

# 中国脱贫县生态社会耦合协调的时空特征及影响因素

赵佳文<sup>1</sup>, 周婵<sup>1</sup>, 徐彩霞<sup>1</sup>, 张宇翔<sup>1</sup>, 孙立群<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院深圳先进技术研究院 碳中和技术研究所, 深圳 518055;

2. 中国科学院深圳先进技术研究院 深圳市碳中和能源材料重点实验室, 深圳 518055

**摘要:** 定量分析中国脱贫县生态环境和社会经济之间的耦合协调关系及其影响因素对于总结脱贫经验、巩固脱贫攻坚成果具有重要意义。本文基于长时序、高精度的遥感数据集, 构建了全国832个脱贫县生态环境和社会经济的综合评价指标体系, 定量评估了两者在2010年、2015年和2020年的发展水平及其耦合协调状态, 并运用提升回归树模型识别各指标因子对区域耦合协调发展的贡献率。研究结果表明, 脱贫县生态环境的综合发展水平整体高于社会经济发展水平, 但社会经济的发展速度快于生态环境的改善速度, 且两者在2015至2020年间的平均增长率高于2010至2015年。从空间分布来看, 东北地区脱贫县的耦合协调度最高, 西北地区最低, 整体呈现“东高西低”的分布格局, 并表现出由沿海向内陆逐步推进的发展趋势。绝大部分脱贫县属于“经济滞后型”的耦合协调类型, 人口数量、国内生产总值、夜间灯光等社会经济指标在耦合协调发展中的贡献尤为显著。基于典型地区的脱贫路径和实践经验, 研究进一步提出, 因地制宜发展产业扶贫是推动脱贫县社会经济快速发展的关键举措, 打造多元化的本地特色产业是巩固脱贫攻坚成果、有效防止返贫的核心策略。

**关键词:** 脱贫县, 生态环境, 社会经济发展, 遥感数据集, 耦合协调, 提升回归树模型, 贡献率, 空间分布格局, 产业扶贫

**中图分类号:** X24

**引用格式:** 赵佳文, 周婵, 徐彩霞, 张宇翔, 孙立群. XXXX. 中国脱贫县生态社会耦合协调的时空特征及影响因素. 遥感学报, XX (XX): 1-15

ZHAO Jiawen, ZHOU Chan, XU Caixia, ZHANG Yuxiang, SUN Liqun. XXXX. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of ecological and socioeconomic coupling coordination in China's poverty-alleviated counties. National Remote Sensing Bulletin, DOI:10.11834/jrs.20254483]

## 1 引言

联合国《2030年可持续发展议程》中第一个目标即为消除一切形式的贫困, 这不仅仅是经济收入的增加, 还是包括住房、教育、医疗、粮食安全和营养等多维度水平的提升和平等 (United Nations, 2015)。据估计, 受新冠疫情、通胀上升和乌克兰冲突等因素的影响, 2022年的极端贫困人口多出7500至9500万 (Mahler等, 2022)。2020年底, 中国现行标准下9899万农村贫困人口全部脱贫, 832个贫困县全部摘帽, 12.8万个贫困

村全部出列, 这为全球范围内实现可持续发展目标做出巨大贡献, 也为全球减贫事业探索了宝贵的经验。但是中国2020年脱贫目标的完成并不意味着农村反贫困的终结, 相对贫困将会长期存在 (周扬等, 2018), 同时, 贫困地区总体资源环境承载能力较弱, 生态安全屏障功能突出 (周侃等, 2016)。因此, 生态环境和社会经济的耦合协调发展对推动贫困地区可持续发展至关重要。从减贫战略来看, 中国通过包容性和可持续经济增长实现减贫 (联合国开发计划署等, 2018), 主要包括产业扶贫 (汪三贵等, 2023)、文化扶贫 (曲蕴

收稿日期: 2024-10-28; 预印本: XXXX-XX-XX

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 42201322, 42371309); 深圳市可持续发展科技专项 (编号: KCXST20221021111209021, KCXFZ20230731093500001)

第一作者简介: 赵佳文, 研究方向为区域规划与城乡可持续发展。E-mail: zjw006699@163.com

通信作者简介: 孙立群, 研究方向为城市可持续发展与遥感数据应用。E-mail: lq.sun@siat.ac.cn.

等, 2016)、信息扶贫(李都, 2023)、金融扶贫(刘海东等, 2023)等措施, 其中政策扶持发挥了重要作用(马雯嘉等, 2024)。从减贫模式来看, 崔丹等(2019)基于环京津贫困带提出自上而下、自下而上和上下合作的旅游精准扶贫战略模式; Ge等(2023)基于全国范围内不同区域的贫困县提出了有利有效性、持续性、周期性和有限有效性四种减贫模式, 针对不同区域的资源禀赋与发展规划采取适宜的脱贫举措。从脱贫的驱动因素来看, 涂小松等(2024)基于罗霄山片区的家庭调研数据, 通过地理探测器方法识别家庭劳动力规模与帮扶政策协同作用对农户生计恢复力的驱动效果最佳; 卢永荣等(2023)通过灰色关联度分析法得出关联产业、市场需求等因素对新疆策勒县的产业融合发展影响程度显著。从生态环境和社会经济的耦合协调发展来看, 当前研究多集中在省域(薛婧等, 2022; 胡影等, 2022)、城市群(洪蕾等, 2024; 郝雪娟等, 2023)、都市圈(李诗涵等, 2023; 刘轶等, 2023)等空间范围, 脱贫县地区的相关研究较少且仅关注部分县区(王昭等, 2019; 李静怡等, 2014), 将全国脱贫县纳入统一的评价指标体系的研究较少。由于全国范围内县级地区的统计指标和口径不完全统一、部分脱贫县多年统计数据不全等问题, 仅单一统计面板数据难以支撑全国范围评价指标体系的构建, 而长时序、高精度的遥感数据集弥补了这一不足。通过遥感数据集构建针对全国范围内脱贫县的评价指标体系, 将所有脱贫县置于一个统一的框架内, 有助于从整体的视角全面了解832个脱贫县耦合协调发展特征。

本文基于2010、2015和2020年的遥感数据集构建了全国832个国家级贫困县生态环境和社会经济的综合评价指标体系, 在全面评估脱贫县地区生态环境和社会经济动态发展的基础上, 通过耦合协调度模型分析两者耦合协调发展的时空动态特征, 同时运用提升回归树模型识别各指标因子对脱贫县耦合协调发展的贡献程度, 以此研究全国832个国家级脱贫县耦合协调发展的时空分异特征、各区域脱贫县的发展趋向以及各影响因子对区域耦合协调发展的贡献程度, 从生态社会耦合协调发展的视角总结我国脱贫攻坚的成果及难题。这不仅对全球范围内其他贫困地区的脱贫路径提供了一定的经验借鉴, 同时对于脱贫县巩固脱贫

攻坚成果, 推进区域可持续发展与乡村振兴具有重要意义。

## 2 研究区与数据来源

### 2.1 研究区概况

国务院扶贫办依据人均县域国内生产总值、县域农民人均纯收入等与贫困程度高度相关的指标为基本依据, 划定国家级贫困县。贫困县形成原因复杂, 具有地理位置偏远、资源贫乏、生态环境脆弱以及基础设施和社会发展滞后等特点, 主要分布于西部地区和中东部的山地地区。本文以2014年国务院扶贫办确定的832个国家级贫困县为研究区, 总体面积约462.44万平方公里, 如图1所示。由于2018年青海省海西蒙古族藏族自治州的冷湖行委和茫崖行委合并为茫崖市, 故文中实际包含831个县级区域。从中国六大分区内包含的贫困县数量来看, 东北地区有28个, 华北地区有112个, 西北地区有195个, 西南地区有308个, 中南地区有144个, 华东地区有44个。辽宁省、山东省、江苏省、浙江省、福建省、广东省以及北京、天津和上海没有贫困县。2016年, 28个贫困县脱贫, 2017年, 125个贫困县脱贫, 2018年, 283个贫困县脱贫, 2019年, 344个贫困县脱贫, 2020年, 52个贫困县脱贫, 至此, 我国832个贫困县全部摘帽, 脱贫攻坚任务完成。

### 2.2 数据来源

评价指标体系中的数据均来自于遥感数据, 具体数据来源及分辨率情况如表1所示。

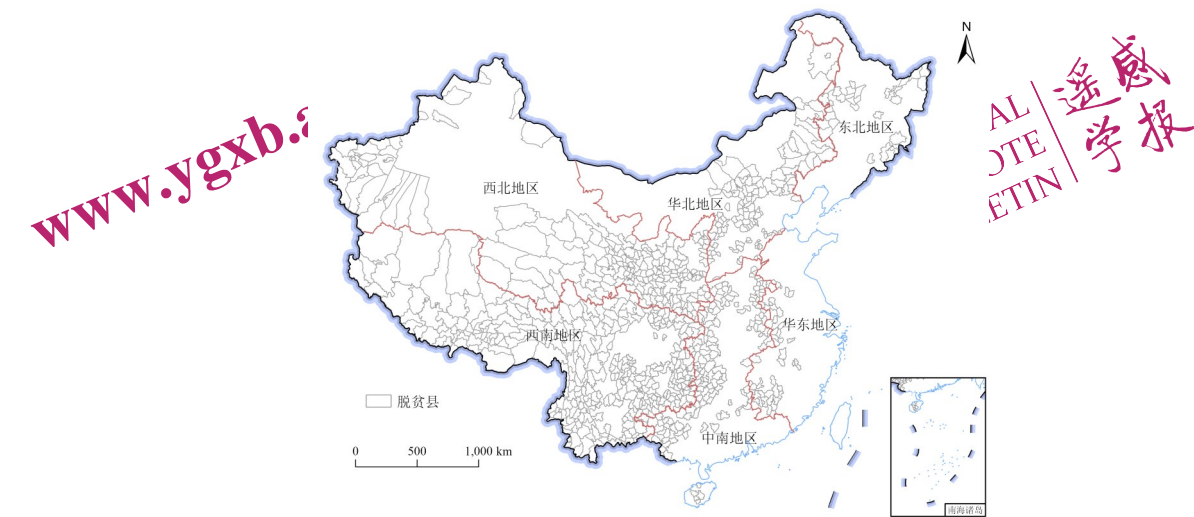


图1 中国脱贫县与六大分区分布图  
Fig.1 Map of poverty-alleviated counties and the six regional divisions in China  
审图号:GS京(2025)1698号

