“一带一路”沿线国家可持续发展综合评估及分区管控

方恺^{1,2}, 许安琪¹, 何坚坚¹, 方创琳^{3*}, 刘庆燕¹

1. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058;

2. 浙江大学民生保障与公共治理研究中心, 杭州 310058;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

* 联系人, E-mail: fangcl@igsrr.ac.cn

2020-04-23 收稿, 2020-11-12 修回, 2020-11-16 接受, 2020-12-11 网络版发表

中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA20040400)、国家自然科学基金(72074193)和浙江省哲学社会科学规划课题(19ZJQN02YB)资助

摘要 联合国《2030年可持续发展议程》为全球实现社会-经济-环境协调发展提供了行动方案. 通过构建多区域投入产出模型, 测算了“一带一路”沿线65个国家的环境足迹, 并与基于行星边界分配的承载端相结合, 评估了各国在水资源利用、土地利用、碳排放、氮排放和磷排放方面的环境可持续性. 进一步测度了各国的可持续发展目标(sustainable development goals, SDGs)实现进程, 运用空间计量模型揭示了环境可持续性与社会经济SDGs之间的权衡与协同关系, 在此基础上对“一带一路”地区的可持续发展分区管控策略进行了探讨. 结果表明: 多数国家的土地、碳、氮、磷足迹均已超过其对应环境边界, “一带一路”地区的环境可持续性呈现显著的空间自相关性; 减贫、健康等涉及人类基本生存问题的SDGs实现程度较高, 而经济增长、可持续生产和消费等SDGs则亟待突破; 与环境可持续性呈现协同关系的SDGs应作为社会经济发展的优先目标, 而呈权衡关系的SDGs则要防范其实现过程中可能产生的生态环境风险; 根据各国的环境可持续性和SDGs实现情况, 识别了绿色先行、重点开发、绿色转型和风险防控四类可持续发展分区类型.

关键词 “一带一路”, 可持续发展目标, 环境足迹, 行星边界, 环境可持续性, 多区域投入产出

20世纪下半叶以来, 人口持续膨胀和经济高速增长导致全球范围内自然资源消耗加快、生态环境问题凸显, 国际社会由此开始反思并探寻社会、经济与环境间的协调发展之路^[1,2]. 可持续发展理念最早可追溯到1972年通过的《联合国人类环境会议宣言》, 后经《21世纪议程》《联合国千年宣言》《我们希望的未来》等联合国决议文件不断发展完善. 在2015年9月召开的联合国可持续发展峰会上, 包括中国在内的近200个国家共同签署了《2030年可持续发展议程》, 正式提出了17项可持续发展目标(sustainable development goals, SDGs)和169项目标, 系统规划了未来15年人类社会的发展蓝图, 为世界各国发展和国际合作指明

了方向^[3].

与千年发展目标重点关注消除贫困、改善教育、保护儿童妇女权利等人类基本生存问题不同, SDGs更加强调实现可持续发展社会、经济和环境三重维度间的协调发展^[4], 在目标设置上更具有系统性与广泛性, 环境目标的重要性得到了显著提升. 事实上, 随着人们对可持续发展内涵的理解不断深化, 追求自然资本约束边界内的社会经济繁荣逐渐成为共识^[5]. 当前, 人类对自然资本的占用已远超地球生态系统的承载能力^[6], 部分关键行星边界长期处于超载状态^[7,8], 进而引发了全球变暖、环境污染、生物多样性丧失等一系列问题, 严重威胁地球系统的安全与稳定, 并日益成为限制人

引用格式: 方恺, 许安琪, 何坚坚, 等. “一带一路”沿线国家可持续发展综合评估及分区管控. 科学通报, 2021, 66: 2441–2454

Fang K, Xu A Q, He J J, et al. Integrated assessment and division management of sustainable development in the Belt and Road countries (in Chinese). Chin Sci Bull, 2021, 66: 2441–2454, doi: 10.1360/TB-2020-0447

类福祉的主要因素. 为此, Fang等人^[9]提出了基于足迹-边界指标整合的环境可持续性评估(E-F ESA)框架, 通过将环境足迹与降尺度的行星边界进行比较, 定量判断某项人类活动或某个区域的环境可持续性. E-F ESA框架得到了广泛应用与验证^[10-13], 但其不足之处在于未能将社会和经济维度纳入其中^[14], 无法深入揭示社会经济发展与生态环境保护之间的辩证关系, 在追求环境足迹降低的过程中存在忽视人类福祉, 特别是发展中国家发展权益的风险.

作为一份旨在促进全体人类福祉的行动清单和发展契约^[15], SDGs涵盖了消除贫困、消除饥饿、良好健康与福祉、优质教育、性别平等、清洁饮水与卫生设施、清洁能源、充分就业和经济增长、工业创新和基础设施等17项目标, 为同时从社会、经济和环境维度评估各国的可持续发展状况提供了契机^[16]. 国际学者借助网络分析^[17]、综合指标法^[18,19]、相关分析^[20]、可持续福祉指数^[4]、解释性结构模型^[21]等方法手段对SDGs各目标或指标之间的复杂关系进行了探讨, 取得了不少有益的成果, 但也存在一些共性问题: (1) 对社会经济与生态环境系统间相互作用多采用“一对一”或“一对多”的分析形式, 鲜有文献将各维度、各目标纳入统一框架进行系统分析; (2) 呈现出“逐项割裂独立完成”和“盲目追求同时实现”这两类极端化趋势, 缺乏必要的权衡策略. 鉴于此, 本研究以“一带一路”沿线65国为研究区, 将SDGs融入E-F ESA框架(图1). 在社会经济系统和资源环境系统综合评估的基础上, 借助一系列计量分析方法, 深入探寻各国的水、土地、碳、氮和磷五类环境可持续性与社会经济SDGs之间的权衡与协同关系, 确定SDGs的优先发展目标, 并在此基础上提出“一带一路”可持续发展分区管控的政策建议, 以期为推进绿色“一带一路”建设、促进沿线国家可持续发展提供科学依据.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

“一带一路”主体贯穿亚非欧大陆, 涵盖包括东亚、东南亚、南亚、中亚、西亚、欧洲和北非在内的65个国家或地区(图S1). 2019年, “一带一路”沿线国家总人口为47.5亿人, 经济总量为29.4亿美元, 分别约占全球的62.0%和33.5%. “一带一路”倡议自2013年提出以来, 在诸多领域取得了丰硕成果, 成为当今最受欢

图1 (网络版彩色)可持续发展目标(SDGs)与环境可持续性交互耦合框架

Figure 1 (Color online) A framework for the coupling of the SDGs and environmental sustainability

迎、最有前途的国际公共物品, 为完善全球治理体系和实现SDGs提供了新方案^[22-24]. 值得注意的是, 沿线国家的社会经济发展水平、自然资源禀赋和生态环境状况存在巨大差异^[25], 在“一带一路”倡议推进过程中不同程度面临气候变化、环境污染、资源短缺等生态环境挑战^[26], 而这些挑战又将深刻影响与人类社会可持续发展息息相关的能源、健康、粮食等问题, 进而威胁到区域SDGs的实现.

