

· 专题一：双清论坛“黄河流域生态保护与可持续发展” ·

## 黄河流域产业绿色转型发展的科学问题与研究展望<sup>\*</sup>

金凤君 马丽<sup>\*\*</sup> 许堞 林美合

中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101

**[摘要]** 黄河流域是我国区域经济的重要板块。经过历史上的长期开发,在工业化和城镇化发展方面取得了巨大成就,但也累积形成了生产力布局与生态环境安全格局、发展规模强度与资源环境承载两对尖锐矛盾。为此,需要以人地关系理论为指导,在科学解构产业发展与资源环境交互作用关系和耦合机理的基础上,深入剖析社会经济行为和布局与生态环境约束的矛盾,探索生态保护目标下产业结构优化、空间布局合理、资源环境效率高效的绿色转型方案。本文立足于黄河流域产业发展与生态环境的两大矛盾,分析了现有产业绿色转型的研究现状,凝练出黄河流域产业绿色转型发展研究需要解决的四大科学问题,并提出黄河流域产业绿色转型发展研究需要人文与自然的学科交叉融合、技术与管理模式的有效结合。

**[关键词]** 黄河流域;产业绿色转型;生态保护;产业布局;生态安全;研究展望

黄河流域是中国区域经济的重要板块和人口密集区,也是国家重要的能源原材料基地、粮食主产区。同时,作为重要的生态功能区域和华北地区重要的生态屏障,黄河中上游地区生态环境质量的好坏,直接关系到中国中长期生态安全和环境质量的演变趋势。经过历史上的长期开发,尤其是近几十年的建设和发展,黄河流域在工业化和产业基地建设方面取得了巨大成就,基本上形成了有利于未来发展的国土空间开发结构和经济社会格局,但也由于资源过度开发和能源重化工产业规模增长过快造成地区资源环境压力加大,水资源等关键要素短缺且利用效率不高等诸多问题<sup>[1]</sup>。

2019年9月习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话,提出了“黄河流域生态保护和高质量发展是重大国家战略,要坚持生态优先、绿色发展……着力加强生态保护治理、保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展”<sup>[2]</sup>。而破解产业发展与生态环境的矛盾是有效推进流域生态保护和高质量发展的关键。为此,从科学研究和技术支撑方面看,黄河流域的生态保护与可持续发展必须在科学研究产业发展与生态



**金凤君** 中国科学院地理科学与资源研究所研究员,享受国务院政府特殊津贴专家,中国科学院杰出科技成就突出贡献者,博士生导师。现任中国地理学会经济地理专业会主任,全国经济地理研究会副会长;生态环境部环境影响咨询委员会委员。先后主持近50项科研课题,出版专著20多部,发表论文200多篇。研究领域主要集中在经济地理学与区域经济学。研究方向:区域可持续发展、区域发展与区域规划、基础设施发展理论与规划。



**马丽** 中国科学院地理科学与资源研究所副研究员,硕士生导师;中国地理学会经济地理专业委员会秘书长。先后主持国家自然科学基金项目3项,发表文章100余篇。研究领域为产业活动与资源环境的交互响应、产业地理与产业规划、区域可持续发展。

环境交互作用关系的基础上,解构社会经济行为和布局与生态环境约束的矛盾,在显性生态环境约束下将“空间开发优化、经济社会行为调整、技术高效支撑、政策与管理导向”有效整合在一起,探索符合流域可持续发展的产业绿色转型路径。

收稿日期:2021-02-16;修回日期:2021-04-24

<sup>\*</sup> 本文根据第274期“双清论坛”讨论的内容整理。

<sup>\*\*</sup> 通信作者, E-mail:mali@igsnr.ac.cn

本文受到国家自然科学基金项目(72050001)的资助。

## 1 黄河流域产业高质量发展与生态保护的核心矛盾剖析

黄河流域是中国经济社会发展的重点区域。早在1980年代,山西就被规划为国家重要的综合能源基地进行开发。2000年以来随着国家经济高速增长带来对能源矿产资源需求的增长,黄河中上游省区的能源重化工基地陆续获批和建设。国务院在2010年批复的《全国主体功能区规划》中对区域内重点发展地区的发展方向予以了明确定位,从上游的兰西地区、宁夏沿黄经济区,到中游的呼包鄂榆、太原城市群,再到下游的中原经济区,其发展定位中都提出要建设全国重要的能源原材料基地(表1)。