表1 数据来源  
Table 1 Data sources

| 数据                 | 空间分辨率 | 年份               | 来源                                                                                           |
|--------------------|-------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| NDVI               | 30m   | 2010, 2015, 2020 | Yang 等(2019)                                                                                 |
| 土地覆盖               | 30m   | 2010, 2015, 2020 | Yang 等(2021)                                                                                 |
| 植被净初级生产力           | 500m  | 2010, 2015, 2020 | MODIS(Running 等, 2021)                                                                       |
| NO <sub>2</sub> 排放 | 1km   | 2010, 2015, 2020 | Wei 等(2022); Wei 等(2023)                                                                     |
| 气溶胶光学厚度            | 1km   | 2010, 2015, 2020 | Bai 等(2022)                                                                                  |
| PM <sub>2.5</sub>  | 1km   | 2010, 2015, 2020 | Bai 等(2022)                                                                                  |
| GDP                | 1km   | 2010, 2015, 2019 | Chen 等(2022)                                                                                 |
| 夜间灯光               | 500m  | 2010, 2015, 2020 | Chen 等(2021)                                                                                 |
| 用电量                | 1km   | 2010, 2015, 2019 | Chen 等(2022)                                                                                 |
| 人口数量               | 100m  | 2010, 2015, 2020 | WorldPop                                                                                     |
| 道路                 | -     | 2010, 2015, 2020 | OpenStreetMap( <a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a> ) |
| 建筑体积               | 100m  | 2010, 2015, 2020 | GHS-BUILT-V(Pesaresi 等, 2023b)                                                               |
| 建筑面积               | 100m  | 2010, 2015, 2020 | GHS-BUILT-S(Pesaresi 等, 2023a)                                                               |

3 研究方法

3.1 指标体系构建

本文基于高精度、长时序的遥感数据集，从生态环境和社会经济两个方面构建了耦合协调综合评价指标体系，如表2所示。鉴于部分脱贫县的多年统计年鉴数据难以获取以及全国范围内不同省份部分统计指标口径不统一的问题，本文搜集整理了生态环境和社会经济方面的遥感数据集作为指标体系的构建基础。遥感数据具有覆盖区域广、时间序列长等优点，当前发布的高精度遥感

数据产品也越来越丰富。

遵循科学性、全面性和可获得性的原则，将生态环境拆解为生态格局、生态功能和生态胁迫三个子系统。归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）是应用最广的植被指数（田庆久 等，1998），可以直接反应植被覆盖及其生长活力；生态用地对于维持生态系统平衡、促进可持续发展具有重要作用，其面积占比体现了林地、草地、湿地、农田等具有生态属性的用地面积占比情况（韩学敏 等，2010）；生物丰度、水源涵养指数和植被净初级生产力等指标



与生态系统服务功能及可持续供给能力息息相关(陈建辉等, 2024);生态胁迫为负向指标,对生态环境具有不利影响,NO<sub>2</sub>是衡量大气质量的重要指标(项晓铭等, 2022)、气溶胶光学厚度被广泛地作为评估空气污染程度的重要参数(刘海知等, 2019)、PM<sub>2.5</sub>是霾污染环境问题的主要原因(王振波等, 2015)。社会经济共包含经济活动、人口、交通和基础设施4个子系统。国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP)、夜间灯光和用电量可以很好反应区域经济活力;尤其在发展的前期,人口数量的增长和人类活动强度(陈建辉等, 2024)的增加在一定程度上对社会经济发展具有正面影响;交通运输对经济社会发展具有战略性、全局性影响,在乡村振兴方面具有先行引领和支撑保障作用(国家发展和改革委员会, 2015);在“两个确保,两个完善”的贫困村退出标准中提及基础设施基本完善和公共服务基本完善,故本文通过建筑体积和建筑面积两个基本指标衡量基础设施发展情况。

表2 脱贫县社会经济与生态环境评价指标体系及权重

Table 2 Evaluation index system and weights for socio-economic and ecological environment in poverty-alleviated counties

| 系统                | 子系统  | 指标                 | 指标性质   | 权重     |
|-------------------|------|--------------------|--------|--------|
| 生态环境              | 生态格局 | NDVI               | +      | 0.0640 |
|                   |      | 生态用地占比             | +      | 0.1839 |
|                   | 生态功能 | 生物丰度               | +      | 0.1738 |
|                   |      | 水源涵养指数             | +      | 0.1789 |
|                   |      | 植被净初级生产力           | +      | 0.2152 |
|                   | 生态胁迫 | NO <sub>2</sub> 排放 | —      | 0.0433 |
|                   |      | 气溶胶光学厚度            | —      | 0.0815 |
| PM <sub>2.5</sub> |      | —                  | 0.0595 |        |
| 社会经济              | 经济活动 | GDP                | +      | 0.1082 |
|                   |      | 夜间灯光               | +      | 0.1964 |
|                   |      | 用电量                | +      | 0.1050 |
|                   | 人口   | 人口数量               | +      | 0.0945 |
|                   |      | 人类活动强度             | +      | 0.0659 |
|                   | 交通   | 路网密度               | +      | 0.1626 |
|                   | 基础设施 | 建筑体积               | +      | 0.1364 |
| 建筑面积              |      | +                  | 0.1310 |        |

注:后续计算选择的是指标的区域平均值。

### 3.2 归一化

由于各区域之间生态环境和社会经济状况的

差异性,为消除量纲差异,选择分区域对各指标的原始统计数据进行归一化处理,具体公式为:

正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

式中,  $X'_{ij}$  是第  $i$  个对象的第  $j$  项指标的归一化值,  $X_{ij}$  是第  $i$  个对象的第  $j$  项指标的值,  $\max(X_{ij})$  和  $\min(X_{ij})$  表示各指标的最大值和最小值。

### 3.3 权重及综合指数的计算

通过客观赋值法中的熵值法进行权重计算,具体公式为:

①计算指标的比重:

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}} \quad (3)$$

式中,  $P_{ij}$  是指标的权重,  $n$  是评价对象的总数。

②计算熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij} + \epsilon), \quad k = \frac{1}{\ln(n)} \quad (4)$$

式中,  $e_j$  是第  $j$  个指标的熵值,  $k$  是常数,  $\epsilon$  是一个非常小的正数,通常取  $1 \times 10^{-10}$  以避免对数运算中的零值。

③计算信息效用值:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

④计算权重:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (6)$$

式中,  $m$  是指标的总数。各指标权重计算结果见表2。

### 3.4 综合评价

综合评价值  $S_i$  通过加权计算得到,计算公式为:

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j x'_{ij} \quad (7)$$

式中,  $S_i$  是第  $i$  个评价对象的综合评价,  $w_j$  是第  $j$  个指标的权重,  $x'_{ij}$  是第  $i$  个评价对象第  $j$  个指标的归一化值。

3.5 耦合协调度

耦合协调度模型用于分析事物的协调发展水平。耦合度指两个或两个以上系统之间的相互作用影响，实现协调发展的动态关联关系，可以反映系统之间的相互依赖相互制约程度。协调度指耦合相互作用关系中良性耦合程度的大小，它可体现出协调状况的好坏。具体公式为：

$$CCD = \sqrt{CT}$$
 (8)

式中， $CCD$ 为耦合度， $C$ 为耦合度， $T$ 为两个系统的综合评价指数。

$$C = 2 \sqrt{\frac{S_s S_e}{(S_s + S_e)^2}}$$
 (9)

$$T = \alpha S_s + \beta S_e$$
 (10)

式中， $S_s$ 表示社会经济综合评价， $S_e$ 表示生态环境综合评价。耦合协调度的范围为0至1，值越大，协调等级就越高。本文共分为十个等级（廖重斌，1999），如表3所示。其中， $S_s > S_e$ 时为环境滞后型， $S_s = S_e$ 时为环境经济同步型， $S_s < S_e$ 时为经济滞后型。

表3 耦合协调度等级划分

Table 3 Classification of coupling coordination levels

| 耦合协调度     | 协调等级 | 耦合协调度     | 协调等级 |
|-----------|------|-----------|------|
| [0,0.1)   | 极度失调 | [0.5,0.6) | 勉强协调 |
| [0.1,0.2) | 严重失调 | [0.6,0.7) | 初级协调 |
| [0.2,0.3) | 中度失调 | [0.7,0.8) | 中级协调 |
| [0.3,0.4) | 轻度失调 | [0.8,0.9) | 良好协调 |
| [0.4,0.5) | 濒临失调 | [0.9,1]   | 优质协调 |