1.2 环境足迹核算

“足迹”一词最早源于生态足迹, 其核心思想在于将某一区域的资源消耗和碳排放换算成所需占用的生物生产性土地面积, 据此来量化人类活动给环境造成的压力^[27]. 此后, 水足迹、土地足迹、碳足迹等指标相继出现, 标志着环境足迹研究开始向综合化、系统化的方向发展, 也为科学评估人类活动的环境压力和影响提供了规范化的途径^[28,29]. 与此同时, 随着全球一体化进程的加速和国际产业分工的深化, 日益紧密的跨国经贸联系所导致的资源和排放转移成为加剧全球环境危机的重要因素^[30,31]. 基于消费者视角的多区域投入产出(multi-regional input-output, MRIO)分析能够更为准确地界定复杂产业链中各主体的环境责任, 为追踪和测度跨国贸易中的隐含排放和虚拟资源流动提供了可能^[32]. 本研究基于Eora投入产出数据库, 构建嵌套了65国的全球MRIO模型, 综合考虑数据可得性、影响

典型性及其与行星边界类型的一致性,选取水足迹、土地足迹、碳足迹、氮足迹和磷足迹五类环境足迹作为压力端评估指标,通过构造直接资源环境强度对角矩阵、直接消耗系数矩阵、Leontief逆矩阵和最终需求系数矩阵,得到各国完全资源环境消费矩阵,进而计算各类环境足迹。根据MRIO模型,国家(地区)间的投入-产出关系可以表示为

$$X = AX + Y, \quad (1)$$

其中, X 为总产出矩阵; A 为直接消耗系数矩阵; Y 为最终需求矩阵。

对式(1)整理可得

$$X = (I - A)^{-1}Y, \quad (2)$$

其中, $(I - A)^{-1}$ 即为MRIO模型中的列昂惕夫逆矩阵,也称完全需求系数矩阵。为了将各国和部门间的经贸关系转换为资源环境要素的实物关系,引入强度系数矩阵 E , 表征各国各部门单位产出的资源消耗或环境排放。根据本研究选取的资源环境要素,矩阵 E 分为用水强度、用地强度、碳排放强度、氮排放强度和磷排放强度。据此,消费端的环境足迹 EF 计算公式如下:

$$EF = E(I - A)^{-1}Y. \quad (3)$$

1.3 环境边界设定

行星边界从全球尺度明确了水资源消费、土地利用、碳排放、氮排放和磷排放等人类活动的最大安全阈值,成为近年来承载力量化领域最具代表性的国际成果^[7,8]。由于环境决策的制定与调控多发生在区域尺度,因而本地化是近年来行星边界研究领域的热点议题,各国学者为此进行了大量探索^[2]。总的来看,将行星边界拓展至区域尺度时大致遵循两种思路,一种是自下而上对局地资源禀赋和环境容量进行升尺度转换,其本质依然属于封闭系统假设下的资源环境承载力评估;另一种则从全球配额的视角出发,自上而下进行降尺度分配。这也是行星边界有别于承载力传统评价范式的特色之处,故本研究采用后一种思路,即通过测算水、土地、碳、氮和磷边界的全球人均份额对各国的五类环境边界进行设定(表1)。

1.4 环境可持续性赤字指数测度

基于MRIO模型核算的环境足迹与基于行星边界分配的环境边界具有视角一致性。将两者进行比较,得

表1 不同人类活动的环境边界设定^{a)}

Table 1 Environmental boundaries setting for different human activities

行星边界	参数	全球阈值	人均阈值
水边界	淡水消费量(km ³ /a)	4000	574 m ³
土地边界	生物承载力(10 ⁹ ha/a)	3.5	0.48 ha
碳边界	大气CO ₂ 浓度(ppm)	350	2.5 t
氮边界	辐射强迫值(W/m ²)	1	
磷边界	人工固氮量(10 ⁶ t/a)	62	8.9 kg
	海水磷输入量(10 ⁶ t/a)	6.2	0.89 kg

a) 水边界、氮边界和磷边界根据Steffen等人^[8]设定的全球阈值,除以70亿世界总人口得到人均阈值^[12];土地边界根据全球生物生产性土地承载力计算确定,并同样通过人均原则对其进行分配^[10];碳边界则基于Rockström等人^[7]设定的350 ppm(parts per million)大气CO₂浓度阈值和1 W/m²辐射强迫值,这相当于人类在未来几十年中的年均温室气体排放量不应超过17×10⁹~23×10⁹ t,考虑到全球人口可能会从目前的70亿增长到2050年的近100亿,将各国人均碳边界值设定为2.5 t^[10]

出各国不同环境足迹的超载程度,可以实现对环境可持续性的定量判断:

$$ESDI_i = EF_i / EB_i, \quad (4)$$

其中, EF_i 为 i 项人类活动的环境足迹; EB_i 为该环境足迹相对应的环境边界; $ESDI_i$ 为环境可持续性赤字指数。当 $ESDI_i > 1$ 时,表明该项人类活动处于环境不可持续状态;反之则处于环境可持续状态。

1.5 SDGs指标筛选

SDGs共包括17项目标、169项子目标和232项指标。多数指标在“一带一路”沿线国家缺乏相应数据,因而需要进行筛选。为尽可能降低主观因素的干扰,本研究基于可持续发展解决方案网络(sustainable development solutions network, SDSN)提供的全球各国指标板^[33],采用主成分分析法对全部指标进行降维处理。为避免与环境可持续性部分重复计算,剔除了SDGs中与生态环境高度相关的目标13~15(涉及气候变化、海洋生态系统与陆地生态系统)。对其余14项目标内部的指标子集分别进行主成分分析,提取出特征值大于1的主成分,并将对应的指标和提取出的主成分进行线性回归分析,利用方差贡献率来衡量该指标对各主成分的解释度,以评价其对该指标子集的解释度。若解释度低于70%,则从指标子集中选取其他指标,再进行回归计算;以此类推,直至获得解释度超过70%的最小指标集,最终达到对指标进行筛选、识别、优化的目的^[34]。

SDGs的目标值或临界值同样基于SDSN指标板所给范围来确定^[33]. 通过社会经济现状值和目标值的比较, 可以客观评估沿线各国SDGs的实现进程.

