

可持续发展目标的多尺度空间解构与评估

杨振山^{1,2}, 杨航^{1,2}, 杨林生^{1,2}, 葛全胜^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 评估与监测是推进可持续发展目标实现的重要环节, 围绕可持续发展目标的理论研究和本土化方案设计已全面展开, 但在相关评估与实践过程中对于目标约束、层级传递等方面的考量仍然不足。为此, 从系统性和开放性的角度出发, 建立了一套面向可持续发展目标的多尺度空间解构与评估方案。结果表明: 在国家和区域层面, 生态安全、环境适宜、绿色发展等维度与可持续发展阶段性目标的差距在快速缩小, 社会和谐维度虽然水平逐年提升, 但距离目标仍存在一定差距, 尤其是收入分配不均、城乡差异等问题较突出。针对差异化目标, 多尺度协同推进是实现可持续发展目标的关键。该评估方案可为诊断可持续发展的区域问题、理解不同地区间和不同目标间的相互关系提供支撑, 也有助于不同层级、不同参与主体在开放框架下积极参与可持续发展事业, 系统地评估和监测可持续发展的目标实现进程。

关键词: 可持续发展目标; 评估体系; 多尺度; 目标分解

可持续发展既是关乎全球人类命运的共同行动, 也是中国在新历史阶段对未来发展方式的主动选择。2015年联合国可持续发展峰会上通过了《2030可持续发展议程》, 承诺向实现17个可持续发展目标 (Sustainable Development Goals, SDGs) 的方向迈进^[1]。思想上, 中国政府提出的生态文明建设和“美丽中国”建设理念与全球可持续发展目标不谋而合^[2,3]。在行动上, 中国政府积极参与全球可持续发展事业, 不仅发布了全球首个国别进展报告——《中国落实2030可持续发展议程进展报告》, 更致力于将可持续发展议程与国家中长期发展规划有机结合^[4], 设立“可持续发展创新示范区”等^[5], 从国家到区域尺度开展各类型本土实践, 探索可持续发展实现路径。

可持续发展是科学研究和应用实践相结合的重要议题, 国内学者积极构建中国本土化的可持续发展目标评价方案, 从目标间关系、区域差异、时空动态、环境正义等角度探索落实可持续发展目标过程中存在的机遇与挑战^[6-8]。例如, Wang等^[9]构建可持续发展指数和仪表盘分析框架以探究中国可持续发展目标实现的地方异质性, 认为优先发展经济有利于西部地区实现可持续发展目标, 而东部省份必须权衡经济发展和环境保护。Liu等^[10]提出系统方法测度17个SDGs目标间均匀度, 为促进实现可持续发展各目标之间的平衡提供视角, 并指出中国部分经济发达省份由于目标间存在严重不平衡状态, 可持续发展目标实现进展反而较慢。当前, 本土化的可持续发展评估方案充分考虑了评估要素的

收稿日期: 2023-02-20; 修订日期: 2023-11-01

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (A类) (XDA23100402, XDA23100403)

作者简介: 杨振山 (1979-), 男, 新疆博乐人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为城市与区域可持续发展。

E-mail: yangzs@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 葛全胜 (1963-), 男, 安徽怀宁人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为自然地理学、全球变化与可持续发展。E-mail: geqs@igsnrr.ac.cn