3.6 提升回归树模型

提升回归树模型（Boosted Regression Tree, BRT）是一种基于分类回归树算法的机器学习算法，其优势在于不必考虑自变量之间的交互作用，能够适应复杂的非线性关系（Elith 等，2008；Buston 等，2011），解释自变量对因变量的贡献程度。在城市环境（Alavipanah 等，2018；Yuan 等，2021；葛跃 等，2017）、城市扩张（李春林 等，2014）、生态系统（Wang 等，2021；陈懂懂 等，2023）以及疾病（刘祥龙 等，2024）等的影响因素方面具有较为广泛的研究。在 R 软件中通过“gbm”包构建 BRT 模型，设置学习速率为 0.001，每次抽取 30% 的数据进行分析，70% 用于训练，并进行 10 次交叉验证。

4 结果分析

4.1 脱贫县生态环境和社会经济综合发展水平

依据生态环境和社会经济评价指标体系，计算得到两个系统 2010、2015 和 2020 年各自的综合评价价值，以此分析生态环境和社会经济的综合发展水平。如图 2a - c 所示，从各个脱贫县的生态环境发展水平来看，海南省的脱贫县生态环境水平居于领先地位，其次生态环境水平较高的脱贫县主要分布在东北和西南的山区，其中东北地区的汪清县、华北地区的鄂伦春自治旗、西北地区的镇坪县（秦巴山区）、西南地区的勐腊县（滇西边境山区）、中南地区的五指山市以及华东地区的寻乌县（罗霄山区）的生态环境水平在所属地区居于领先地位。值得注意的是，吉林省汪清县的生态环境水平在 2020 年超越海南省各县，居 832 个脱贫县首位。如图 2d - f 所示，从各个脱贫县地区的社会经济发展水平来看，社会经济水平较高的脱贫县集中分布在黄淮海地区以及东北平原地区，同时，西藏自治区的城关区和甘肃省的临夏市的社会经济综合评价也处于较高水平。东北地区的望奎县、华北地区的平乡县、中南地区的台前县以及华东地区的颍东区的社会经济水平在所属地区居于领先地位。

如图 2g、h 所示，总体来看，脱贫县地区生态环境的综合发展水平高于社会经济的综合发展水平，生态环境相较于社会经济在各区域内部的发展更为均衡。西南地区脱贫县的生态环境发展水平最高，东北地区脱贫县的生态环境发展水平相对较低，这与气候等自然地理的区位具有一致性。东北地区脱贫县的社会经济发展水平最高，内部的差异较小，这与东北地区良好的资源条件和发展基础、较长的开发历史等密切相关。西北和西南地区脱贫县的社会经济发展处于较低水平，一方面是受地形等因素的影响，居住地较为分散，交通不便，产业发展较为受限，另一方面在于区域内部发展的不均衡性，西藏和四省藏区、南疆四地州、四川凉山、云南怒江、甘肃临夏等深度贫困地区与少数经济发展良好地区的差距大。从时间序列来看，各区域两个系统的综合发展水平在 2010 至 2015 以及 2015 至 2020 年间均处于增长状态，且后五年的平均增长率高于前五年。生态

环境综合评价在十年间的平均增长率为4.69%，其中东北地区在2015至2020年的增长率达13.23%，

社会经济综合评价在十年间的平均增长率为29.44%，社会经济综合评价增长高于生态环境。

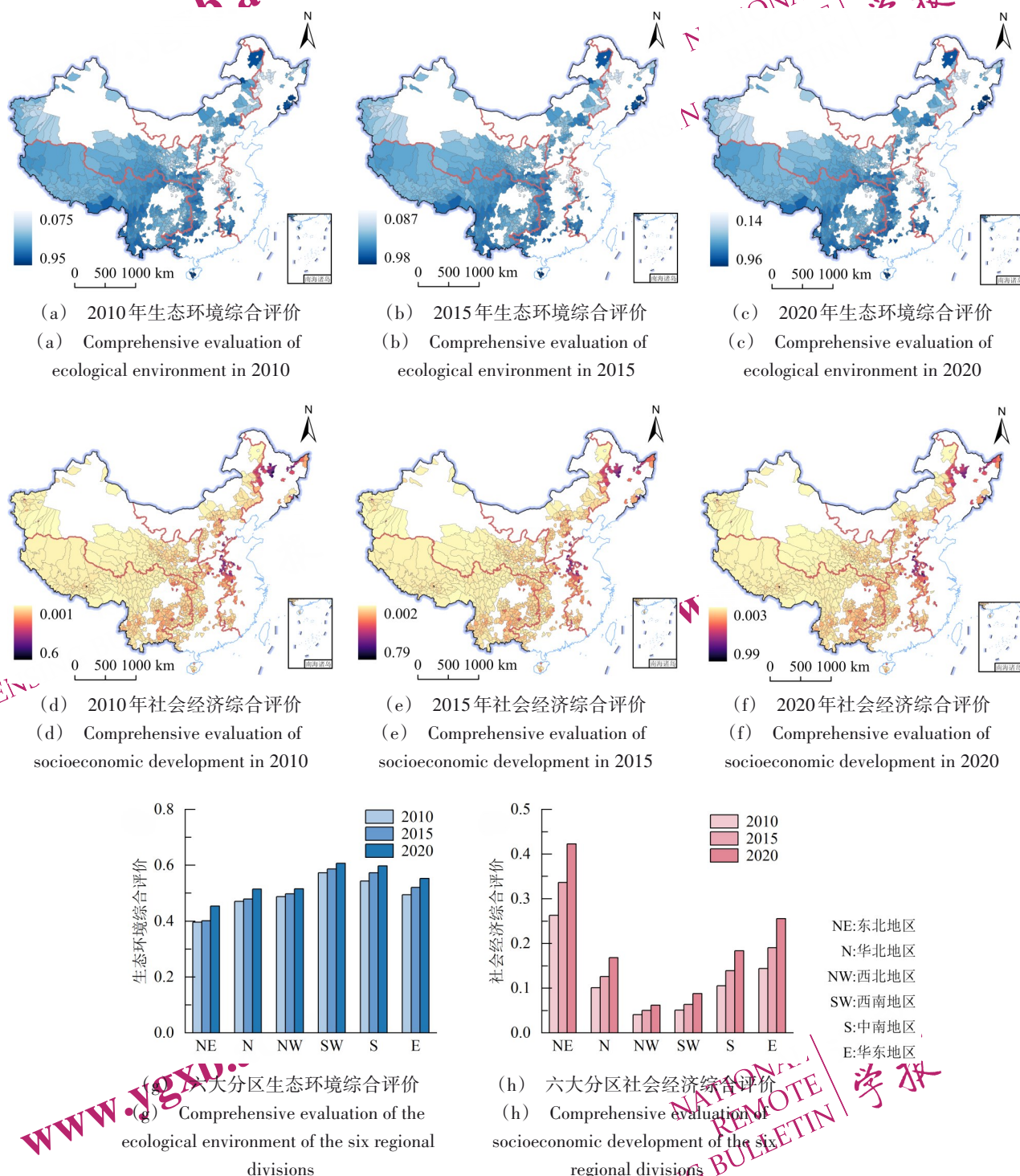


图2 生态环境和社会经济综合评价

Fig.2 Comprehensive evaluation of ecological environment and socioeconomic development

审图号:GS京(2025)1698号

从各个脱贫县生态环境的增长率来看，如图3a所示，2010至2015年间，有78.94%的脱贫县生

态环境呈正向发展，平均正增长率为5%，其中有约十分之一的脱贫县的增长率超10%，四川省广



安区的增长率最高，达63.4%，生态环境增长率较高的地区主要分布在四川、安徽、河南、湖北等陆地中腹部地区；生态环境负向发展地区集中分布在青藏、滇西边境以及大兴安岭南部地区，平均负增长率为-1.7%，呈现出生态环境和社会经济发展的矛盾。如图3b所示，2015至2020年间，有93.02%的脱贫县生态环境呈正向发展，平均正增长率为7.2%，宿州市和邢台市的部分脱贫县增长率处于前列，值得注意的是，大兴安岭南部地区的增长率在后五年均转为正向，吉林省通榆县的

增长率最高，达44.37%。从各个脱贫县社会经济的发展速度来看，社会经济的发展速度快于生态环境。如图3c所示，2010至2015年间，有99.28%的脱贫县社会经济呈正向发展，平均正增长率为33.2%，20个脱贫县的增长率大于1，6个脱贫县负向增长，分布在西藏自治区、甘肃省、四川省和黑龙江省。如图3d所示，2015至2020年间，99.88%的脱贫县社会经济呈正向发展，平均正增长率为34.68%，9个脱贫县的增长率大于1，整体发展更为均衡。