1.6 环境可持续性空间自相关分析

水、土地、碳、氮和磷可持续性赤字指数在空间上存在自相关关系是进行空间计量分析的前提. 为定量测度五类环境可持续性赤字指数的空间依赖程度, 本研究采用经典的全局空间自相关指数Moran's I ^[35], 计算公式为

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

其中, I 为Moran's I 指数; n 为不同区域; W_{ij} 为空间权重矩阵; x 为水、土地、碳、氮和磷可持续性赤字指数, x_i 、 x_j 分别为各环境可持续性赤字指数在空间 i 、 j 位置的观测值. 其中, Moran's I 指数的取值范围为 $[-1, 1]$, 当Moran's I 大于0表示正相关, 且越接近1正相关性越强, 反之亦然.

由于全局空间相关性分析难以识别存在于不同地理位置的国家空间关联模式, 故进一步采用局部空间自相关分析来识别对全局空间自相关贡献大的国家^[36,37], 计算公式为

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

其中, I_i 为区域 i 的局部空间自相关指数. $I_i > 0$ 表示该国家与邻近国家的特征值相似, 即存在“高-高”或“低-低”型集聚; $I_i < 0$ 表示该国家与邻近国家的特征值不相似, 即存在“高-低”或“低-高”型集聚.

1.7 环境可持续性与SDGs的空间计量分析

当确定环境可持续性存在空间自相关关系后, 进一步采用空间计量模型揭示环境可持续性赤字指数与SDGs指标间的作用关系. 空间计量模型可以有效解决一般线性回归方法无法处理的空间依赖性问题, 对于截面数据而言, 常见的空间回归方法包括空间滞后模型(spatial lag model, SLM)和空间误差模型(spatial error model, SEM)等^[38,39]. 以SDGs为自变量, 水、土地、碳、氮和磷可持续性赤字指数为因变量, 当模型的误差在空间上相关时, 即为SEM, 计算公式为

$$Y = X\beta + \lambda Wu + \varepsilon, \quad (7)$$

其中, X 和 Y 分别为自变量(SDGs各指标)和因变量(水、土地、碳、氮和磷可持续性赤字指数); β 为回归系数; W 为空间权重矩阵; u 为随机误差向量; λ 为回归残差之间的空间相关性系数; ε 为随机误差项.

当因变量间的空间依赖性导致空间相关时, 即为SLM, 计算公式为

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon, \quad (8)$$

其中, WY 为内生交互效应, ρ 为其系数, 是空间溢出程度的一种表达.

本研究同时采用上述两种模型分别对五类环境可持续性赤字指数和SDGs指标进行关联分析, 并选用拟合结果较优的模型输出最终结果. 若回归系数为负, 表明SDGs指标的提升会导致ESDI的下降, 即社会经济发展与环境可持续性呈现协同关系; 反之, 若回归系数为正, 表明SDGs指标的提升会导致ESDI的上升, 即社会经济发展与环境可持续性呈现权衡关系.

1.8 数据来源

上述各类生态环境和经济社会数据来源如表2

表2 本研究数据来源

Table 2 Data sources for this work

数据类型	指标类型	数据来源
生态环境数据	环境足迹	Eora数据库
	水、氮、磷边界	O'Neill等人 ^[12] ; Rockström等人 ^[7] ; Steffen等人 ^[8]
	碳边界	方恺和段铮 ^[10]
	土地边界	联合国粮食及农业组织(FAO); 全球足迹网络(GFN)
社会经济数据	社会经济现状	Schmidt-Traub等人 ^[33] ; 世界银行(WB); 联合国开发计划署(UNDP)
	社会经济SDGs	Schmidt-Traub等人 ^[33] ; 可持续发展解决方案网络(SDSN)

所示。

2 结果与分析

2.1 “一带一路”地区环境足迹空间分异

“一带一路”地区的水、土地、碳、氮和磷足迹总量呈现显著的空间分异特征(图S2), 高值区均集中在中国、印度和俄罗斯, 三国的五类环境足迹分别占65国足迹总量的52%、60%、70%、58%和68%; 环境足迹总量的低值区位于东南亚、南亚和欧洲部分地区, 其中文莱、马尔代夫和白俄罗斯三国的五类足迹总量仅占65国足迹总量的0.03%、8.22%、0.04%、0.09%和0.15%。

人均水足迹高值区集中在东亚(蒙古)和中亚(土库曼斯坦、塔吉克斯坦等), 低值区集中在东南亚(印度尼西亚、缅甸等); 人均土地足迹高值区集中在欧洲(拉脱维亚、立陶宛等), 低值区集中在东南亚(印度尼西亚、菲律宾等); 人均碳足迹高值区集中在西亚(卡塔尔、阿联酋等), 低值区集中在南亚(巴基斯坦、印度等)和东南亚(老挝、缅甸等); 人均氮足迹与人均磷足迹空间分布格局相似, 高值区集中在东亚(蒙古)和欧洲(波兰、阿尔巴尼亚等), 低值区集中在东南亚(印度尼西亚、菲律宾等)。值得注意的是, 印度、中国和俄罗斯三国的人均环境足迹水平总体较低。

2.2 “一带一路”地区环境可持续性

通过比较人均环境足迹与人均环境边界, 发现当前“一带一路”地区的土地、碳、氮、磷可持续性赤字指数均大于1, 即环境足迹已大幅超过对应的边界阈值。土地、碳和氮可持续性赤字指数分别为1.63、2.66、2.67, 尤其是磷排放, 其可持续性赤字指数高达4.62, 严重威胁“一带一路”地区的环境可持续性, 并对经济发展和社会福祉产生负面影响。水可持续性赤字指数为0.33, 表明当前水资源利用仍有部分盈余空间, 但考虑到“一带一路”地区水资源分布严重不均和水足迹快速增长的现状^[25], 水资源短缺问题仍然值得关注。

65国环境可持续性的评估结果显示(图2), 土地利用、碳排放、氮排放和磷排放均处于严重超载状态, 分别有48%、35%、35%和12%的国家保持在边界阈值内。其中, 五类环境可持续性赤字指数均小于1的国家仅有8个, 分别为孟加拉国、白俄罗斯、埃及、摩尔多瓦、印度尼西亚、菲律宾、斯里兰卡和也门, 多数

为社会经济发展水平较低的国家; 而具有典型资源依赖型经济特征的蒙古, 成为唯一所有环境可持续性赤字指数均大于1的国家。总的来看, 土地利用、碳排放、氮排放和磷排放的环境可持续性均存在明显的南北分异特征, 赤字指数随纬度升高而递增; 而水资源利用的环境可持续性赤字指数则呈现南北低、中间高的空间格局。