综合性和评价主体的时空差异性,但指标体系的目标导向性不足,对于不同尺度单元之间的指标衔接也鲜少提及。

可持续发展指标体系是政策服务型度量工具,在构建指标体系和监测评估过程中,需要保证评价指标在不同评价主体的适用性、公平性和传递性^[11]。首先,可持续发展评估与监测往往与打分排序相伴而生,虽然可以起到督促不同主体明确目标迫切性、积极承担责任的正向作用,但排名结果对参评指标及计算方法的选择敏感性较高^[12]。构建目标导向型指标评价体系,改变传统的“打分排序”工作,“立目标、找差距”,推动各国或各地区目标与行动的一致性成为科学决策的新要求^[13,14]。其次,联合国SDGs评估框架的指标数量较大,基层的数据统计成本与难度较高,可持续发展综合评估大多在国家和省级层面展开,地方监测和统计工作与上级指标体系存在脱节。近年来随着各级政府推进可持续发展目标落实,较细空间尺度的可持续发展评估逐渐受到关注。例如汪涛等^[15]结合国家可持续发展议程创新示范区建设构建了城市尺度的综合评价体系,强调后续示范区的筛选和建设应该重视各指标要素的协调性,推动城市整体可持续发展的合力;Zhong等^[16]采用复杂网络分析方法揭示各类指标与其他指标的关联度,通过县级尺度的调查结果比较后认为,未来县级政府统计工作应加强公共服务和环境保护等指标的监测。然而,当前大部分精细尺度的可持续评价研究仍然仅考虑单一目标或子目标,如SDG 1贫困^[17],或SDG 9.1基础设施^[18]等。

在可持续发展动态演进、全球目标与地方响应相结合的过程中,可持续发展评估和监测需要从地区差异和层级传递的角度出发,对可持续发展目标进行空间解构,充分体现可持续发展评价的系统性和开放性。系统性是指在自然资源利用、生态环境治理、社会经济发展等交互影响下对人与自然要素的综合管理^[19]。系统统筹各类社会经济与自然环境要素间关系是推进可持续发展实践的内在要求^[20]。开放性是指一个相对灵活和可扩展的评估框架,以实现可持续发展目标沿行政层级体系逐级推进与落实。由于各地发展基础和目标实现难度、优先级存在差异,评价指标和权重不能在地区间简单复制^[21],不同尺度评价单元所面临的目标间相互协同或制约关系也不尽相同,但在尺度关联作用下,国家层面实现可持续发展目标需要由区域、省级的目标落实作为支撑,而省级则需以市县完成情况为支撑^[22,23]。

因此,本文立足于中国可持续发展实践,构建国家级—区域级—城(市)级的可持续发展指标体系,解析各指标之间,以及不同尺度评价层级之间的关联性,为形成目标导向明确、层级传导清晰、适用于多空间尺度的可持续发展指标评估方案提供思路 and 支撑,以期推动本土化可持续发展目标的评估、监测和落实。

1 可持续发展目标解构与指标体系设计

通过统计指标量化可持续发展目标对于跟踪全球可持续发展建设进程至关重要,目标约束和目标分解则是自上而下落实可持续发展行动的关键。联合国SDGs全球指标框架采用“总目标—子目标—具体指标”的三层结构设计,共包含17项总目标、169项子目标和244项监测指标(去除重复项后共232项),涉及贫困与饥饿、教育、健康、性别平等、城市与人类住区、海洋、陆地、能源、气候变化等多个领域,为实现可持续发展

目标的统计、监测和评估提供了指导框架^[1,23]。《2030年可持续发展议程》要求从2016年起跟踪全球各地落实可持续发展目标所取得的进展，这使可持续发展行动从一个概念性的政治议程转变为以客观数据和定量方法为支撑的评估与监测工作^[24,25]。

尽管联合国可持续发展目标为全球可持续发展提供了系统性、科学性、规范性的指导框架，然而其评价主体主要是全球和区域，由于各国可持续发展水平差异较大，强调国际可比性的指标不适用于在国家及更细尺度单元下跟踪可持续发展建设进展^[6,26]。因此，各国学者针对国家和区域实际情况设立可持续发展优先级目标，在综合考虑数据可用性、可比性以及是否可设置明确目标值等标准下，推进可持续发展目标的本土化方案设计和统计监测工作^[27,28]。例如，邵庆龙等^[29]在行星边界可持续发展指标体系的基础上，创新性地将“十二五”规划文件中相关指标的预期值设定为阈值并开展评估工作。从科学发展观到生态文明建设，从“两山论”到美丽中国建设，中国的基本发展理念与可持续发展思想高度契合，政府和学者纷纷提出了以可持续发展为内核的各类指标评价体系。本文从评价维度、指标数量、评价单元（尺度）等方面系统梳理与比较了具有典型代表性的相关评估体系（表1），分析其在方案设计和实践中对于可持续发展评估的系统性和开放性特征的关注，进一步论述在评估过程中处理好系统性与复杂性、时空动态性以及尺度关联的重要性，并将其总结为可持续发展指标体系的设计原则。