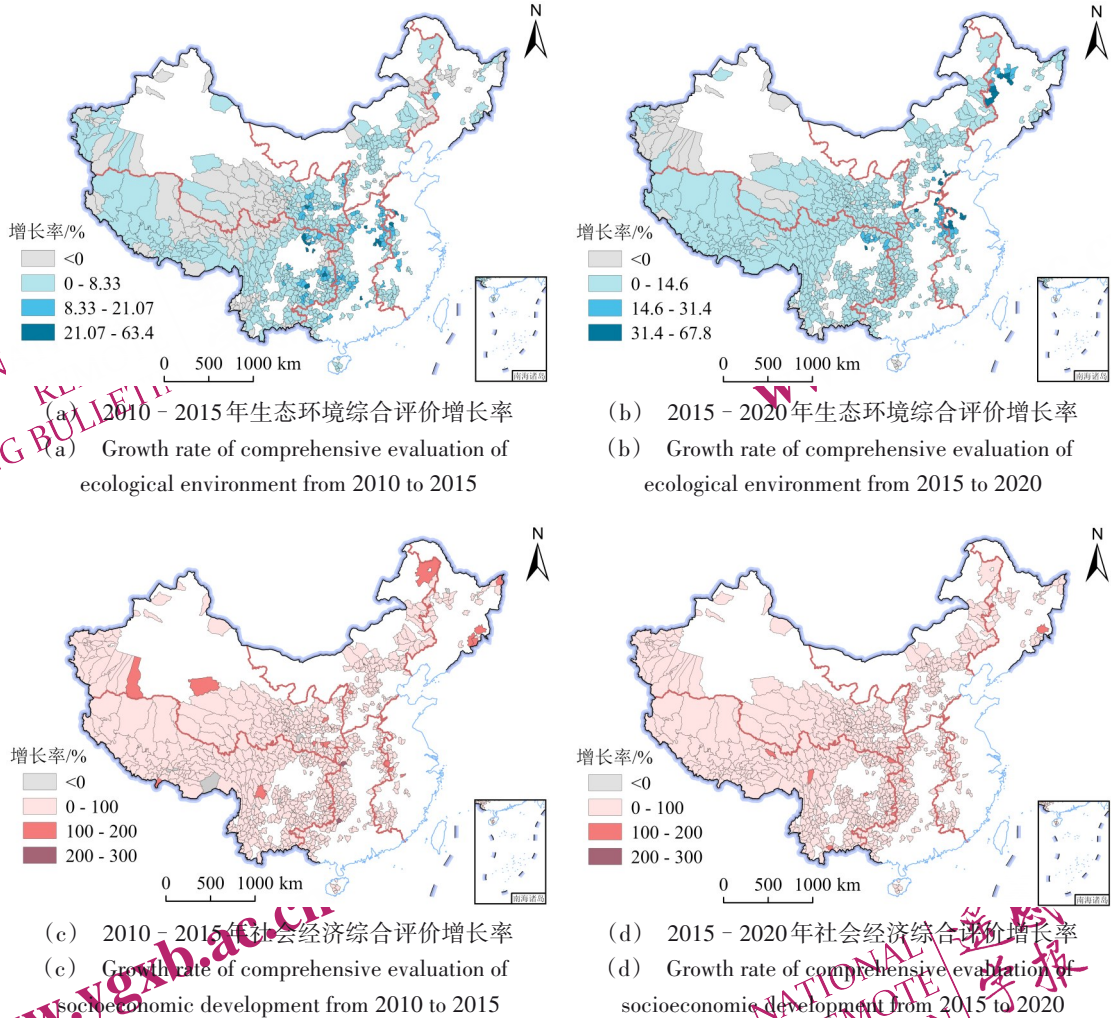


图3 2010-2020年生态环境和社会经济综合评价增长率

Fig.3 Growth rate of comprehensive evaluation for ecological environment and socioeconomic development from 2010 to 2020

审图号:GS京(2025)1698号

#### 4.2 脱贫县生态环境和社会经济耦合协调发展分析

依据生态环境和社会经济的综合评价值，计算得到每个脱贫县2010、2015和2020年两个系统

的耦合协调度，以此分析生态环境和社会经济的耦合协调发展情况。从空间分布来看，如图4a - c所示，脱贫县生态环境和社会经济的耦合协调度呈东高西低的分布格局，在2010至2020年间，呈

现出由沿海向内陆逐步推进的发展趋势,至2020年,失调地区集中分布在“胡焕庸线”以西,且以轻度失调为主,严重失调地区为青海省茫崖市和新疆维吾尔自治区的民丰县,主要原因在于两地的社会经济综合评价值过低。如图4d所示,从六大区域的耦合协调度来看,东北地区的耦合协调度最高,西北地区的耦合协调度最低。2010年,东北和华东地区的耦合协调度等级为勉强协调,华北、西南和中南地区的耦合协调度等级为濒临失调,西北地区为轻度失调。2020年,东北和华东地区的耦合协调度等级达到初级协调,华北和中南地区的耦合协调度等级为勉强协调,西北和西南地区的耦合协调度等级为濒临失调。经过十

年的发展,东北、华北、西北、中南以及华东地区的耦合协调度均上升一个等级,西南地区的耦合协调度由0.41发展为0.48,仍处于濒临失调状态。值得注意的是,在区域总体濒临失调的状态下,新疆维吾尔自治区的喀什市与和田市的耦合协调度分别为0.65和0.62,达到初级协调,西藏自治区城关区的耦合协调度为0.85,达到良好协调水平,这体现出西部地区脱贫县生态环境和社会经济耦合协调发展巨大的内部差异性。从时序变化来看,六大区域生态环境和社会经济的耦合协调度在2010至2020年间处于稳步增长状态,2010至2015年的平均增长率为7%,2015至2020年的平均增长率为9%,呈现出良好的发展态势。

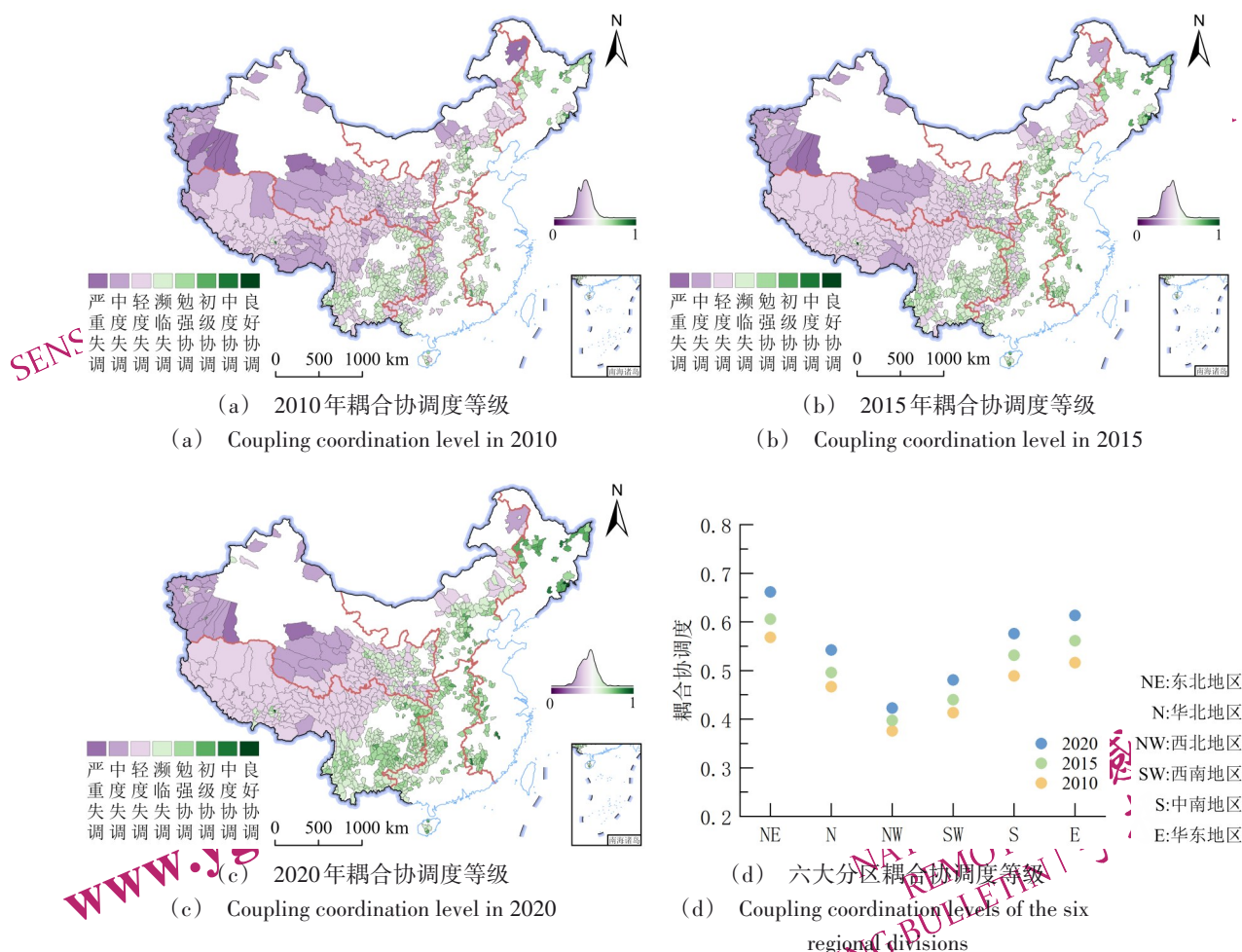


图4 脱贫县生态环境和社会经济耦合协调度等级

Fig.4 Coupling coordination level of ecological environment and socioeconomic development in poverty-alleviated counties