此外, 通过对65国五类环境可持续性赤字指数进行全局空间自相关分析, 发现全局Moran's I 均大于0, 且除水可持续性赤字指数外其他四类环境可持续性赤字指数的 P 值都小于0.01, 呈显著空间正相关。由此可知, “一带一路”地区的土地、碳、氮和磷可持续性赤字指数均存在空间自相关关系, 且环境压力水平相似的地区呈现空间集聚状态。根据局部空间自相关分析结果(图3), 水可持续性赤字指数“低-低”集聚区位于南亚(印度、巴基斯坦)和东南亚(泰国、缅甸等); 土地可持续性赤字指数的“高-高”集聚区位于欧洲, “低-低”集聚区位于西亚(沙特阿拉伯、伊拉克等)、南亚(印度、巴基斯坦等)和东南亚(泰国、缅甸等); 碳可持续性赤字指数在东亚(中国)、南亚(印度、巴基斯坦等)和东南亚(泰国、缅甸等)呈现“低-低”集聚, 在西亚(沙特阿拉伯、阿曼等)呈现“高-高”集聚。氮和磷可持续性赤字指数较为相似, 除南亚未呈现出“低-低”集聚态势外, 其他集聚特征与土地可持续性赤字指数基本相同, 且均由于白俄罗斯较低的土地、氮和磷可持续性赤字指数与周围国家差异显著而形成了“低-高”集聚区。总体而言, 俄罗斯的环境可持续性赤字指数较高, 且带动周边国家和地区形成“高-高”集聚的辐射效应; 南亚和东南亚部分地区则成为主要的“低-低”集聚区。

2.3 “一带一路”地区SDGs实现程度

根据主成分分析, 共筛选出21项社会经济指标, 在此基础上比较其现状值与目标值, 可以较为全面地反映各国SDGs的实现进程。从“一带一路”地区总体情况来看(图4), 目前仅有3项指标, 新生儿死亡率、识字率、ATM(automated teller machine)密度已经实现了目标值, 其余18项指标则有待提升。其中, 超过50%的沿线国家在7项指标方面达标, 分别为贫困率、儿童营养不良率、预期寿命、新生儿死亡率、识字率、用电率和ATM密度; 其余指标的达标率均不足一半, 尤其是PM值年均浓度和医疗、教育和研发支出2项指标, 各仅有3个国家实现了目标值, 达标率不足5%, 成为SDGs实现

图 2 (网络版彩色)水(a)、土地(b)、碳(c)、氮(d)和磷(e)环境可持续性赤字指数的空间分布(2015年)

Figure 2 (Color online) Spatial distribution of environmental sustainability deficit index for water (a), land (b), carbon (c), nitrogen (d) and phosphorus (e) in 2015

进程中最大的短板。可见,“一带一路”地区在涉及人类基本生存问题的减贫、消除饥饿和健康等SDGs的实现程度较高,而与满足人类更高需要密切相关的经济

增长、工业创新、可持续生产和消费等SDGs离目标值则有较大差距,需要重点关注。

从各地区来看,所有地区SDGs的完成度均不足

图3 (网络版彩色)水(a)、土地(b)、碳(c)、氮(d)和磷(e)可持续性赤字指数的空间集聚特征(2015年)

Figure 3 (Color online) Spatial agglomeration of environmental sustainability deficit index for water (a), land (b), carbon (c), nitrogen (d) and phosphorus (e) in 2015

50%, 欧洲和东亚相对较好, 各有7项指标达标; 而南亚仅有2项指标达标, 同时却有13项指标低于最低标准值, 亟须采取措施予以加强。65国中有19个国家实现了一半以上的SDGs, 主要集中在欧洲(爱沙尼亚、斯洛文尼

亚等)、西亚(以色列、阿联酋等)和东南亚(新加坡、马来西亚等)。相比之下, SDGs实现率不足二成(4项指标及以下)的国家则多位于西亚(伊拉克、叙利亚等)和南亚(巴基斯坦、尼泊尔等)。总之, “一带一路”沿线国

图4 (网络版彩色)2015年“一带一路”地区社会经济SDGs实现状况

Figure 4 (Color online) Performance of socio-economic SDGs in the Belt and Road region in 2015

家的社会经济发展水平差异明显,多数SDGs尚未实现,具有较大的提升空间。

2.4 “一带一路”地区环境可持续性与SDGs关联分析

在生态环境压力测度和社会经济状况评价的基础上,借助计量模型对环境可持续性与SDGs间的权衡与协同关系进行分析,识别出对生态环境影响较大的关键SDGs。根据计算结果,由于SEM的拟合优度检验值均略高于SLM,因此在分析时采用SEM的回归结果。研究发现(表3),环境可持续性与社会经济SDGs之间存在密切联系。从被解释变量来看,五类环境可持续性赤字指数分别与2~7项指标存在显著关系,其中最多的为土地可持续性赤字指数,最少的为碳可持续性赤字指数,后者与SDGs仅存在显著权衡关系,而其他四类环境可持续性赤字指数与SDGs均同时存在权衡和协同关系。

具体而言,与环境可持续性联系最为紧密的是经济增长(SDG 8.1)、失业率(SDG 8.3)、减少不平等(SDG 10)和犯罪率(SDG 16.1)(图5)。其中,经济增长、降低失业率和犯罪率与土地、氮、磷可持续性均呈显著权衡关系,即该指标的发展会导致这三类环境足迹明显增加,因而需要重点防范可能引发的生态环境风险;减少不平等则与三类环境可持续性呈显著协同关系,即随着该指标的改善,会同时带来环境足迹的降

低,因而可作为优先发展的SDGs。此外,提升女性受教育比例(SDG 5.2)、减少城市固废(SDG 12.1)、加强财产权(SDG 16.2)和增加医疗、教育、研发支出(SDG 17)也分别与1~2类环境可持续性呈显著权衡关系,在其实现过程中需关注其生态环境影响。与之相反,减少贫困(SDG 1)、消除饥饿(SDG 2)、增加避孕需求(SDG 5.1)、完善卫生设施比例(SDG 6)、完善物流绩效指数(SDG 9)、降低PM值年平均浓度(SDG 11.1)和提高安全自来水比例(SDG 11.2)则分别与1~2类环境可持续性呈显著协同关系,表明发展该类指标有助于社会经济发展和生态环境保护实现“双赢”。

2.5 “一带一路”地区可持续发展分区分管

由于资源环境状况和社会经济水平的差异,使得“一带一路”地区各国的发展路径呈现出较强的差异性,加之环境可持续性赤字指数与SDGs之间存在复杂的相互作用关系,因此亟须从资源环境-社会经济耦合协调的综合视角进行可持续发展分区分管。根据“一带一路”沿线国家的环境可持续发展状态和SDGs实现情况,同时参考近年来我国学者在生态区划^[40]、环境功能区划^[41]、主体功能区划^[42]、人文地理综合区划^[43]中的分类体系,将65国划分为绿色先行区、重点开发区、绿色转型区和风险防控区四类(图6)。具体而言,(1)绿色先行区的环境可持续性较高、社会经济发展水平较高,