但过度重视能源基础原材料产业的发展,容易导致地区产业体系单一、产业结构重型化等问题。

表1 《全国主体功能区规划》对黄河流域重点地区的发展定位

| 重点发展地区  | 主要发展定位  |
|---------|---|
| 山东半岛地区  | 黄河中下游地区对外开放的重要门户和陆海交通走廊,全国重要的先进制造业、高新技术产业基地,全国重要的蓝色经济区                      |
| 中原经济区   | 要建设全国重要的高新技术产业、先进制造业和现代服务业基地,能源原材料基地、综合交通枢纽和物流中心,区域性的科技创新中心以及中部地区人口和经济密集区;  |
| 太原城市群   | 资源型经济转型示范区,全国重要的能源、原材料、煤化工、装备制造业和文化旅游业基地。                                   |
| 呼包鄂榆地区  | 全国重要的能源、煤化工基地、农畜产品加工基地和稀土新材料产业基地,北方地区重要的冶金和装备制造业基地                          |
| 关一天水地区  | 西部地区重要的经济中心,全国重要的先进制造业和高新技术产业基地,科技教育、商贸中心和综合交通枢纽,西北地区重要的科技创新基地,全国重要的历史文化基地。 |
| 宁夏沿黄经济区 | 全国重要的能源化工、新材料基地,清真食品及穆斯林用品和特色农产品加工基地,区域性商贸物流中心                              |
| 兰州—西宁地区 | 全国重要的循环经济示范区,新能源和水电、盐化工、石化、有色金属和特色农产品加工产业基地,西北交通枢纽和商贸物流中心,区域性的新材料和生物医药产业基地。 |

如有学者对黄河流域产业发展特征与演变规律进行分析,发现流域内部工业发展阶段空间差异明显,整体工业结构以劳动和资本密集型工业为主导;中上游省区工业产业体系单一、以能源重化工为主,技术密集型工业比重相对较低;产业发展模式粗放、地区间产业同质化程度高等<sup>[3-5]</sup>。同时,产业在不同地区的规模、结构、效率、布局与地区当地生态环境的本底要素状态、压力耦合错位,导致了黄河流域产业竞争力弱、生态环境脆弱加剧、大气污染严重、水资源短缺和水环境污染以及生态服务功能下降等问题<sup>[5,6]</sup>。究其核心原因,关键在于产业发展布局与生态环境安全格局之间、发展规模强度与资源环境承载力之间的两大矛盾(图1)。

### 1.1 产业布局与生态安全格局之间的矛盾

人类活动在地表的布局呈现围绕部分优势区位点集聚发展的不均衡发展格局,该非均衡性也导致其对生态环境影响的空间异质性,不仅体现在同一生态环境要素质量分布的空间不均衡,还表现在不同地区主导性生态环境约束因素的空间差异性。当生态环境压力分布与生态要素脆弱性的空间分布相叠加,就会造成生态环境问题。综合地形、地貌、水文、土地覆被等多因素,黄河流域生态环境承载力分布非常不均衡,阴山—贺兰山—青藏高原东缘一线以东地区生态环境承载力相对较高,尤其是关中平原、呼包银地区以及伏牛山以东的黄淮海平原地区,因此该地区也是黄河流域人口和产业高度密集的地区,人地关系高度紧张,地下水过度开采,环境累积性污染严重。而中上游地区多处于半干旱与半湿润的过渡带,也是草原与荒漠、草原与森林植被交错过渡带,生态环境敏感脆弱。但该地区却是我国能矿资源,尤其是煤炭资源的高度富集区和加工区。数量众多的煤矿开发以及配套的煤电、煤化工产业建设对地质结构和地下水系的破坏形成地面沉降,地表建设和施工破坏地表植被形成的地表侵蚀,均加重了地区生态脆弱性。如陕北地区每年由于能源开发引起的水土流失面积约为8350 hm<sup>2</sup>,土地沙化面积以每年20000 hm<sup>2</sup>的速度在增长<sup>[7]</sup>;鄂尔多斯市及巴彦淖尔西北部沙漠化有加剧态势,山西地区土壤侵蚀加剧,对局地防风固沙、水土保持功能有一定影响<sup>[8]</sup>。