1.1 可持续发展评估的系统性与复杂性

可持续发展系统是具有多目标属性的复合系统，由经济、社会、资源环境三大系统及其子系统、要素所构成，目标/要素间存在部分或整体的权衡和协同关系^[3]。既有研究表明，由于各子系统和各目标之间相互关联与作用，单一要素的改变可能影响整个系统以及可持续发展总体目标的实现，因此需要一套系统的评价指标和综合方法^[18,34]。在中国现行的各类可持续发展指标评价体系中，除部分指标体系重点关注生态环境领域，大部分评价体系基本涵盖了可持续发展的所有维度，无论是“民生改善、经济发展、资源利用、环境治理”的四维度^[6]，还是“五位一体”美丽中国建设理论框架^[30]，本质上均是从支撑经济、社会和环境领域整体发展的系统角度出发，实现对可持续目标全球框架的支撑。由于议程目标和子目标本身的综合性、系统性及相互关联性，要求落实行动必须打破部门和行业之间的界限和限制，进行跨领域、跨部门合作，以期实现“一举多得”的效果及国际公约之间的协同增效^[2]。

此外，有研究指出可持续发展目标之间可能存在着竞争甚至是矛盾关系，一个目标的优化可能会导致另一个目标的弱化，不能简单地将各评价指标赋权加和产生的综合值视为可持续发展水平^[35]。可持续发展评价目的在于找出研究区域实际情况与目标发展之间的差距，在各目标权衡中寻求最优化路径。因此，改变传统评价体系中各维度赋权求和得到综合分值的形式，在指标体系中提出明确的目标值^[8]，基于量化的评价结果分析落实可持续发展目标的现状水平与目标之间的差距，可以有效避免在可持续发展建设过程中出现目标不清楚、短板不明确的问题。

1.2 可持续发展目标的时空动态与差异

可持续发展目标的异质性体现在空间与时间两维度，在跟踪监测地方可持续发展进程时需加强对差异化指标的设计以及对时空演化过程的剖析。在保证可持续发展评估全面系统的同时，庞杂的指标体系可能带来对指标兼容性及区域特点考虑不足的问题，从

表1 中国可持续发展相关指标评价体系

Table 1 Multi-indicator evaluation system related to sustainable development in China

指导思想	来源/ 代表研究	年份	评价维度	指标 数量/个	评价 尺度	是否 目标 导向	是否体 现区域 差异	是否考 虑尺度 关联	特点
绿色发展 指标 体系	国家发展改 革委员会 ^a	2016	资源利用、环 境治理、环境 保护、生态保 护、增长质 量、绿色生活	56	省级、市 (县)级	否	是	是	各省、自治区、直辖市结合 当地实际制定辖区内市 (县)的绿色发展指标体系, 基本框架应与国家保持一 致,具体指标的选择、权数 以及目标值的确定适当调 整,体现当地主体功能定位 和差异化评价要求
生态 文明 建设 考核 目标 体系	国家发展改 革委员会 ^a	2016	资源利用、生 态环境保护、 绿色发展指数 评价结果	23	省级	是	是	否	侧重于生态环境相关指标, 根据各地区约束性目标完成 情况,对有关地区进行扣分 或降档处理
美丽 中国 建设 评估	方创琳等 ^[30]	2019	绿色发展、生 态环境、社会 和谐、体制完 善、文化传承	31	市级	否	是	否	充分考虑不同区域和省市的 自然条件、主体功能、地域 文化、发展基础和地方政策 异质性
	高峰等 ^[31]	2019	水清、地绿、 天蓝、人和	43	市级	是	是	否	以地球大数据、网络数据及 统计数据等多源数据为支撑
	国家发展改 革委员会 ^b	2020	空气清新、水 体洁净、土壤 安全、生态良 好、人居整洁	22	省级	是	是	否	分阶段提出2025年、2030年、 2035年美丽中国建设预期目 标,并结合各地区经济社会 发展水平、发展定位、产业 结构、资源环境禀赋等因素, 在目标确定和分解上体现地 区差异
基于 SDGs 的可 持续 发展 评价 指标 体系	朱婧等 ^[6]	2018	民生改善、 经济发展、 资源利用、 环境质量	53	国家	是	否	否	结合SDGs总目标和具体目 标,综合运用层次分析法、 专家咨询法进行国家层面的 可持续目标实现进程评估
	Wang等 ^[9] , Xu等 ^[32]	2020	对应SDGs 17项目标	52/ 119	国家/ 省级	是	是	否	与海洋相关的目标SDG 14仅 针对11个沿海省份进行了评 估;对于SDGs中未给出目标 值或最佳阈值只有定性说明 的指标,选取表现最好/最差 的省份评估值设定上/下限
	邵超峰等 ^[8]	2021	对应SDGs 17项目标	142	国家、 城市	是	否	是	构建中国本土化指标体系, 并对接城市尺度可持续发展 评价体系,衔接国家可持续 发展议程创新示范区建立的 目标指标