表3 “一带一路”地区环境可持续性赤字指数与社会经济SDGs空间计量分析^{a)}

Table 3 Spatial econometric analysis of environmental sustainability deficit index and socio-economic SDGs in the Belt and Road region

目标	指标	水		土地		碳		氮		磷	
		SLM	SEM	SLM	SEM	SLM	SEM	SLM	SEM	SLM	SEM
SDG 1	SDG 1	-0.048	-0.033	-0.276*	-0.186	-0.139	0.062	-0.321***	-0.414***	-0.308***	-0.415***
SDG 2	SDG 2	-0.169	-0.175*	0.291**	0.234	-0.029	-0.107	0.007	0.0899	-0.005	0.071
SDG 3	SDG 3.1	0.024	0.014	-0.099	-0.179	0.176	0.215	-0.087	-0.150	-0.021	-0.086
	SDG 3.2	0.068	0.069	0.098	0.096	-0.123	-0.034	-0.166	-0.267	-0.102	-0.191
SDG 4	SDG 4	0.297	0.299	-0.355	-0.236	-0.390*	-0.159	-0.218	-0.248	-0.142	-0.129
SDG 5	SDG 5.1	0.084	0.079	-0.332**	-0.275**	0.063	0.088	-0.095	-0.095	-0.111	-0.121
	SDG 5.2	0.033	0.044	0.298	0.231	0.364*	0.368**	0.006	-0.043	-0.048	-0.123
SDG 6	SDG 6	-0.227*	-0.240*	-0.147	-0.141	0.057	-0.137	-0.164	-0.142	-0.178	-0.153
SDG 7	SDG 7	0.075	0.089	-0.172	-0.116	-0.096	0.019	-0.025	-0.058	-0.030	-0.076
SDG 8	SDG 8.1	0.145	0.152	0.324*	0.344**	-0.168	-0.115	0.393***	0.487***	0.389***	0.456***
	SDG 8.2	0.008	-0.012	0.236	0.232	0.119	0.121	-0.049	0.029	-0.026	0.057
	SDG 8.3	0.168	0.164	0.531***	0.550***	0.017	0.011	0.411***	0.482***	0.409***	0.494***
SDG 9	SDG 9	-0.299**	-0.288**	0.014	0.040	0.133	0.153	0.005	-0.005	-0.025	-0.032
SDG 10	SDG 10	-0.026	-0.025	-0.466***	-0.504***	-0.156	-0.126	-0.212	-0.256**	-0.203*	-0.251**
SDG 11	SDG 11.1	-0.282	-0.267**	0.205	0.209	-0.033	0.053	-0.175	-0.202	-0.209*	-0.273**
	SDG 11.2	-0.003	-0.011	-0.158*	-0.171*	0.161**	0.084	-0.037	0.001	-0.021	0.029
SDG 12	SDG 12.1	0.124	0.124	0.324**	0.376***	0.081	0.148	0.046	0.002	0.058	0.041
	SDG 12.2	0.089	0.085	-0.171	-0.146	0.002	0.115	0.058	0.092	0.078	0.120
SDG 16	SDG 16.1	0.077	0.081	0.324**	0.367***	0.069	0.057	0.213**	0.196*	0.229**	0.224**
	SDG 16.2	0.245**	0.237**	0.232*	0.245	0.305***	0.226*	0.068	-3.639	0.123	0.075
SDG 17	SDG 17	0.182*	0.179*	-0.121	-0.114	-0.077	-0.147	0.091	0.097	0.069	0.093
Log-likelihood		55.591	55.607	35.263	34.056	48.936	50.635	48.071	48.926	53.382	54.964
R ²		0.401	0.403	0.613	0.602	0.723	0.761	0.525	0.557	0.539	0.590

a) ***, **和*分别表示通过1%、5%和10%的显著性水平检验。回归系数为负表示SDGs社会经济发展与可持续性呈协同关系, 为正则表示两者呈权衡关系

目前仅有阿曼、白俄罗斯、卡塔尔和马来西亚4个国家, 未来需要继续稳步发展, 并重点关注已经超载的个别环境足迹和尚未实现的少量SDGs; (2) 重点开发区则为环境可持续性较高、但社会经济发展水平较低的国家, 主要集中在东南亚(泰国、越南等)和南亚(印度、斯里兰卡等)共18个国家, 尚需加快经济集聚和发展步伐, 并密切防范对环境可持续性可能造成的损害; (3) 绿色转型区是涵盖国家最多的分区类型, 共有22个国家位于该类型, 突出表现为社会经济发展水平较高、但环境可持续性较低的国家, 集中在欧洲(希腊、捷克等)、东亚(中国)和西亚(科威特、阿联酋等)等地区, 这些国家亟须转变固有的资源依赖型发展模式, 尽早实现提质增效的绿色发展新模式; (4) 风险防控区则为环境可持续性严重赤字且社会经济发展水平较低, 共包

括21个国家, 未来既需要大力发展经济、改善民生, 又需要严格防范可能出现的生态环境风险, 切实避免“先污染、后治理”的落后发展方式。

需要指出的是, 环境可持续性反映的是各国基于消费者负责原则的资源环境要素占用(足迹)与基于人均相等原则得到的资源环境要素占用配额(边界)之间的相对关系, 其本质属于对国家或区域环境责任的刻画, 因而并不简单等同于生态环境质量。例如, 发达国家的环境不可持续性很大程度上源自其高额的人均碳足迹赤字, 而这部分赤字主要与全球变暖有关, 与本国的生态环境质量关系不大^[10]。即便是某些发达国家具有高额的氮、磷污染足迹赤字, 在现实情况中也常常通过国际贸易转嫁给发展中国家, 并未对本国的生态环境产生太多负面影响。但从消费者负责的角度来看,

图 5 “一带一路”地区环境可持续性与社会经济SDGs的权衡与协同关系. 蓝色线条表示两者呈协同关系, 红色线条表示两者呈权衡关系, 线条越粗表示两者间关系越紧密

Figure 5 Trade-offs and synergies between environmental sustainability deficit index and socio-economic SDGs in the Belt and Road region. The blue line indicates the synergies; the red line indicates the trade-offs. The thicker is the line, the closer is the relationship between the two