此外,黄河流域作为国家生态安全格局的重要组成部分,在区内分布有多个国家级重点生态功能区,承担重要的水源涵养、水土保持、荒漠化防治等功能。但是矿产资源富集地区往往也是生态功能重

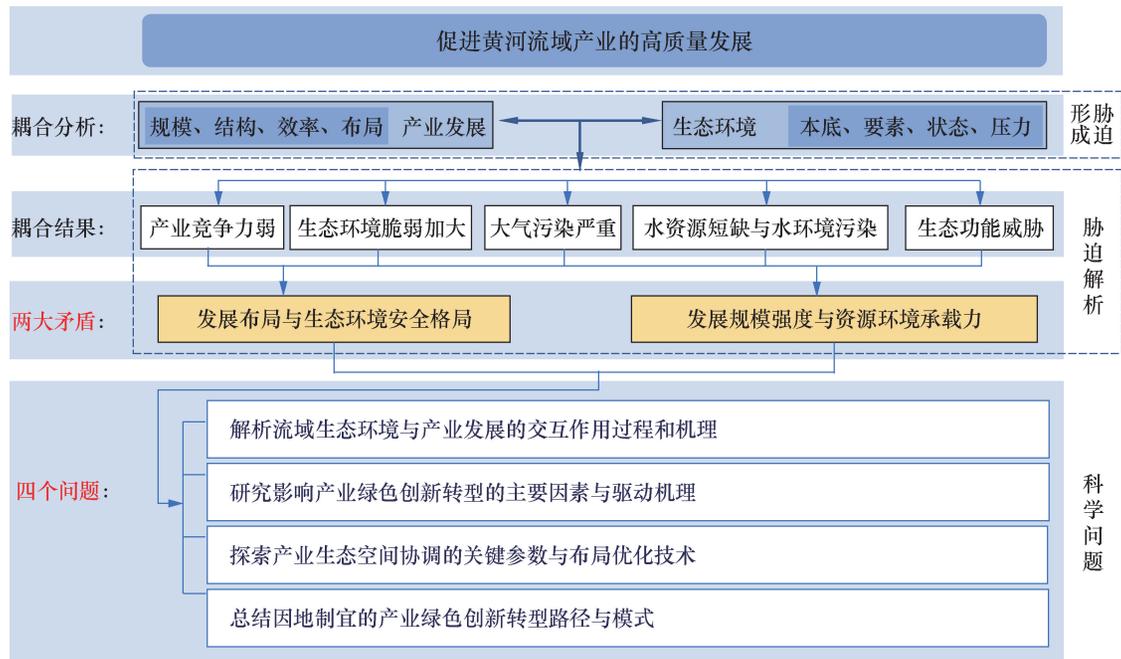


图 1 黄河流域产业高质量发展与生态环境耦合矛盾解析

要区或生态敏感单元,大规模的矿产资源开发极易引发各类生态问题并加速生态环境恶化,对区域生态功能和安全构成威胁。部分地区能矿资源的开发和能源基础原材料产业的发展严重威胁到了地区的生态功能。如山西、蒙西等地的煤炭资源开发多以露天开采为主,需要剥离表层土壤而破坏表层草甸、加重地区水土流失和荒漠化风险;山西吕梁地区、榆林地区和黄陇煤炭基地的开发将威胁到黄土高原丘陵沟壑水土保持功能;陇南煤炭基地的开发将威胁到甘南黄河重要水源补给功能以及秦巴生物多样性生态功能<sup>[6]</sup>。

### 1.2 发展规模强度与资源环境承载力之间的矛盾

在一定的技术水平下,地区资源和环境对经济活动规模的承载能力是有限的。当经济活动的规模或资源开发强度超过当地资源和环境承载能力,就会形成系列生态环境问题。黄河流域产业发展导致的生态环境问题主要体现在两大方面,一个是水资源短缺和局部小流域水环境问题,另一个就是局部地区和城市的大气污染问题,皆是因为产业发展的规模与强度超过了地区资源的可持续供给量与环境的自净能力。黄河流域水资源严重短缺,2017年山西、山东、河南、宁夏等省的人均水资源量不足全国平均的1/5,属于极度缺水区域。水资源短缺已经成为限制地区产业发展的主要因素。但2005年之后,黄河中游的煤炭基地陆续以煤化工为产业发展方向,布局了宁夏宁东能源化工基地、鄂尔多斯能源

