C. Carbon emission targets and decoupling indicators[J]. Ecological Indicators, 2016, 67: 649–656.
- [54] Shuai C Y, Chen X, Wu Y, et al. A three-step strategy for decoupling economic growth from carbon emission: Empirical evidences from 133 countries[J]. Science of the Total Environment, 2019, 646: 524–543.
- [55] 易平, 方世明, 马春艳. 地质公园旅游经济增长与生态环境压力脱钩评价: 以嵩山世界地质公园为例[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1282–1296. [Yi P, Fang S M, Ma C Y. Decoupling evaluation between tourism economic growth and eco-environmental pressure of Songshan Global Geopark[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(8): 1282–1296.]
- [56] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische Rationalität[J]. Die Unternehmung, 1990, 4: 273–290.
- [57] Kytzia S, Walz A, Wegmann M. How can tourism use land more efficiently? A model-based approach to land-use efficiency for tourist destinations[J]. Tourism Management, 2011, 32(3): 629–640.
- [58] 彭红松, 章锦河, 韩娅, 等. 旅游地生态效率测度的SBM-DEA模型及实证分析[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 628–638. [Peng H S, Zhang J H, Han Y, et al. Measurement and empirical analysis of eco-efficiency in tourism destinations based on a slack-based measure-data envelopment analysis model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 628–638.]
- [59] Neto J Q F, Walther G, Bloemhof J, et al. A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 193(3): 670–682.
- [60] Melanen S, Seppälä J, Myllymaa T, et al. Measuring Regional Eco-Efficiency: Case Kymenlaakso[R]. Helsinki: Edita Publishing Ltd, 2004.
- [61] Wursthorn S, Poganietz W R, Schebek L. Economic-environmental monitoring indicators for European countries: A disaggregated