审图号:GS京(2025)1698号

#### 4.3 耦合协调影响因素分析

以评价指标作为自变量,耦合协调度为因变

量,运用BRT模型计算各项指标对于所属地区生态环境和社会经济两个系统耦合协调的影响,分



解各指标对于区域耦合协调发展的贡献率，以此为提高区域的耦合协调度提供针对性策略。具体计算结果如图6所示。从各项指标来看，生态环境指标的平均贡献率小于社会经济，2010、2015和2020年间生态环境指标的平均贡献率为2.98%，社会经济指标的平均贡献率为9.52%，由此可见，脱贫县生态环境和社会经济的耦合协调的主要驱动因素来自于社会经济。生态环境指标中，生态用地占比对于耦合协调发展的影响程度最高，在2010至2015年间由6.63%增至7.22%，2020年降至6.01%；社会经济指标中，GDP、人口数量和建筑体积在2010、2015、2020年的贡献率均超过10%，路网密度三年的贡献率分别为2.96%、5.93%和10.86%，增速最快。

从不同区域脱贫县生态环境和社会经济耦合协调发展的影响因素来看，大多数区域的主要影响因素来自社会经济指标，只有东部地区的影响

因素更多来自生态环境指标，2010和2015年的主要影响因素为NDVI和生态用地占比，2020年二者的影响程度略有下降，GDP和建筑体积的影响程度上升。东北地区的主要影响因素为GDP和夜间灯光，2020年两者的共同贡献率达50.88%。华北地区的主要影响因素为GDP和建筑体积，2020年两者的共同贡献率达53.1%。西北地区最主要的影响因素为建筑体积，其次为人类活动强度、GDP和路网密度，2010至2020年间，人类活动强度的贡献率由23.88%降至4.35%，驱动程度显著下降，路网密度的贡献率由1.84%增至15%，贡献率显著上升。西南地区是贫困人口最多的地区，人口数量和建筑面积是其生态环境和社会经济耦合协调的主要驱动因素，这与其他地区具有显著差异。中南地区的主要影响因素为GDP和建筑体积，夜间灯光在2020年的影响程度最高。

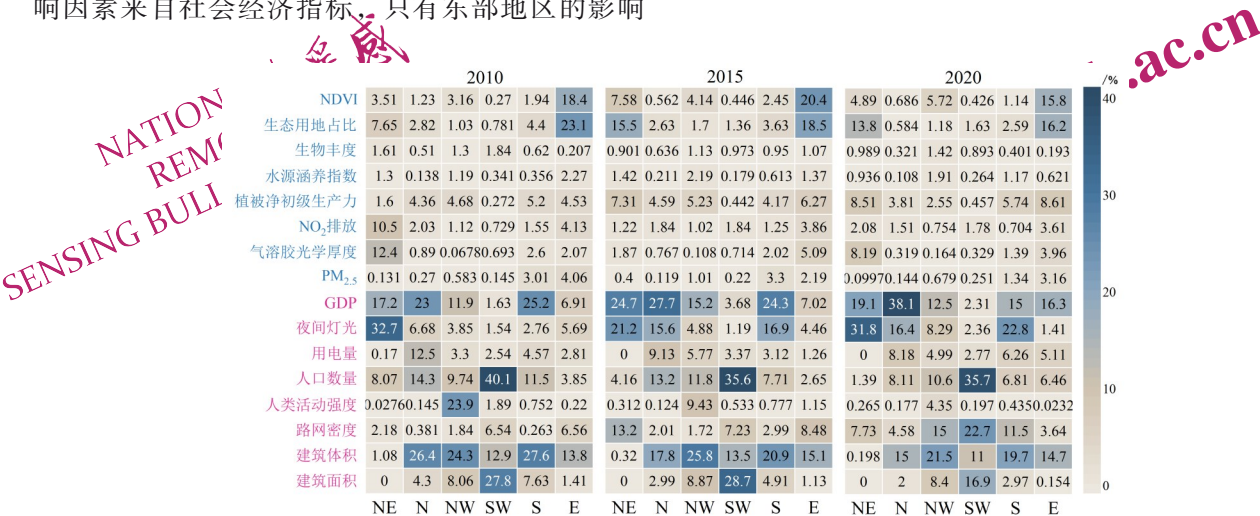


图5 脱贫县各影响因子对耦合协调度的贡献率

Fig.5 Contribution of each influencing factor to the coupling coordination in poverty-alleviated counties

5 讨论

依据各个脱贫县生态环境和社会经济的综合发展水平，可将耦合协调类型具体分为经济滞后型、环境滞后型和环境经济同步型。如图6所示，两个系统的综合发展水平决定了各脱贫县在图中的位置，点的大小表示耦合协调度的大小。东北地区的脱贫县耦合协调类型较为均衡，经济滞后型和环境滞后型大致各半，有17.86%的地区环境和经济发展趋于同步（生态环境和社会经济的综合发展水平差异小于10%）。其余地区以经济滞后型为主，其中华北地区约有86.3%，西北地区约有

97.78%，西南地区约有98.8%，中南地区约有82.87%，华东地区约有72.72%。从贫困的成因来看，脱贫县地区往往生态本底良好，重点生态功能区占其总面积的76.52%（周侃等，2016），但是由于地理位置、交通等因素的限制，经济发展较为受限，许多地区处于生态贫困状态。在这种情况下，保护生态环境的意义往往大于发展经济，因此在“生态补偿脱贫一批”的政策指导下，可以采取一系列的生态补偿扶贫模式（张宜红等，2020）。环境滞后型一方面可能是由于所处地区原本的生态环境较为恶劣，如干旱、风沙等，这种情况需要着重进行生态的恢复和改善，治理生态

环境的同时往往也会营造更好的经济环境；另一方面可能存在早期牺牲环境发展经济的状况，这需要在保持经济的情况下逐步恢复区域的生态状况。同时需要注意在经济环境同步型中可能出现的“低低高”状况，即生态环境和社会经济发展水平均较低但二者的耦合协调度相对较高的情况，在这种情形下，需要综合评估区域发展状况及生态环境承载力状况，选择适宜的路径以摆脱相对贫困的状态。

依据2020年六大区域内耦合协调度的最高值，选取龙井市、平乡县、临夏市、城关区、临高县和南康区作为典型地区，具体分析它们2010至2020年间生态环境和社会经济的发展趋向，研究其脱贫路径及政策措施，以总结相关的脱贫经验。由图6可知，除平乡县2015年生态状况略有下降外，其余典型脱贫县在2010至2020年间均为生态环境和社会经济同步向好的发展态势，其中社会经济的发展幅度大于生态环境。从减贫举措来看，各典型脱贫县的脱贫举措均少不了因地制宜的产业扶贫，如龙井市的苹果梨和旅游业、平乡县的互联网+自行车产业、临夏市的光伏产业和食用菌、城关区的特色农牧和乳制品产业、临高县的渔业和花卉业、南康区的家具及其配套产业。在政策的支持下，拓展和延长产业链使得区域经济得到较快发展。对于经济滞后型地区，经济的快速发展使得生态环境和社会经济两个系统朝着同步的方向趋近，但是对于环境滞后型，随着社会经济的进一步发展，生态环境和社会经济之间的差距越来越大。因此，环境滞后型地区需要在发展经济的同时重视生态环境的恢复。对于生态环境脆弱、自身资源不足的地区，通过易地搬迁及东西部定点帮扶等举措完成脱贫后，需要将“输血式”帮扶转变为“造血式”帮扶，借助帮扶政策因地制宜发展本地特色产业，打造多元化产业体系，防止返贫。