后者环境污染的责任应由前者承担, 这也解释了为何一些处于绿色转型区和风险防控区、环境不可持续性很高的国家(新加坡、马尔代夫等)反而具有相对较优的生态环境质量。

3 结论与建议

本研究通过MRIO模型, 对“一带一路”沿线65个国家2015年的水足迹、土地足迹、碳足迹、氮足迹和磷足迹进行了测算; 基于“行星边界”框架确定了对应的人均环境边界, 结合压力端与承载端综合测度各国环境可持续性, 并运用空间自相关分析探讨其分异格局; 基于主成分分析法筛选出一系列SDGs指标, 用于衡量沿线国家的社会经济发展水平; 在此基础上, 运用空间计量模型揭示了环境可持续性与社会经济SDGs间的权衡与协同关系, 并对“一带一路”地区的可持续发展分区管控策略进行了初步探讨。主要结论包括: (1) “一带一路”地区的环境可持续性呈现显著的空间自相关性, 多数国家的土地、碳、氮、磷足迹均已超过其对应环境边界; (2) 当前“一带一路”地区涉及人类基本生存问题的减贫、健康等SDGs实现程度较高, 而经济增长、可持续生产和消费等与人类发展更高层次需求密切相关的SDGs实现情况则不甚理想, 亟待加强; (3) 环境可持续性与SDGs间同时存在显著的权衡与协同关

系, 对于呈现权衡关系的SDG 8(体面工作和经济增长)、SDG 12(负责任的消费和生产)、SDG 16(和平、正义与强大机构)和SDG 17(促进目标实现伙伴关系)需重点关注其实现过程中可能引发的生态环境风险; 而对于呈现协同关系的SDG 1(消除贫困)、SDG 2(消除饥饿)、SDG 6(清洁饮水与卫生设施)、SDG 9(工业、创新和基础设施)、SDG 10(减少不平等)和SDG 11(可持续城市和社区), 则应考虑作为优先发展目标率先实现; 此外, SDG 5(性别平等)内部的指标与环境可持续性赤字指数之间均存在不同方向的关系, 表明在推进此目标时, 应考虑其指标间的相互影响, 尽可能发挥协同效应、降低权衡效应; (4) 根据各国环境可持续发展状态与SDGs的实现情况, 将“一带一路”地区初步划分为绿色先行、重点开发、绿色转型和风险防控四类, 并对各类分区的可持续发展调控策略进行了研判。

随着“一带一路”倡议的推进和区域贸易往来的增加, 资源和排放跨境转移成为各国在环境责任分摊时必须考虑的重要因素^[44]。现有环境SDGs只考虑了有限的国际溢出效应, 而未对生产和消费活动中大量的虚拟资源占用和隐含环境排放进行分析, 从而削弱了评估结果的科学性和可靠性。本研究通过深入论证各类环境可持续性赤字指数与SDGs之间复杂的交互关系, 为识别社会经济优先发展目标提供了重要信息。在此

图6 (网络版彩色)可持续发展分区分管方案. 风险防范区: 位于环境边界内的环境足迹 <3 , 且实现目标值的指标 <11 ; 绿色转型区: 位于环境边界内的环境足迹 <3 , 且实现目标值的指标 ≥ 11 ; 重点开发区: 位于环境边界内的环境足迹 ≥ 3 , 且实现目标值的指标 <11 ; 绿色先行区: 位于环境边界内的环境足迹 ≥ 3 , 且实现目标值的指标 ≥ 11

Figure 6 (Color online) Division management plan for sustainable development. Risk prevention zone: The number of environmental footprints located within the environmental boundaries is less than 3, and the number of indicators that have achieved the targets is less than 11. Green transformation zone: The number of environmental footprints located within the environmental boundaries is less than 3, and the number of indicators that have achieved the targets is greater than or equal to 11. Key development zones: The number of environmental footprints located within the environmental boundaries is greater than or equal to 3, and the number of indicators that have achieved the targets is less than 11. Green pilot zone: The number of environmental footprints located within the environmental boundaries is greater than or equal to 3, and the number of indicators that have achieved the targets is greater than or equal to 11

基础上,从消费者负责的原则出发,本研究认为发达国家在拥有社会经济发展优势的同时,应当通过区域合作、技术援助等措施,在改善区域和全球生态环境方面承担更多责任^[45].与此同时,发展中国家也应切实转变资源依赖型的增长方式,严格防范SDGs实现过程中环境足迹出现骤升,同时尽可能避免区域贸易对本国环境可持续性的不利影响.

值得注意的是,社会经济的发展会导致生态环境系统发生明显的正负向变化,只有深入理解两者潜在的交互关系,才能避免SDGs实施过程中的无序混乱和效率低下^[46].本研究在社会经济状况评价和环境可持续性测度的基础上,不仅识别了“一带一路”地区环境可持续性变化背后的经济社会影响因素,而且进一步

从资源环境约束的角度入手,确定了SDGs的优先发展策略,从而避免了环境保护一味让位于经济社会发展,或者片面追求环境足迹降低而忽视人类福祉的两极化倾向.进一步地,通过确立分区分管方案旨在建设生产发展、生活富裕、生态良好的文明社会,在遵循自然规律的同时实现人类福祉的提升^[47].未来有必要拓展资源环境与社会经济指标,形成更长时间面板数据,着重监测分析“一带一路”倡议提出前后的动态变化特征,并借助情景分析手段预测预警可能出现的生态环境风险.总之,各国应转变当前生产和生活方式,建设资源节约型和环境友好型社会^[48],从区域和国家两个层面推进“一带一路”地区生态环境治理一体化进程^[49],为打造绿色“一带一路”高质量发展提供制度保障.

致谢 文中涉及的地图经自然资源部地图技术审查中心审查,审图号为GS(2020)6033号.