注:^a来自国家发展和改革委员会关于印发《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》的通知,发改环资〔2016〕2635号;^b来自国家发展和改革委员会关于印发《美丽中国建设评估指标体系及实施方案》的通知,发改环资〔2020〕296号。

而导致评价结果可比性差、适用性低，难以有效解决区域发展问题^[31]。尤其是中国幅员辽阔，自然资源、生态环境、人口、产业经济的地域分异特征明显，因此在设计本土化评估方案过程中需要充分考虑不同区域和省市的自然条件、主体功能、地域文化、发展基础和地方政策的异质性^[36,37]，对于评价体系中地域性较强的指标进行调整。例如，《绿色发展指标体系》中“海洋保护区面积”“自然岸线保有率”“新增矿山恢复治理面积”等生态指标对于部分地区并不适用，评价方案中指出相关指标可不参与总指数计算，其权数平均分摊至其他指标。

可持续发展是一个长期动态过程，其目标实现并非一蹴而就，因此可持续发展评价体系需要强调设立目标优先级、预留充足转型期的重要性^[20]。根据实际情况考虑更易于管理和更符合权衡关系的可持续发展目标实现顺序，动态调整与优化发展目标，对于降低可持续发展目标的复杂性、提高投资效率、确保高效转型至关重要^[19]。目标导向性评价方案需要重视时空差异特征，在以远景目标为导向进行评价体系设计的同时，也有针对短期成效考核的阶段性目标。例如，国家发展改革委员会发布的《美丽中国建设评估指标体系及实施方案》中提到，分阶段设计2025年、2030年、2035年预期目标以全面落实2035年“美丽中国目标基本实现”的战略目标。

1.3 可持续发展目标的尺度与层级传递

实现可持续发展目标涉及从顶层设计到地方基层政府落实的每一个环节，因此在制定可持续发展目标的本土化方案时需要结合中国行政区划体系进行多尺度的目标解构。尽管有部分指标体系明确指出需要在国家框架基础上进一步因地制宜地设计市级、县级指标评价体系，但各地方的落实进度与质量不尽如人意。一方面，随着尺度下沉，除已纳入县（区）级政府统计工作的数据外，其余可持续发展目标相关数据存在较大缺口^[25]，较高的数据监测和获取成本将极大地增加地方负担，阻碍可持续发展建设进程和目标落地^[38]。另一方面，有研究指出评价体系中的绩效表现可能会因为研究系统的规模和性质（例如全球、国家、区域）而产生差异，即呈现出尺度效应^[20,39]。如果可持续发展目标评估方案中对于下层指标体系设计的意见方法过于笼统，仅仅通过简单增删部分指标形成上下级指标体系的衔接，则难以实现可持续发展目标自上而下的指导约束和自下而上的支撑与落地。