NATIONAL  
REMOTE  
SENSING BULLETIN | 遥感学报

www.ygxb.ac.cn

NATIONAL  
REMOTE  
SENSING BULLETIN | 遥感学报

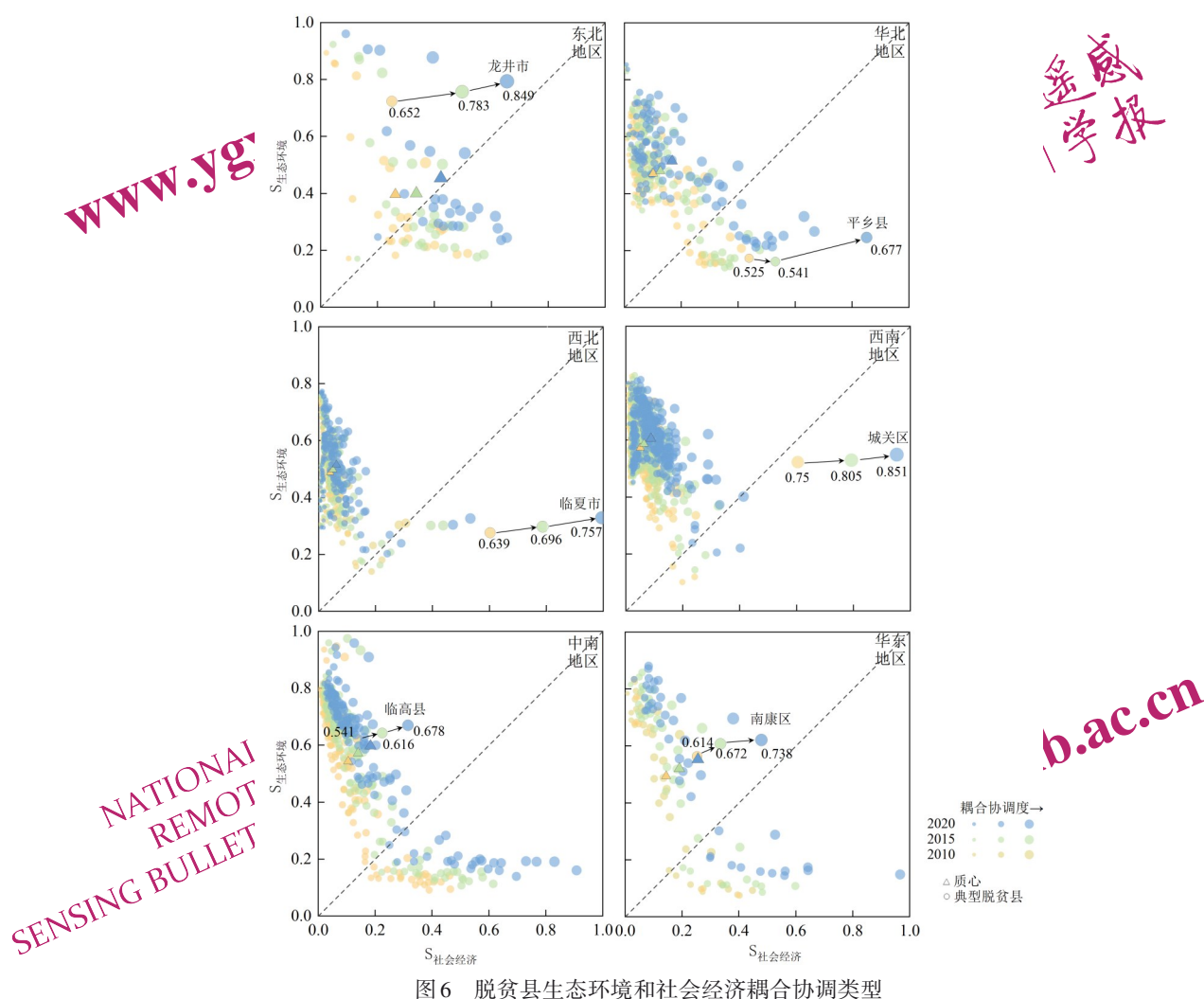


图6 脱贫县生态环境和社会经济耦合协调类型

Fig.6 Types of coupling coordination between ecological environment and socioeconomic development in poverty-alleviated counties

## 6 结论

本文以832个国家级脱贫县为研究区，基于长时序、高分辨率的遥感数据集研究了脱贫县在2010、2015和2020年生态环境和社会经济的耦合协调动态演化过程及各影响因子贡献率，通过对典型脱贫县脱贫路径的分析总结，提出针对不同类型脱贫县的政策建议。主要得出以下结论：

(1) 总体来看，脱贫县生态环境的综合发展水平高于社会经济，而社会经济的发展速度快于生态环境。海南省的脱贫县生态环境水平居于领先地位，黄淮海以及东北平原地区的脱贫县社会经济发展水平更高。两个系统在2010至2015以及2015至2020年间均处于增长状态，且后五年的平均增长率高于前五年。这与贫困县脱贫的时间相契合，2016至2020年间，832个贫困县陆续摘帽，于2020年脱贫攻坚任务完成。

(2) 从各个脱贫县来看，2010至2015年间，有78.94%的脱贫县生态环境呈正向发展，平均正增长率为5%，有99.28%的脱贫县社会经济呈正向发展，平均正增长率为33.2%；2015至2020年间，有93.02%的脱贫县生态环境呈正向发展，平均正增长率为7.2%，有99.88%的脱贫县社会经济呈正向发展，平均正增长率为34.68%。少量地区呈负向增长，表现出生态环境和社会经济发展的矛盾。

(3) 脱贫县生态环境和社会经济的耦合协调度整体上呈东高西低的分布格局，东北地区的耦合协调度最高，西北地区的耦合协调度最低。在2010至2020年间，呈现出由沿海向内陆逐步推进的发展趋势，至2020年，失调地区集中分布在“胡焕庸线”以西，且以轻度失调为主，表明扶贫开发与生态环境保护之间相对协调的促进状态。

(4) 六大区域耦合协调的驱动因素更多来自



社会经济指标,只有东部地区的驱动因素更多来自生态环境指标,不同区域之间具有较大差异性。其中,人口数量、GDP、夜间灯光等指标对于区域耦合协调的驱动尤为显著。

(5)在政策支持下,因地制宜的产业扶贫是推动脱贫县社会经济快速发展并实现脱贫攻坚的重要举措。将“输血式”帮扶转变为“造血式”帮扶,打造多元化的本地特色产业是巩固脱贫攻坚成果、防止返贫的关键因素。

本文基于遥感数据集构建了生态环境和社会经济的评价指标体系,在一定程度上破除了脱贫县地区统计数据不全、口径不统一的难题,但是在一些方面也存在一定的问题。首先,遥感数据的结果与区域的真实统计结果可能存在一定的误差,不同的指标数据统计方法可能会导致不同的结果,如何通过指标选择更加精确的表征区域的实际发展状况需要不断思考和精进;其次,遥感数据集种类相对有限,如区域的教育医疗水平、扶贫保障措施的减贫效果(华婧等,2024)等难以通过遥感数据的形式体现,同时,很多遥感数据产品基于多个其他数据集反演而来,可能会导致一定的共线性问题。未来可通过遥感数据和统计数据相结合的方式,将更多非收入因素纳入到贫困考量中,不断完善评价指标体系,扩展研究的时间尺度,更精准的展现脱贫进程和发展效果。

**志 谢** 感谢国家科技基础条件平台-国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>)、国家青藏高原科学数据中心(<http://data.tpdc.ac.cn>)、国家生态科学数据中心(<https://www.nesdc.org.cn>)提供数据支撑。

## 参考文献(References)

- Alavipanah S, Schreyer J, Haase D, Lakes T, and Qureshi S. 2018. The effect of multi-dimensional indicators on urban thermal conditions. *Journal of Cleaner Production*, 177(2018): 115-123 [DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.187]
- Bai K, Li K, Ma M, Li K, Li Z, Guo J, Chang N B, Tan Z, and Han D. 2022. LGHAP: the Long-term Gap-free High-resolution Air Pollutant concentration dataset, derived via tensor-flow-based multi-modal data fusion. *Earth System Science Data*, 14(2): 907-927 [DOI: 10.5194/essd-14-907-2022]
- Buston P M, and Elith J. 2011. Determinants of reproductive success in dominant pairs of clownfish: a boosted regression tree analysis. *Journal of animal ecology*, 80(3): 528-538 [DOI: 10.1111/j.1365-2656.2011.01803.x]
- Chen J D, Gao M, Cheng S L, Hou W X, Song M L, Liu X, and Liu Y. 2022. Global 1 km  $\times$  1 km gridded revised real gross domestic product and electricity consumption during 1992 - 2019 based on calibrated nighttime light data. *Scientific Data*, 9(1): 202 [DOI: 10.1038/s41597-022-01322-5]
- Chen Z Q, Yu B L, Tang C S, Zhou Y Y, Yao S J, Qian X J, Wang C X, Wu B, and Wu J P. 2021. An extended time series (2000 - 2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration. *Earth System Science Data*, 13(3): 889-906 [DOI: 10.5194/essd-13-889-2021]
- Elith J, Leathwick J R, and Hastie T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of animal ecology*, 77(4): 802-813 [DOI: 10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x]
- Ge Y, Hu S, Song Y Z, Zheng H, Liu Y S, Ye X Y, Ma T, Liu M X, and Zhou C H. 2023. Sustainable poverty reduction models for the coordinated development of the social economy and environment in China. *Science Bulletin*, 68(19): 2236-2246 [DOI: 10.1016/j.scib.2023.08.015]
- Mahler D G, Yonzan N, Hill R, Lakner C, Wu H, and Yoshida M. 2022. Pandemic, prices, and poverty. *World Bank*. <https://blogs.worldbank.org/zh/opendata/daliuxingjiagayipinkun>
- United Nations. 2015. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Pesaresi M, and Politis P. 2023a. GHS-BUILT-S R2023A-GHS built-up surface grid, derived from Sentinel2 composite and Landsat, multitemporal (1975-2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC). [DOI: 10.2905/9F06F36F-4B11-47EC-ABB0-4F8B7B1D72EA]
- Pesaresi M, and Politis P. 2023b. GHS-BUILT-V R2023A-GHS built-up volume grids derived from joint assessment of Sentinel2, Landsat, and global DEM data, multitemporal (1975-2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC). [DOI: 10.2905/AB2F107A-03CD-47A3-85E5-139D8EC63283]
- Running S, and Zhao M. 2021. MODIS/Terra Net Primary Production Gap-Filled Yearly L4 Global 500m SIN Grid V061.
- Wang S, Xu L, Zhuang Q, and He N. 2021. Investigating the spatio-temporal variability of soil organic carbon stocks in different ecosystems of China. *Science of The Total Environment*, 758: 143644 [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143644]
- Wei J, Li Z, Wang J, Li C, Gupta R, and Cribb M. 2023. Ground-level gaseous pollutants (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and CO) in China: daily seamless mapping and spatiotemporal variations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(2): 1511-1532 [DOI: 10.5194/acp-23-1511-2023]
- Wei J, Li Z, Li Z, Liu C, Qin K, Liu X, Pinker R T, et al. 2022. Ground-Level NO<sub>2</sub> Surveillance from Space Across China for High Resolution Using Interpretable Spatiotemporally Weighted Artificial Intelligence. *Environmental Science & Technology*, 56(14): 9988-9998 [DOI: 10.1021/acs.est.2c03834]
- Worldpop. Population Counts/Unconstrained individual countries 2000-2020 UN adjusted (100m resolution). [2024-10-25]. <https://>