与重化工基地、陕西榆神煤化工园区、山西煤化工基地等以煤化工为主的大型产业集聚区,但煤化工所需的大量水资源恰恰是区域最为缺乏和敏感的资源;而且区域煤炭资源密集分布的河套地区生态脆弱,环境敏感点众多,限制了煤炭开发规模和新型煤化工发展能力<sup>[6,8]</sup>。此外,巨大规模的能源重化工产业发展还使黄河及其主要支流容纳的污染物超过自身的水环境承载能力导致流域结构性污染问题突出,重点河段空间污染问题尖锐。受水源、地形条件限制,黄河中上游地区工业园区有沿黄分布的特点,尤其是湟水、伊洛河、昆都仑河、榆林无定河、窟野河、渭河、包头黄河干流、山西汾河、大汶河等主要河流的城市河段周边布局有较大规模的电石、焦化、化工、造纸等产业。2017年,这些河流以30%左右的重要水功能区接纳了流域重要水功能区近80%的废污水和污染物量,COD、氨氮和重金属严重超标<sup>[9]</sup>。

## 2 产业绿色转型发展的内涵与研究现状

随着经济发展导致的环境问题频发,研究人类经济活动组织与空间布局对资源环境的影响,以及通过科学调控人文要素的结构和空间组织以降低或减少其对资源环境的影响的管制和治理问题成为地理学研究的重要议题<sup>[10]</sup>。其中经济活动与自然过程之间的联系和空间相互依赖性、时空变化以及其对经济过程和功能的影响能力是人文与经济地

理学的重点关注内容之一。

工业化和产业活动作为人类作用于“人地关系”地域系统的主要行为,是人类影响资源与环境的重要载体。长期以来,国内外学者对于产业的环境影响进行了大量研究。从1990年代的环境库兹涅茨曲线研究发现了技术和结构转型对产业环境关系拐点的重要性<sup>[11-14]</sup>,到后期的生态现代化理论和环境规制理论,都注重通过技术创新、环境规制以及产业结构调整来应对产业增长的环境问题<sup>[15-17]</sup>。而产业转型则是产业通过持续技术创新和工业革命保持竞争力、增进社会福利的手段<sup>[18]</sup>。狭义的产业转型主要指结构转型,之后又纳入了技术结构、组织结构,以及相应制度创新和机制再造的过程<sup>[19]</sup>;经济地理学者还把产业的空间一体化与布局优化也纳入转型内容<sup>[20]</sup>。产业转型的目标多为确定并解决产业面临的问题,提高产业竞争力,促进地区经济发展。2002年中国首次提出了“具有中国特征的工业化新路径”,其特征是通过信息化驱动工业化。“十二五”规划中也将促进经济发展模式和产业转型作为核心内容,旨在提高人民福祉,优化资源环境。2011年中国社会科学院课题组提出了“工业绿色转型”的概念,指以资源集约利用和环境友好为导向,以绿色创新为核心,实现工业生产全过程绿色化、可持续发展的过程<sup>[21]</sup>。与产业绿色转型相关的概念还有产业绿色化、工业绿色化、工业绿色转型、产业可持续转型、产业生态化和产业生态化转型等<sup>[22-24]</sup>。

2019年习总书记讲话之后,黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略,在共同抓好大保护,协同推进大治理,保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展的号召下,专家学者们围绕产业绿色转型展开了大量研究,重点关注了产业发展的资源环境影响、产业与资源环境之间的矛盾与问题、生态效率评估、产业发展与生态环境污染和压力的时空耦合,以及高质量发展目标下各行业的转型策略与路径<sup>[25-28]</sup>。如一些学者构建了定量评价指标体系,对黄河流域高质量水平的空间格局、生态效率进行了评估,研究了黄河流域各行业当前发展的问题和桎梏,分析了黄河流域产业发展与生态环境保护之间的主要矛盾与问题<sup>[29, 30]</sup>,主要集中在以能源重化工为主的单一化产业体系、产业发展模式粗放、地区间产业同质化程度高与地区生态环境本底脆弱、资源环境承载力低等之间的矛盾。为此,必须注重提升产业发展层次,积极推进以绿色循环为核心的新型