诊断和厘清不同尺度下评价指标之间的联系和传导机制，有利于实现可持续发展目标分解和指标体系层级传递^[44]。在传统的指标综合评价法基础上，一些数理模型开始被广泛运用在可持续发展水平评估研究中，例如层次分析法^[20]、投入产出模型^[40]、数据包络分析等^[41]。相比较而言，系统动力学模型既能够在同一子系统不同变量之间，也可以在不同子系统之间有效分析内部多变量间的相互作用关系，已广泛应用于可持续发展领域的评估和多目标优化研究中^[42]，子系统与子系统内部间变量具有多重的相互作用关系，回归方程中变量选取透明，反馈机制清晰，有助于在可持续评估工作中兼顾系统性和开放性特征。

1.4 面向系统性和开放性的可持续发展指标评价体系的构建原则

综上所述，可持续发展评估需要加强对不同地区地理环境和发展阶段差异性的关注，通过多维度、多尺度、多层次分析，建立一套适用性高、目标明确、层级传递的可持续发展目标评价体系。总体而言，指标体系设计需要遵从以下四个原则：（1）共识性与权

权威性指标选取原则。评价方案的指标选取与目标确定需要具有权威性,能够形成广泛共识;同时尽量使用政府、统计局等权威部门发布的数据,保证统计口径一致,强化评估的权威性。(2)科学评价与操作实施兼顾原则。评价方案应服务实践需要,选取的指标不仅需有丰富的科学内涵,还需要考虑实际工作开展和数据可获取性,随着建设不断深入、获得数据手段不断完善,评估指标也应不断丰富和完善。(3)系统性与区域差异化并重原则。由于自然地理环境、发展阶段和水平的不同,不同地区落实可持续发展建设所面临的问题、状态存在明显地域差异,方案设计既要考虑全面覆盖可持续发展内涵,又要兼顾地区差异化指标。(4)开放性与兼容性统筹考虑原则。评估方案设计需要在与国家目标相一致的基础上,在不同行政单元间层层递进,即各地方政府能够在国家目标约束下,结合自身特点对评估方案进行调整或补充,充分激发地方政府落实可持续发展目标建设的主动性。

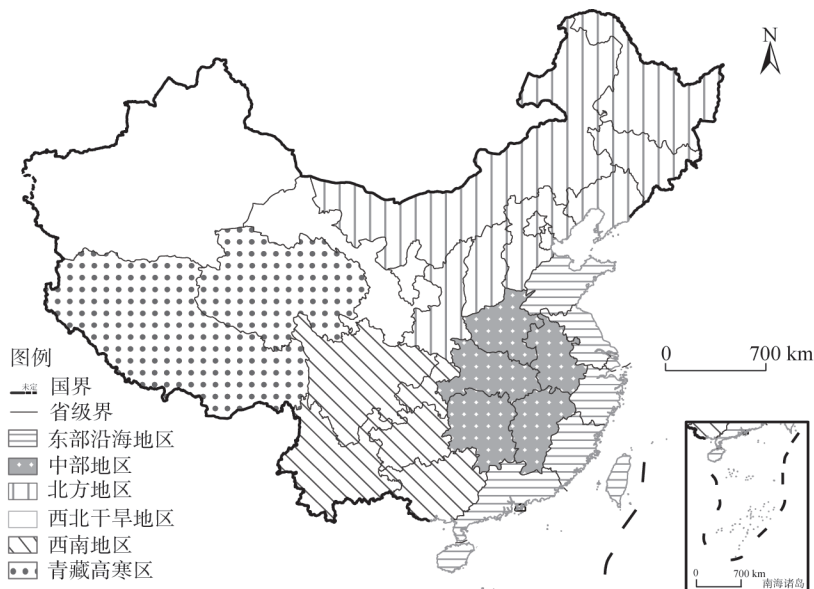
2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究区概况与数据来源

在国家、省级和市级层面展开可持续发展评估的实证分析,为更详细地体现区域差异特征,根据自然环境条件和社会经济水平将全国划分为六大区域以展示评估结果(图1)^[9]。研究期为2010—2020年,数据来自全国31个省级行政区(不含中国港澳台地区)2010—2020年统计年鉴以及各年度国民经济和社会发展统计公报。