- hub.worldpop.org/
- Yang J, Dong J, Xiao X, Dai J, Wu C, Xia J, Zhao G, et al. 2019. Divergent shifts in peak photosynthesis timing of temperate and alpine grasslands in China. *Remote Sensing of Environment*, 233: 111395 [DOI: 10.1016/j.rse.2019.111395]
- Yang J, and Huang X. 2021. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 13(8): 3907-3925 [DOI: 10.5194/essd-13-3907-2021]
- Yuan B, Zhou L, Dang X, Sun D, Hu F, and Mu H. 2021. Separate and combined effects of 3D building features and urban green space on land surface temperature. *Journal of Environmental Management*, 295: 113116 [DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113116]
- Chen D D, Huo L L, Zhao L, Chen X, Shu M, He FQ, Zhang Y K, Zhang L, and Li Q. 2023. Contribution of water and heat factors to spatial variability of soil microbial biomass carbon and nitrogen in Qinghai alpine grassland: Based on enhanced regression tree model. *Ecology and Environmental Sciences*, 32(7): 1207-1217 (陈懂懂, 霍莉莉, 赵亮, 陈昕, 舒敏, 贺福全, 张煜坤, 张莉, 李奇. 2023. 青海高寒草地水热因子对土壤微生物生物量碳、氮空间变异的贡献——基于增强回归树模型. *生态环境学报*, 32(7): 1207-1217 [DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2023.07.004])
- Chen J H, Wang X Q, and Kong L F. 2024. Construction of adaptive indicator reduction model for ecological environment health assessment. *Journal of Geo-information Science*, 26(5): 1193-1211 (陈建辉, 汪小敏, 孔令凤. 2024. 面向生态环境健康评价的自适应指标约简模型构建. *地球信息科学学报*, 26(5): 1193-1211 [DOI: 10.12082/dqxxkx.2024.230431])
- Cui D, Wu H, Liu H H, and Wu D T. 2019. Analysis the Model and Path of the Tourism Accurate Poverty Alleviation of the Poverty Belt around the Metropolitan—A Case Study of 22 National-level Impoverished Counties in the Poverty Belt around Beijing and Tianjin. *China Soft Science*, (7): 81-90 (崔丹, 吴昊, 刘宏红, 吴殿廷. 2019. 大都市区贫困带旅游精准扶贫模式与路径探析——以环京津贫困带22个国家级贫困县为例. *中国软科学*(7): 81-90 [DOI: 10.3969/j.issn.1002-9753.2019.07.008])
- Ge Y, Wang M X, Sun X W, and Qi J D. 2017. Variation Analysis of Daily PM<sub>2.5</sub> Concentrations Based on Boosted Regression Tree: A Case Study in Changzhou. *Environmental Science*, 38(2): 485-494 (葛跃, 王明新, 孙向武, 齐今笛. 2017. 基于增强回归树的城市PM<sub>2.5</sub>日均值变化分析:以常州为例. *环境科学*, 38(2): 485-494 [DOI: 10.13227/j.hjxx.201607067])
- National Development and Reform Commission. 2015. Opinions on better playing the role of transportation in supporting and leading economic and social development (Development and Reform Foundation [2015] No. 969) (国家发展和改革委员会. 2015. 关于当前更好发挥交通运输支撑引领经济社会发展作用的意见(发改基础[2015]969号). 2015-05-27.) [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201505/t20150527\\_963843.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201505/t20150527_963843.html)
- Han X M, Pu L J, Zhu M, and Xu Y. 2010. Calculation of the Area of Effective Ecological Land in the Region around Taihu Lake. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(22): 301-305 (韩学敏, 濮励杰, 朱明, 许艳. 2010. 环太湖地区有效生态用地面积的测算分析. *中国农学通报*, 26(22): 301-305 [DOI: CNKI:SUN:ZNTB.0.2010-22-063])
- Hao Z J, Wen Q, Shi L N, Wu X Y, and Ding J M. 2023. Spatial Network Analysis of Coupling Coordination Between Social Economy and Eco-Environment in Yellow River Basin Urban Agglomerations. *Economic Geography*, 43(12): 181-191 (郝智娟, 文琦, 施琳娜, 吴昕燕, 丁金梅. 2023. 黄河流域城市群社会经济与生态环境耦合协调空间网络分析. *经济地理*, 43(12): 181-191 [DOI: 10.15937/j.cnki.jjdl.2023.12.018])
- Hong L, Sun J, Liu D, Zhang W H, and Zou C X. 2024. Research on the Development of Coupling Coordinated Relationship and the Affecting Factors of Eco-environment and Socio-economy in Central Urban Agglomeration of Yangtze River Delta Region. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 40(9): 1155-1166 (洪蕾, 孙杰, 刘冬, 张文慧, 邹长新. 2024. 长三角中心城市群生态环境与社会经济耦合协调发展及其影响因素研究. *生态与农村环境学报*, 40(9): 1155-1166 [DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2023.0662])
- Hu Y, Feng X M, and Gong J. 2022. Coordination analysis of the nature and social-economic system of Ningxia Hui Autonomous Region based on ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 42(16): 6523-6533 (胡影, 冯晓明, 巩杰. 2022. 基于生态系统服务的宁夏回族自治区自然-社会经济协调性分析. *生态学报*, 42(16): 6523-6533 [DOI: 10.5846/stxb202010202664])
- Hua J, Wu B, Chen Z Q, Yang C S, Tang X, Sun F R, Wu J P, and Yu B L. 2024. Spatiotemporal variations in nighttime lights in poverty-stricken counties in China. *Journal of Remote Sensing*, 28(4): 940-955 (华婧, 吴宾, 陈佐旗, 杨成术, 唐曦, 孙斐然, 吴健平, 余柏漠. 2024. 精准扶贫背景下中国贫困县的夜间灯光时空变化分析. *遥感学报*, 28(4): 940-955 [DOI: 10.11834/jrs.20221856])
- Li C L, Liu M, Hu Y M, Xu Y Y, and Sun F Y. 2014. Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression. *Acta Ecologica Sinica*, 34(3): 727-737 (李春林, 刘森, 胡远满, 徐岩岩, 孙凤云. 2014. 基于增强回归树和Logistic回归的城市扩展驱动力分析. *生态学报*, 34(3): 727-737 [DOI: 10.5846/stxb201212121790])
- Li D. 2023. Digital Rural Communication: Rethinking Information Poverty Alleviation Based on Actor—Network Theory. *Journal of Kunming University of Science and Technology (Social Science)*, 23(3): 151-158 (李都. 2023. 数字乡村传播: 基于行动者网络理论的信息扶贫再思考. *昆明理工大学学报(社会科学版)*, 23(3): 151-158 [DOI: 10.16112/j.cnki.53-1160/c.2023.03.262])
- Li J Y, and Wang Y H. 2014. Spatial coupling characteristics of eco-environment quality and economic poverty in Lvliang area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25(6): 1715-1724 (李静怡, 王艳慧. 2014. 吕梁地区生态环境质量与经济贫困的空间耦合特征. *应用生态学报*, 25(6): 1715-1724 [DOI: 10.13287/j.1001-9332.20140409.015])
- Li S H, Chen Q X, Xu Z H, Yu H, Zhu J H, Liu Z C, and Wang L. 2023. Spatiotemporal evolution and coupling coordination of socio-economic level and ecological resilience in Fuzhou metropolitan area. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 43(6): 311-323