2020年4月

- sector-based approach for monitoring eco-efficiency[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(3): 487-496.
- [62] Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [63] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应[J]. *地理学报*, 2015, 70(6): 980-992. [Guan W, Xu S T. Study on spatial pattern and spatial effect of energy eco-efficiency in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 980-992.]
- [64] 黄和平. 基于生态效率的江西省循环经济发展模式研究[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 2894-2901. [Huang H P. Eco-efficiency on the circular economy development pattern in Jiangxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(9): 2894-2901.]
- [65] Li Y F, Li Y, Zhou Y, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98: 127-133.
- [66] 曹诗颂, 赵文吉, 段福洲. 秦巴特困连片区生态资产与经济贫困的耦合关系[J]. *地理研究*, 2015, 34(7): 1295-1309. [Cao S S, Zhao W J, Duan F Z. Coupling relation analysis between ecological value and economic poverty of contiguous destitute areas in Qinling-Dabashan region[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(7): 1295-1309.]
- [67] Wang Q S, Yuan X L, Cheng X X, et al. Coordinated development of energy, economy and environment subsystems: A case study[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 46(6): 514-523.
- [68] 崔学刚, 方创琳, 李君, 等. 城镇化与生态环境耦合动态模拟模型研究进展[J]. *地理科学进展*, 2019, 38(1): 111-125. [Cui X G, Fang C L, Li J, et al. Progress in dynamic simulation modeling of urbanization and ecological environment coupling[J]. *Progress in Geography*, 2019, 38(1): 111-125.]
- [69] 方创琳, 鲍超. 黑河流域水-生态-经济发展耦合模型及应用[J]. *地理学报*, 2004, 59(5): 781-790. [Fang C L, Bao C. The coupling model of water-ecology-economy coordinated development and its application in Heihe River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 781-790.]
- [70] 宋马林, 徐龙, 王舒鸿, 等. 小样本数据下安徽省经济-环境系统协调发展的实证分析[J]. *地理研究*, 2013, 32(8): 1402-1410. [Song M L, Xu L, Wang S H, et al. Coordinated development of economy and environment in Anhui Province based on small sample data[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(8): 1402-1410.]
- [71] Liu J, Dietz T, Carpenter S R, et al. Complexity of coupled human and natural systems[J]. *Science*, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [72] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. *地理学报*, 2012, 67(10): 1299-1307. [Ma L, Jin F J, Liu Y. Spatial pattern and industrial sector structure analysis on the coupling and coordinating degree of regional economic development and environmental pollution in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1299-1307.]
- [73] 杜湘红, 张涛. 水资源环境与社会经济系统耦合发展的仿真模拟: 以洞庭湖生态经济区为例[J]. *地理科学*, 2015, 35(9): 1109-1115. [Du X H, Zhang T. The simulation to coupling development between water resource & environment and socio-economic system: Dongting Lake Ecological Economic Zone as an example[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1109-1115.]
- [74] 李强, 韦薇. 长江经济带经济增长质量与生态环境优化耦合调度研究[J]. *软科学*, 2019, 33(5): 117-122. [Li Q, Wei W. Study on the coupling coordination degree between economic growth quality and ecological environment optimization in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Soft Science*, 2019, 33(5): 117-122.]
- [75] 丛晓男. 耦合度模型的形式、性质及在地理学中的若干误用[J]. *经济地理*, 2019, 39(4): 18-25. [Cong X N. Expression and mathematical property of coupling model, and its misuse in geographical science[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 18-25.]
- [76] Xing L, Xue M G, Hu M S. Dynamic simulation and assessment of the coupling coordination degree of the economy-resource-environment system: Case of Wuhan City in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 230: 474-487.
- [77] 易平, 方世明. 地质公园社会经济与生态环境效益耦合协调度研究: 以嵩山世界地质公园为例[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 206-216. [Yi P, Fang S M. Coupling coordination between the socio-economic benefits and eco-environmental benefits of the Songshan Global Geopark[J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 206-216.]
- [78] Soytas U, Sari R. Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1667-1675.
- [79] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨[J]. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-18. [Li S C, Cai Y L. Some scaling issues of geography[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 11-18.]
- [80] Wiedmann T, Lenzen M. Environmental and social footprints of international trade[J]. *Nature Geoscience*, 2018, 11(5): 314-321.

Research progress and implication of the relationship between regional economic growth and resource–environmental pressure

PENG Hongsong¹, GUO Lijia¹, ZHANG Jinhe², ZHONG Shien¹, YU Hu³, HAN Ya⁴

(1. School of Business Administration, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210046, China; 2. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 4. School of Hongshan, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 212413, China)

Abstract: The relationship between economic growth and resource–environmental pressure is an important research area for regional sustainable development. However, few studies have systematically summarized relevant research results within different theoretical contexts, and few have compared the pros and cons of different theories, methods, models, indicators, and evaluation systems. Therefore, it is difficult to determine their theoretical contributions. This article reviewed five kinds of theoretical models and empirical studies in this field. It also compared their theoretical connotations, methods, evaluation systems, and applicability. In addition, this article proposed the basic framework and key content of analysis on the relationship between regional economic growth and resource–environmental pressures. We aimed to provide some theoretical reference and technical support for advancing related research. The results show that: (1) The theories, methods, and indicators of this field have different advantages, disadvantages, and application scope. Relevant research should be carried out under the basic framework of testing the direction of causality → identifying the EKC turning point/decoupling state → assessing the eco-efficiency intensity → determining the coupling coordination phase. Regional sustainable development policies should be developed based on the idea of “direction regulation → turning point/state regulation → intensity regulation → system regulation.” (2) We should focus on method, model, and evaluation system optimization. Studies on discovering driving factors, mechanisms, and path selection should be emphasized. Furthermore, it is necessary to implement research on multi-case comparison, remote coupling, and theoretical association in the future.

Key words: economic growth; resource–environmental pressure; Granger causality; Environmental Kuznets Curve; decoupling; eco-efficiency; coupling coordination; research progress