工业化、建构绿色化现代化产业集群、提升绿色技术效率、科技研发、绿色金融、制度创新等<sup>[31]</sup>;发展生态农业、培育服务业增长极、破除行政壁垒、建立区域联动机制等<sup>[32-34]</sup>;健全生态环境与经济发展协同监控机制,统筹和协调好产业开发布局与流域生态环境安全格局的关系<sup>[35]</sup>;此外,还需要加强区域联动,扩大黄河流域整体对外开放水平、积极融入国家战略和全球化进程。

### 3 黄河流域产业绿色转型发展研究的主要科学问题

为了实现党中央提出的“促进黄河流域生态保护与高质量发展”目标,破解“发展布局与生态环境安全格局”和“发展规模强度与资源环境承载力”这两大矛盾,需要从科学上解析产业与生态环境要素的交互作用关系,重点分析产业结构调整与绿色转型方向、产业规模与资源环境承载力、产业布局与地区生态功能、产业投入要素与资源环境效率、产业安全与生态环境状态的耦合机理,甄别问题的状态与未来趋势,模拟预测未来情景;进而才能从“调结构、控规模、优布局、提效率、保安全”五个方面进行优化调控。在此过程中,必须破解以下四大科学问题。

#### 3.1 揭示黄河流域产业发展与生态环境的交互作用过程和机理,甄别限制与约束该地区产业高质量发展的关键矛盾

黄河流域的发展过程复杂,不仅有自然环境本底脆弱带来的发展空间和路径约束,还有长期依托能源重化工产业发展形成的路径依赖与环境压力。要实现黄河流域生态保护目标下产业的高质量发展,必须了解产业发展的规模、结构、布局和效率与水资源、大气环境、土地利用、生态服务功能之间的交互影响和约束关系,针对不同地区辨析经济社会发展与资源环境之间的关键矛盾,了解不同地区驱动这种作用关系演化的主导因素及其作用机理。对于该问题的研究,通常是采用定性与定量相结合的方式,在实际调研地区产业发展历程与生态环境质量变迁的基础上,建立产业发展规模、结构、效率、布局与资源环境要素状态的交互作用定量关系模型<sup>[36-39]</sup>,通过对这种耦合或交互关系的时空变化分析,剖析不同地域单元黄河流域产业发展与生态环境的耦合关系和交互响应方式,识别响应过程的关键参数和因子,揭示耦合关系对社会经济发展和环境保护活动的动态响应方式、过程与

特征。

在黄河流域地区重点要抓住“水”的问题,分析水资源对产业发展的空间与规模约束,以及产业发展对水资源的压力变化<sup>[40]</sup>,如建立水资源—能源—粮食互馈关联分析模型,研究黄河流域能源和粮食生产与水资源消耗之间的关联关系和反馈机制<sup>[41]</sup>,从用水结构调整和效率优化、水权交易等方面进行探讨<sup>[42]</sup>;另外,还要抓住空间约束的问题,通过产业发展空间与生态脆弱性的空间耦合分析,识别产业发展布局与生态环境的关键冲突区域。