参考文献

- 1 Peng S Z, Sun X Z. Post-2015 global governance for sustainable development and China's strategy (in Chinese). *China Popul Resour Environ*, 2015, 25: 1–5 [彭斯震, 孙新章. 后2015时期的全球可持续发展治理与中国参与战略. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25: 1–5]
- 2 Chen X P, Fang K, Peng J, et al. New insights into assessing the carrying capacity of resources and the environment: The origin, development and prospects of the planetary boundaries framework (in Chinese). *J Nat Resour*, 2020, 35: 513–531 [陈先鹏, 方恺, 彭建, 等. 资源环境承载力评估新视角: 行星边界框架的源起、发展与展望. *自然资源学报*, 2020, 35: 513–531]
- 3 Xue L, Weng L F. The policy opportunities and challenges in China's implementation of 2030 Sustainable Development Goals (in Chinese). *China Soft Sci*, 2017, 1: 1–12 [薛澜, 翁凌飞. 中国实现联合国2030年可持续发展目标的政策机遇和挑战. *中国软科学*, 2017, 1: 1–12]
- 4 Costanza R, Daly L, Fioramonti L, et al. Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecol Econ*, 2016, 130: 350–355
- 5 Zhu D J. Explaining eco-civilization from the frontier research and international perspective of sustainable development (in Chinese). *Chin J Environ Manage*, 2019, 11: 5–12 [诸大建. 用国际可持续发展研究的新成果和通用语言解读生态文明. *中国环境管理*, 2019, 11: 5–12]
- 6 Wackernagel M, Hanscom L, Lin D. Making the Sustainable Development Goals consistent with sustainability. *Front Energy Res*, 2017, 5: 1–5
- 7 Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, 2009, 461: 472–475
- 8 Steffen W, Richardson K, Rockstrom J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 2015, 347: 736
- 9 Fang K, Heijungs R, De Snoo G R. Understanding the complementary linkages between environmental footprints and planetary boundaries in a footprint-boundary environmental sustainability assessment framework. *Ecol Econ*, 2015, 114: 218–226
- 10 Fang K, Duan Z. An integrated assessment of national environmental sustainability by synthesizing carbon, water and land footprints and boundaries (in Chinese). *J Nat Resour*, 2015, 30: 539–548 [方恺, 段峥. 全球主要国家环境可持续性综合评估——基于碳、水、土地的足迹-边界整合分析. *自然资源学报*, 2015, 30: 539–548]
- 11 Häyhä T, Lucas P L, van Vuuren D P, et al. From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space—How can the scales be bridged? *Glob Environ Change*, 2016, 40: 60–72
- 12 O'Neill D W, Fanning A L, Lamb W F, et al. A good life for all within planetary boundaries. *Nat Sustain*, 2018, 1: 88–95
- 13 Vanham D, Leip A, Galli A, et al. Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs. *Sci Total Environ*, 2019, 693: 133642
- 14 Raworth K. A safe and just space for humanity: Can we live within the doughnut. *Oxfam Policy Pract Clim Change Res*, 2012, 8: 1–26
- 15 Lu Y, Nakicenovic N, Visbeck M, et al. Five priorities for the UN Sustainable Development Goals. *Nature*, 2015, 520: 28
- 16 Biermann F, Kanie N, Kim R E. Global governance by goal-setting: The novel approach of the UN Sustainable Development Goals. *Curr Opin Environ Sustain*, 2017, s26-27: 26–31
- 17 Le Blanc D. Towards integration at last? The sustainable development goals as a network of targets. *Sustain Dev*, 2015, 23: 176–187
- 18 Allen C, Nejdawi R, El-Baba J, et al. Indicator-based assessments of progress towards the sustainable development goals (SDGs): A case study from the Arab region. *Sustain Sci*, 2017, 12: 975–989
- 19 Cole M J, Bailey R M, New M G. Spatial variability in sustainable development trajectories in South Africa: Provincial level safe and just operating spaces. *Sustain Sci*, 2017, 12: 829–848
- 20 Pradhan P, Costa L, Rybski D, et al. A systematic study of Sustainable Development Goal (SDG) Interactions. *Earth Future*, 2017, 5: 1169–1179
- 21 Kumar P, Ahmed F, Singh R K, et al. Determination of hierarchical relationships among sustainable development goals using interpretive structural modeling. *Environ Dev Sustain*, 2018, 20: 2119–2137
- 22 Du D B, Ma Y H. One Belt and One Road: A new way of global governance (in Chinese). *Geogr Res*, 2017, 36: 1203–1209 [杜德斌, 马亚华. “一带一路”——全球治理模式的新探索. *地理研究*, 2017, 36: 1203–1209]
- 23 Liu H M, Hu S L, Fang K, et al. A comprehensive assessment of political, economic and social risks and their prevention for the countries along the Belt and Road (in Chinese). *Geogr Res*, 2019, 38: 2966–2984 [刘海猛, 胡森林, 方恺, 等. “一带一路”沿线国家政治-经济-社会风险综合评估及防控. *地理研究*, 2019, 38: 2966–2984]
- 24 Liu W D, Song Z Y, Liu Z G, et al. Progress in research on the Belt and Road Initiative (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2018, 73: 620–636 [刘卫东, 宋周莺, 刘志高, 等. “一带一路”建设研究进展. *地理学报*, 2018, 73: 620–636]
- 25 Wu S H, Liu L L, Liu Y H, et al. Geographical patterns and environmental change risks in terrestrial areas of the Belt and Road (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2019, 73: 1214–1225 [吴绍洪, 刘路路, 刘燕华, 等. “一带一路”陆域地理格局与环境变化风险. *地理学报*, 2019, 73: 1214–1225]
- 26 Ascensão F, Fahrig L, Clevenger A P, et al. Environmental challenges for the Belt and Road Initiative. *Nat Sustain*, 2018, 1: 206–209
- 27 Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environ Urban*, 1992, 4: 121–130
- 28 Wiedmann T, Lenzen M. Environmental and social footprints of international trade. *Nat Geosci*, 2018, 11: 314–321