- (李诗涵, 陈秋霞, 许章华, 俞辉, 朱嘉豪, 刘智才, 王琳. 2023. 福州都市圈社会经济水平与生态环境韧性的时空演化及耦合协调性. 水土保持通报, 43(6): 311-323 [DOI: 10.13961/j.cnki.st-bctb.2023.06.037])
- United Nations Development Programme, China International Poverty Reduction Center, and Overseas Agricultural Research Center of Chinese Academy of Agricultural Sciences. 2018. International poverty reduction concepts and enlightenment. Beijing: Unity Publishing House: 15. (联合国开发计划署, 中国国际扶贫中心, 中国农业科学院海外农业研究中心. 2018. 国际减贫理念与启示. 北京: 团结出版社: 15)
- Liao C B. 1999. Quantitative Judgement and Classification System for Coordinated Development of Environment and Economy: A Case Study of the City Group in the Pearl River Delta. Tropical Geography, (2): 76-82 (廖重斌. 1999. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例. 热带地理(2): 76-82 [DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.000443])
- Liu H D, Yuan L S, and Zhong Z M. 2023. Difference analysis and effectiveness lifting on multidimensional financial poverty alleviation of rural China. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 44(8): 266-273 (刘海东, 袁连升, 钟喆鸣. 2023. 中国农村金融多维扶贫效率差异性分析及成效提升建议. 中国农机化学报, 44(8): 266-273 [DOI: 10.13733/j.jcam. issn. 2095-5553.2023.08.036])
- Liu H Z, Guo H Y, Ma Z F, Xu H, Bao H J, and Xu C P. 2019. Temporal-Spatial Characteristics and Variability in Aerosol Optical Depth over China During 2001-2017. Environmental Science, 40(9): 3886-3897 (刘海知, 郭海燕, 马振峰, 徐辉, 包红军, 徐成鹏. 2019. 2001~2017年全国气溶胶光学厚度时空分布及变化趋势. 环境科学, 40(9): 3886-3897 [DOI: 10.13227/j. hjkx. 201901144])
- Liu X L, Chen L L, Yu J Y, Gong R, Chen Y G, and Zhao Y. 2024. Associations of meteorological factors and ambient air pollutants with mumps incidence in Ningxia Hui Autonomous Region: boosted regression tree model analysis. Chinese Journal of Public Health, 40(10): 1183-1188 (刘祥龙, 陈琳琳, 余佳玉, 龚瑞, 陈耀庚, 赵瑜. 2024. 基于增强回归树模型评估宁夏回族自治区气象因素和大气污染物对流行性腮腺炎发病影响. 中国公共卫生, 40(10): 1183-1188 [DOI: 10.11847/zgggws1143459])
- Liu Y, Wang Q N, and Liao Y Q. 2023. Dynamic evolution and multi-scenario simulation of ecosystem and socio-economic system coupling coordination in Chengdu Metropolitan Area and its policy implications. Journal of Natural Resources, 38(10): 2599-2618 (刘轶, 王倩娜, 廖奕晴. 2023. 成都都市圈生态与社会经济系统耦合协调动态演化、多情景模拟及其政策启示. 自然资源学报, 38(10): 2599-2618 [DOI: 10.31497/zrzyxb.20231012])
- Lu Y R, Wu W J, Zhao Y M, Kaidiriye Aili, and Liu S S. 2023. Research on the measurement and driving factors of integrated development level of primary, secondary and tertiary industries in Qira County of Xinjiang under the background of rural revitalization. Hubei Agricultural Sciences, 62(12): 236-242 (卢永荣, 吴文婕, 赵艳梅, 凯迪日耶·艾力, 刘珊珊. 2023. 乡村振兴背景下新疆策勒县一二三产融合发展水平测度与驱动因素研究. 湖北农业科学, 62(12): 236-242 [DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2023.12.041])
- Ma W J, and Wu M Z. 2024. From comprehensive poverty eradication to rural revitalization: The impact of national poverty county policies on local economic development. China Soft Science, (S1): 1-15 (马雯嘉, 吴茂祯. 2024. 从全面脱贫到乡村振兴: 国家级贫困县政策对当地经济发展的影响. 中国软科学(S1): 1-15)
- Qu Y, and Ma C. 2016. The theoretical connotation and implementation path of the cultural Precise Poverty Alleviation. Library Journal, 35(9): 4-8 (曲蕴, 马春. 2016. 文化精准扶贫的理论内涵及其实现路径. 图书馆杂志, 35(9): 4-8 [DOI: 10.13663/j.cnki.lj. 2016.09.001])
- Tian Q J, and Min X J. 1998. Advances in Study on Vegetation Indices. Advance in Earth Sciences, 13(4): 327-333 (田庆久, 闵祥军. 1998. 植被指数研究进展. 地球科学进展, 13(4): 327-333 [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.1998.04.002])
- Tu X S, Sun X Y, and Zhang D C. 2024. Measurement of Livelihood Resilience and Driving Factors among Farmers Relocated for Poverty Alleviation: Based on the Survey of 303 Immigrant Families in Luoxiao Mountains Contiguity Area. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning: 1-13 (涂小松, 孙鑫源, 张鼎臣. 2024. 易地搬迁农户生计恢复力测度及驱动因素研究——基于罗霄山片区303户移民家庭的调查. 中国农业资源与区划: 1-15)
- Wang S G, Guo J B, and Li M S. 2023. The effect of industrial poverty alleviation cooperative on farmers' total factor productivity of agriculture - A quasi - experimental study of industrial poverty alleviation pilot project in the Wumeng Mountain and Liupan Mountain area. Journal of Guizhou University of Finance and Economics, 2023(6): 100-109 (汪三贵, 郭建兵, 李梦思. 2023. 产业扶贫合作社对农户农业全要素生产率的影响——基于乌蒙山和六盘山片区产业扶贫试点项目的准实验研究. 贵州财经大学学报, 2023(6): 100-109)
- Wang Z, Liu J H, Li T S, Ruan Z, and Wu F Q. 2019. Analysis of the coupling relationship between ecological vulnerability and economic poverty in Qinling-Dabashan contiguous poor areas: a case study of Shanyang County in Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 39(11): 3908-3917 (王昭, 刘建红, 李同昇, 阮征, 武凤奇. 2019. 秦巴特困区生态脆弱性与经济贫困的耦合关系——以陕西省山阳县为例. 生态学报, 39(11): 3908-3917 [DOI: 10.5846/stxb201807021449])
- Wang Z B, Fang C X, Xu G, and Pan Y P. 2015. Spatial-temporal characteristics of the PM<sub>2.5</sub> in China in 2014. Acta Geographica Sinica, 70(11): 1720-1734 (王振波, 方创琳, 许光, 潘月鹏. 2015. 2014年中国城市PM<sub>2.5</sub>浓度的时空变化规律. 地理学报, 70(11): 1720-1734 [DOI: 10.11821/dlxb201511003])
- Xiang X M, Cui Z Z, Zhang H, Liu P, and Ma C. 2022. Analysis of laws of NO<sub>2</sub> emission and driving factors of China's key cities. Environmental Science & Technology, 45(7): 30-45 (项晓铭, 崔珍珍, 张浩, 刘培, 马超. 2022. 中国重点城市NO<sub>2</sub>排放规律与驱动分析. 环境科学与技术, 45(7): 30-45 [DOI: 10.19672/j.cnki.



- 1003-6504.0028.22.338])
- Xue J, Bai L, Wu C H, Man H C, Sun Q H, and Xie M H. 2022. Study on the coupling coordination relationship between economic development and ecological environment protection in Gansu Province. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 12(4): 1280-1287 (薛婧, 白璐, 武琛昊, 满贺诚, 孙启宏, 谢明辉. 2022. 甘肃省经济发展与生态环境保护耦合协调关系研究. *环境工程技术学报*, 12(4): 1280-1287 [DOI: 10.12153/j.issn.1674-991X.20210303])
- Zhang Y H, and Xue H. 2020. The mechanism of action, practical dilemmas, and policy options of ecological compensation for poverty alleviation. *Jiangxi Social Sciences*, 40(10): 78-87 (张宜红, 薛华. 2020. 生态补偿扶贫的作用机理、现实困境与政策选择. *江西社会科学*, 40(10): 78-87)
- Zhou K, and Wang C S. 2016. Spatial-temporal Pattern of Poverty-stricken Areas and its Differential Policies for Poverty Alleviation in China. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 31(1): 101-111 (周侃, 王传胜. 2016. 中国贫困地区时空格局与差别化脱贫政策研究. *中国科学院院刊*, 31(1): 101-111 [DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.01.011])
- Zhou Y, Guo Y Z, and Liu Y S. 2018. Comprehensive measurement of county poverty and anti-poverty targeting after 2020 in China. *Acta Geographica Sinica*, 73(8): 1478-1493 (周扬, 郭远智, 刘彦随. 2018. 中国县域贫困综合测度及2020年后减贫瞄准. *地理学报*, 73(8): 1478-1493 [DOI: 10.11821/dlxb201808007])

## Spatiotemporal characteristics and influencing factors of ecological and socioeconomic coupling coordination in China's poverty-alleviated counties

ZHAO Jiawen<sup>1</sup>, ZHOU Chan<sup>1</sup>, XU Caixia<sup>1</sup>, ZHANG Yuxiang<sup>1</sup>, SUN Liquan<sup>1,2</sup>

1. Institute of Technology for Carbon Neutrality, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China;

2. Shenzhen Key Laboratory of Carbon Neutral Energy Materials, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

**Abstract:** Objective Quantitative analysis of the coupling coordination relationship between the ecological environment and socioeconomic development in China's poverty-alleviated counties, along with the identification of influencing factors, is of great significance for summarizing poverty alleviation experiences and consolidating the achievements of poverty eradication efforts. Method Based on long-term and high-resolution remote sensing datasets, this study constructed a comprehensive evaluation index system for both the ecological environment and socioeconomic development across 832 poverty-alleviated counties in China. It quantitatively assessed the development levels and coupling coordination status of these two dimensions in 2010, 2015, and 2020. Furthermore, a Boosted Regression Tree model was employed to identify the contribution rates of various indicators to the regional coupling coordination development. Result The results indicated that, overall, the ecological environment in poverty-alleviated counties exhibited a higher level of comprehensive development compared with socioeconomic factors. However, the socioeconomic development progressed at a faster pace than ecological improvements. In addition, the average annual growth rates of both dimensions from 2015 to 2020 were higher than those from 2010 to 2015. Spatially, the coupling coordination degree was the highest in northeastern counties and the lowest in the northwest, showing a distribution pattern of "high in the east and low in the west" and a trend of progressive improvement from coastal to inland areas. Most counties were categorized as "economically lagging". Among all indicators, population size, gross domestic product, and nighttime light intensity made particularly significant contributions to the coupling coordination. Conclusion Drawing from the poverty alleviation paths and practical experiences of typical regions, the study concludes that implementing context-specific industrial poverty alleviation strategies is crucial for accelerating socioeconomic development in poverty-alleviated counties. Establishing diversified, locally distinctive industries is identified as a key approach for consolidating poverty alleviation achievements and preventing a return to poverty.

**Key words:** poverty-alleviated counties, ecological environment, socioeconomic development, remote sensing dataset, coupling coordination, boosted regression tree model, contribution rate, spatial distribution pattern, industrial poverty alleviation

**Supported by** Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 42201322, 42371309); Shenzhen Sustainable Development Science and Technology Special Project (No. KCXST20221021111209021, KCXFZ20230731093500001).