### 3.2 研究影响产业绿色创新转型的主要因素及其作用机理

现有对于产业转型驱动因素的研究,多是从外商投资、对外贸易、经济增长、产业转移、技术溢出、环境规制等方面单一视角切入或定量分析单因素对企业行为或地区产业结构和环境污染排放的影响效应<sup>[43]</sup>,但在现实中企业和产业转型行为是受到上述因素共同作用且交互影响。因此科学解析这种复杂的产业演化过程,需要在一种多层次视角综合分析框架指导下,将产业绿色创新转型看作是一个通过技术创新、结构调整和布局优化而提高单位产出的资源环境效率并进而降低地区整体生态环境压力的演化过程。该过程是地区产业突破传统发展路径的解锁过程,其既可以通过培育新的刺激体(新技术、新知识和新市场)来解锁传统路径的阻力实现,还可以通过激发整体氛围的变化(区域创新环境营造、制度演进和公众创新和绿色理念的提升)来增加转型压力获得<sup>[44]</sup>。因此,需要通过对黄河流域重要产业集聚区的相关主体(企业、政府、相关金融技术机构等)进行问卷调查和实地调研,重点关注黄河中游呼包鄂榆、山西等能源产业集聚区,深入了解地区产业主体如何利用全球与本地化优势,通过技术创新、工艺变化、环境规制甚至空间布局变化,打破资源诅咒下的产业发展路径和传统产业—环境锁定关系,建立良性可持续发展的产业发展模式的演化过程<sup>[45]</sup>,由此建立包括社会经济结构、地区发展路径依赖,以及外部刺激要素在内的产业绿色创新转型多层次视角分析框架。

### 3.3 探索产业生态空间协调的关键参数与布局优化技术

针对黄河上、中、下游不同地理单元自然本底条件不同、经济发展规模、结构、效率不同,产业发展对生态环境的胁迫程度与类型不同的客观基础,需要以压力—状态—响应系统分析为支撑,探索产业“控

规模、优布局、调结构、提效率、促和谐”的关键指标和参数阈值范围,以生态环境要素约束为目标倒逼社会经济与产业调控的技术方法和生态环境风险的空间嵌套分析来实现空间行为的双约束。

基于黄河流域水、大气、生态等要素的风险状态评估与风险源识别以及社会经济与要素质量的耦合关联分析,识别确定出影响区域生态环境要素质量变化的主要社会经济因子及其关联关系,进而从实现生态环境目标入手倒逼社会经济的行为调整,提出资源利用上线、环境质量底线、空间利用红线的约束性指标,进而反向约束到重点行业的产能规模和效率等指标。尤其是要注重水资源对产业发展规模和空间布局的反向约束,根据水资源利用的底线“以水定产、以水定人和以水定地”<sup>[46]</sup>。

### 3.4 总结因地制宜的产业绿色创新转型的路径与模式

在经济地理研究中,模式的总结主要是建立在因素差异、过程差异和效果差异综合考虑的基础上,即需要通过将驱动产业转型的主导因素与转型效果相结合,基于典型地区、典型行业的典型企业调研和访谈,定性研究和定量分析结果相结合,综合研究不同地区或不同行业驱动产业绿色创新转型的外部因素、行为主体、转型过程以及最终资源环境成效的差异性,辨析导致不同转型过程与成效差异的主要因子,总结归纳不同类型的空间单元和行业类别。通过揭示导致产业绿色创新转型过程及其生态环境效应差异的主要因素,总结代表性的产业绿色创新转型模式,并根据不同的类型对应提出转型优化路径与政策建议。

## 4 研究展望与建议

总体看来,黄河流域开发历史悠久,人口众多,人地关系和用水关系较为紧张。目前以能源重化工业为主的产业结构、过高的能源开发规模、较低的资源环境效率发展导致流域性水环境、城市群大气环境污染、生态空间遭受挤占形势严峻。这些生态环境问题产生的核心原因在于产业布局与生态安全格局、产业规模强度与地区资源环境承载力的不匹配。但是,黄河流域幅员广阔,自然条件和经济发展差异很大。不同地区产业发展与生态环境的冲突有多大?尤其是水、土资源对产业发展规模的约束程度有多高?哪些地区是冲突最严重的地区?这不仅需要从地理学“人地关系耦合”的角度出发,对黄河流域产业发展与生态环境的交互作用关系和耦合机

理进行分析,研究其时空演化特征与空间分异;在识别重点发展地区的关键约束因素与矛盾、水土生态等关键因素约束地区的基础上,还需要综合运用地理学的空间布局优化思想和管理学的结构调整、体制机制完善等思想提出生态保护优先视角下产业优化发展的路径和调控机制,促进黄河流域地区的产业绿色转型和创新升级,也就是需要加强不同学科之间的交叉融合,将机理—模式与管理政策有机结合起来,切实促进黄河流域的生态保护与高质量发展。