- 29 Fang K. Footprint family: Concept, classification, theoretical framework and integrated pattern (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2015, 35: 1647–1659 [方恺. 足迹家族: 概念、类型、理论框架与整合模式. *生态学报*, 2015, 35: 1647–1659]
- 30 Liu J, Hull V, Batistella M, et al. Framing sustainability in a telecoupled world. *Ecol Soc*, 2013, 18: 344–365
- 31 Wu P T, Zhuo L, Liu Y L, et al. Assessment of regional crop-related physical-virtual water coupling flows (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 1953–1966 [吴普特, 卓拉, 刘艺琳, 等. 区域主要作物生产实体水-虚拟水耦合流动过程解析与评价. *科学通报*, 2019, 64: 1953–1966]
- 32 Galli A, Iha K, Halle M, et al. Mediterranean countries' food consumption and sourcing patterns: An ecological footprint viewpoint. *Sci Total Environ*, 2017, 578: 383–391
- 33 Schmidt-Traub G, Kroll C, Teksoz K, et al. National baselines for the Sustainable Development Goals assessed in the SDG Index and Dashboards. *Nat Geosci*, 2017, 10: 547–555
- 34 Zhou X, Feng T T, Xu M. Determination of strategic targets and core indicators for Sustainable Development Goals (SDGs) integration in China based on SDG interlinkages analysis and statistical method (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2018, 33: 20–29 [周新, 冯天天, 徐明. 基于网络系统的结构分析和统计学方法构建中国可持续发展目标的关键目标和核心指标. *中国科学院院刊*, 2018, 33: 20–29]
- 35 Liu H, Shi P, Pan J, et al. Spatio-temporal evolution on housing price to income ratio of China using multiscale analysis. *Chin Geogr Sci*, 2015, 29: 1518–1524
- 36 Anselin L. Quantile local spatial autocorrelation. *Lett Spat Resour Sci*, 2019, 12: 155–166
- 37 Liu C, Li F R, Zhen Z. Prediction of spatial distribution of forest carbon storage in Heilongjiang Province using spatial error model (in Chinese). *Chin J Appl Ecol*, 2014, 25: 2779–2786 [刘畅, 李凤日, 甄贞. 空间误差模型在黑龙江省森林碳储量空间分布的应用. *应用生态学报*, 2014, 25: 2779–2786]
- 38 Cheng Y, Wang Z, Ye X, et al. Spatiotemporal dynamics of carbon intensity from energy consumption in China. *J Geogr Sci*, 2014, 24: 631–650
- 39 Liu H M, Fang C L, Huang J J, et al. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2018, 73: 177–191 [刘海猛, 方创琳, 黄解军, 等. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析. *地理学报*, 2018, 73: 177–191]
- 40 Xie G D, Zhang C S, Zhang L B, et al. China's county-scale ecological regionalization (in Chinese). *J Nat Resour*, 2012, 27: 154–162 [谢高地, 张昌顺, 张林波, 等. 保持县域边界完整性的中国生态区划方案. *自然资源学报*, 2012, 27: 154–162]
- 41 Wang J N, Xu K P, Chi Y Y, et al. The environmental function assessment and zoning scheme in China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2014, 34: 129–135 [王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等. 我国环境功能评价与区划方案. *生态学报*, 2014, 34: 129–135]
- 42 Fan J. Draft of major function oriented zoning of China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2015, 70: 186–201 [樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70: 186–201]
- 43 Fang C L, Liu H M, Luo K, et al. Comprehensive regionalization of human geography in China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2017, 72: 179–196 [方创琳, 刘海猛, 罗奎, 等. 中国人文地理综合区划. *地理学报*, 2017, 72: 179–196]
- 44 Reid W V, Chen D, Goldfarb L, et al. Earth system science for global sustainability: Grand challenges. *Science*, 2010, 330: 916–917
- 45 Scherer L, Behrens P, de Koning A, et al. Trade-offs between social and environmental Sustainable Development Goals. *Environ Sci Policy*, 2018, 90: 65–72
- 46 Nilsson M, Griggs D, Visbeck M. Map the interactions between Sustainable Development Goals. *Nature*, 2016, 534: 320–322
- 47 Lu D D. About the Fourteenth Five-Year Plan: Fields and understanding (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2020, 40: 1–5 [陆大道. 关于“十四五”规划: 领域与认识. *地理科学*, 2020, 40: 1–5]
- 48 Xu G H, Ge Q S, Gong P, et al. Societal response to challenges of global change and human sustainable development (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2013, 58: 2100–2106 [徐冠华, 葛全胜, 宫鹏, 等. 全球变化和人类可持续发展: 挑战与对策. *科学通报*, 2013, 58: 2100–2106]
- 49 Fang C L, Liang L W, Wang Z B. Quantitative simulation and verification of upgrade law of sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration (in Chinese). *Sci China Earth Sci*, 2020, 50: 104–121 [方创琳, 梁龙武, 王振波. 京津冀城市群可持续爬升规律的定量模拟及验证. *中国科学: 地球科学*, 2020, 50: 104–121]

补充材料

图S1 65个国家及其所属区域

图S2 2015年“一带一路”地区虚拟水、土地和隐含碳、氮、磷的空间转移

本文以上补充材料见网络版csb.scichina.com. 补充材料为作者提供的原始数据, 作者对其学术质量和内容负责.

Summary for ““一带一路”沿线国家可持续发展综合评估及分区管控”

Integrated assessment and division management of sustainable development in the Belt and Road countries

Kai Fang^{1,2}, Anqi Xu¹, Jianjian He¹, Chuanglin Fang^{3*} & Qingyan Liu¹

¹ School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

² Center for Social Welfare and Governance, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

³ Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

* Corresponding author, E-mail: fangcl@igsnr.ac.cn

With 17 goals, 169 targets and 232 indicators, the Sustainable Development Goals (SDGs) proposed by the United Nations in late 2015 have provided the global community with an elaborate and concrete guidance for international collaboration in improving human well-being while safeguarding long-term global sustainability. However, the complexity and interactions between social, economic and environmental goals remain largely unexplored. This paper aims at making a contribution to filling in this knowledge gap by examining the relationship between environmental sustainability and socio-economic SDGs in the Belt and Road (B&R) region, where many countries are experiencing rapid urbanization and facing severe resource constraints and environmental challenges, such as water scarcity, land degradation, climate change and eutrophication.

To that end, this paper accounts for the water, land, carbon, nitrogen and phosphorus footprints of 65 B&R countries in 2015 by employing a global multi-regional input-output (MRIO) model, compares them with downscaled environmental boundaries, and assesses the corresponding environmental sustainability deficit index (ESDI) of all the B&R countries. Moreover, a set of socio-economic indicators chosen from the SDGs dashboard are employed to measure the progress of social development and economic growth in each B&R country using principal component analysis. Furthermore, spatial econometric models are adopted to capture the trade-offs and synergies between environmental sustainability and socio-economic SDGs. Further discussion is raised on the geospatial division management plan for sustainable development in the B&R region.

We find that: (1) The total and per capita environmental footprints in the B&R region show strong spatial heterogeneity, and the land, carbon, nitrogen and phosphorus footprints of most countries have exceeded their corresponding environmental boundaries, showing significant spatial autocorrelation ($P < 0.01$). (2) Socio-economic SDGs related to basic human needs, such as SDG 1 (no poverty) and SDG 3 (good health and well-being), have been fulfilled to large extent while the SDGs like SDG 8 (decent work and economic growth) and SDG 12 (responsible consumption and production) are in urgent need of improvement. (3) The relationships between environmental sustainability and socio-economic SDGs is complicated; that is, goals that have synergies with ESDI can be priorities for SDGs, including SDG 1 (no poverty), SDG 2 (zero hunger), SDG 6 (clean water and sanitation), SDG 9 (industry, innovation and infrastructure), SDG 10 (reduced inequalities) and SDG 11 (sustainable cities and communities). By contrast, goals including SDG 8 (decent work and economic growth), SDG 12 (responsible consumption and production), SDG 16 (peace, justice and powerful institutions) and SDG 17 (partnerships for the goals) show trade-offs with ESDI and therefore should be implemented with caution to avoid potential ecological and environmental risks. For indicators within SDG 5 (gender equality) that counteract the reduction in ESDI, policy actions should be taken to increase synergies and decrease trade-offs. (4) Four types of sustainable development zones are identified on the basis of national environmental sustainability and the SDGs progress: green pilot zone, key development zone, green transformation zone, and risk prevention zone. There is a great need for common but differentiated policies in support of B&R's division management. The research findings are expected not only to bring transparency to the complicated relationship between various SDGs and environmental sustainability, but also to assist policy makers with formulating integrated policies for achieving the SDGs and building the green B&R.

Belt and Road, Sustainable Development Goals (SDGs), environmental footprint, planetary boundaries, environmental sustainability, multi-regional input-output

doi: [10.1360/TB-2020-0447](https://doi.org/10.1360/TB-2020-0447)