### 参 考 文 献

- [1] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略. 改革, 2019(11): 33—39.
- [2] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话. 求是, 2019(20): 1—5.
- [3] 杨永春, 张旭东, 穆焱杰, 等. 黄河上游生态保护与高质量发展的基本逻辑及关键对策. 经济地理, 2020, 40(6): 9—20.
- [4] 耿凤娟, 苗长虹, 胡志强. 黄河流域工业结构转型及其对空间集聚方式的响应. 经济地理, 2020, 40(6): 30—36.
- [5] 杨永春, 穆焱杰, 张薇. 黄河流域高质量发展的基本条件与核心策略. 资源科学, 2020, 42(3): 409—423.
- [6] 金凤君, 马丽, 许堃. 黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别. 资源科学, 2020, 42(1): 127—136.
- [7] 张倩, 杨仁远, 李志学. 陕北地区能源开发生态环境损失估算. 中国水土保持, 2012(4): 51—54.
- [8] 周能福. 黄河中上游能源化工区重点产业发展战略环境影响评价. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [9] 水利部黄河水利委员会. 2017年黄河水资源公报. (2019-11-20)/[2021-02-16]. <http://www.yrcc.gov.cn/other/hhgb/2017szygb/index.html#p=1>.
- [10] Gibbs D. Integrating sustainable development and economic restructuring: a role for regulation theory?. *Geoforum*, 1996, 27(1): 1—10.
- [11] Grossman M, Krueger AB. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353—377.
- [12] Panayotou T. *Environment degradation at different stages of economic development live hoods in the Third World*. London: Macmillan Press. 1995.
- [13] Dinda S. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological Economics*, 2004, 49(4): 431—455.
- [14] Webber DJ, Allen DO. Environmental Kuznets curves: mess or meaning?. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2010, 17(3): 198—207.
- [15] 李慧明. 生态现代化理论的内涵与核心观点. 鄱阳湖学刊, 2013, (2): 61—72.
- [16] While A, Jonas EGA, Gibbs D. From sustainable development to carbon control: eco-state restructuring and the politics of urban and regional development. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2010, 35(1): 76—93.
- [17] Zuindeau B. Regulation school and environment: theoretical proposal and avenues of research. *Ecological Economics*, 2007, 62: 281—290.
- [18] 金碚. 工业的使命和价值——中国产业转型升级的理论逻辑. 中国工业经济, 2014, (9): 51—64.
- [19] 李国平, 黄国勇. 产业转型的国内研究综述. 山西财经大学学报, 2006, 28(2): 54—58.
- [20] 宋潇, 张文恒. 环渤海区域产业转型发展的困境及对策研究. 管理观察, 2015, (15): 79—82.
- [21] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 中国工业绿色转型研究. 中国工业经济, 2011(4): 5—14.
- [22] Kuai P, Li W, Cheng R, et al. An application of system dynamics for evaluating planning alternatives to guide a green industrial transformation in a resource-based city. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 104: 403—412.
- [23] 马丽. 基于产业环境耦合类型的沿海地区产业绿色转型路径研究. 地理研究, 2018, 37(8): 1587—1598.
- [24] 彭星, 李斌. 不同类型环境规制下中国工业绿色转型问题研究. 财经研究, 2016, 42(7): 134—144.
- [25] 李小建, 王玉钊, 李元征, 等. 黄河流域高质量发展: 人地协调与空间协调. 经济地理, 2020, 40(4): 1—10.
- [26] 马海涛, 徐植枋. 黄河流域城市群高质量发展评估与空间格局分异. 经济地理, 2020, 40(4): 11—18.
- [27] 陈世强, 张航, 齐莹, 等. 黄河流域雾霾污染空间溢出效应与影响因素. 经济地理, 2020, 40(5): 40—48.
- [28] 董锁成, 史丹, 李富佳, 等. 中部地区资源环境、经济和城镇化形势与绿色崛起战略研究. 资源科学, 2019, 41(1): 33—42.
- [29] 徐辉, 师诺, 武玲玲, 等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变. 资源科学, 2020, 42(1): 115—126.
- [30] 耿凤娟, 苗长虹, 胡志强. 黄河流域工业结构转型及其对空间集聚方式的响应. 经济地理, 2020, 40(6): 30—36.
- [31] 赵明亮, 刘芳毅, 王欢, 等. FDI、环境规制与黄河流域城市绿色全要素生产率. 经济地理, 2020, 40(4): 38—47.
- [32] 李二玲, 崔之珍, 李亚婷. 基于技术经济范式的黄河流域农业文明演进. 资源科学, 2020, 42(1): 20—28.
- [33] 赵瑞, 申玉铭. 黄河流域服务业高质量发展探析. 经济地理, 2020, (6): 21—29.
- [34] 王胜鹏, 乔花芳, 冯娟, 等. 黄河流域旅游生态效率时空演化及其与旅游经济互动响应. 经济地理, 2020, 40(5): 81—89.
- [35] 马丽, 田华征, 康蕾. 黄河流域矿产资源开发的生态环境影响与空间管控路径. 资源科学, 2020, 42(1): 137—149.
- [36] Zhang J. Eco-environmental impact assessment of the change of regional industrial structure and regulative measures. *Chinese Journal of Population Resource and Environment*, 2008, 6(2): 8—17.

- [37] 马丽. 基于 LMDI 的中国工业污染排放变化影响因素分析. 地理研究, 2016, 35(10): 1857—1868.
- [38] 关伟, 许淑婷. 辽宁省能源效率与产业结构的空间特征及耦合关系. 地理学报, 2014, 69(4): 520—530.
- [39] 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. 地理学报, 2012, 67(10): 1299—1307.
- [40] 王文彬, 王延荣, 许冉. 水资源约束下黄河流域产业结构变迁规律及其影响因素. 工业技术经济, 2020, 39(6): 138—145.
- [41] 彭少明, 郑小康, 王煜, 等. 黄河流域水资源—能源—粮食的协同优化. 水科学进展, 2017, 28(5): 681—690.
- [42] 薛继亮. 生态脆弱地区高耗水产业和水权分配协同体系建设研究——以黄河上中游流域为例. 资源与产业, 2014, 16(4): 52—56.
- [43] 陆小莉, 刘强, 徐生霞. 中国产业转型升级的空间分异与影响机制研究. 经济问题探索, 2021(2): 135—144.
- [44] 胡晓辉, 朱晟君, Hassink R. 超越“演化”: 老工业区重构研究进展与范式反思. 地理研究, 2020, 39(5): 1028—1044.
- [45] 邓祥征, 杨开忠, 单菁菁, 等. 黄河流域城市群与产业转型发展. 自然资源学报, 2021, 36(2): 273—289.
- [46] 贾绍凤, 梁媛. 新形势下黄河流域水资源配置战略调整研究. 资源科学, 2020, 42(1): 29—36.

## Scientific Issues and Research Prospects of Industries Green Transformation of the Yellow River Basin

Jin Fengjun    Ma Li\*    Xu Die    Lin Meihan

*Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*

**Abstract** The Yellow River basin is an important region of Chinese regional economic development. Though its industrialization and urbanization has made great achievements, they also accumulated a series of problems such as heavy industrial structure, high press on ecology and environment, and shortage of water resources, which could be summed as two pairs of contradictions. One is between productivity layout and ecological environment security pattern, and the other is between development scale and resource-environment carrying capacity. Aimed to regional ecological protection and high-quality development, it is necessary to scientifically analyze the interaction and coupling mechanisms between industrial development and resource and environment under the guidance of human-land relationship theory, probe into the contradiction between the industrial behavior and layout and ecological environment constraints, and explore the green and innovative industrial transformation plan demonstrated as optimized industrial structure, reasonable spatial layout, and high resource and environment efficiency under the ecological protection target. Based on the demonstration of two major contradictions between the industrial development and ecological environment of the Yellow River basin this paper reviews existing literatures of industrial green transformation, discusses the scientific issues on the industrial green transformation research of the Yellow River basin, and concentrates on four major scientific questions that need to be solved in the research of green transformation and development of the Yellow River basin. At last, we propose that it also needs interdisciplinary integration between social and nature sciences and effective combination of technology and management.

**Keywords** the Yellow River basin; industrial green transformation; ecological protection; industrial layout; ecological security; research prospects

(责任编辑 张强)

\* Corresponding Author, Email: mali@igsnr.ac.cn