2.2 评估方案

结合中国区域特点和行政体系,本文构建了具有开放性与系统性、以目标为导向的



审图号: GS(2019)1831号 自然资源部 监制

注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作, 底图无修改, 下同。

图1 研究区域及分区示意

Fig. 1 Study area and the division of 6 sub-national regions

多尺度可持续发展评价框架（图2）。方案共包括省级—市级—县级三个空间尺度，对应构建一级（权威）、二级（核心）、三级（细化）指标体系，通过指标分解和系统动力学模型实现三个评价层级间的目标约束与传导。其中，一级（权威）指标体系全国统一，在六个区域板块开展，评价单元为省级行政区；在一级指标约束下，针对六大区域板块的特点制定差异化的二级（核心）指标体系，评价单元为地级市；在上层两级指标体系的约束下，由各省级单位根据本地情况制定三级（细化）指标体系，加强区域差异分析，完成对各县（区）的评估工作。

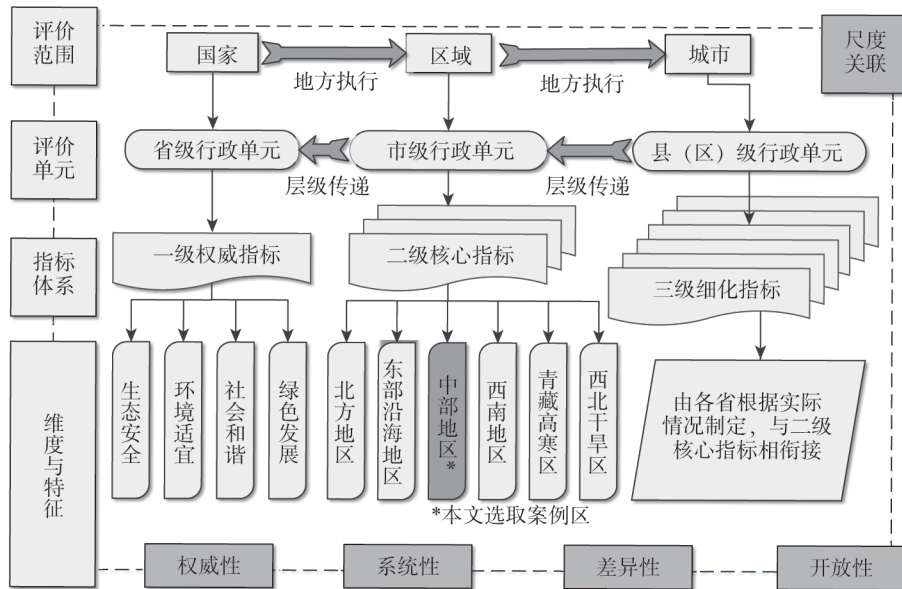


图2 具有系统性和开放性特点的多层次可持续发展评价的设计框架

Fig. 2 A framework of multi-level sustainable development evaluation with systematic and open-ended features

本文首先制定了一级指标体系的方案设计（表2），通过熵值法计算各指标权重，根据国内外权威资料和广泛论证设定各指标目标值，并将目标值进行百分制指数处理，测算结果越接近100，则表明与目标的距离越接近。其次，考虑到中部地区发展阶段处于全国中间发展水平，选取中部地区为案例地，以河南、湖北、湖南、安徽、江西5省共69个地级市为分析单元，设计二级核心指标体系（表3），并通过构建系统动力学模型描述一级与二级指标体系间的传导与反馈过程，以反映不同空间尺度和不同层级指标体系间的传导机制。需要说明的是，二级核心指标的目标值也需要结合区域发展特点，经地方政府和专家学者广泛论证后确立，因此本文仅给出了指标体系示例，为更低层级的指标体系设计思路和技术方法提供参考，未详细展开实证和测算工作。

2.3 研究方法

2.3.1 多指标综合评价法

本文将可持续发展目标分解为四个维度：生态安全、环境适宜、社会和谐、绿色发展，构建了用以评估省级单位可持续目标实现进程的一级指标体系（表2）。其中，生态安全指数包含4个权威指标，涉及水、土、气、生等自然地理环境要素，反映生态系统遭受自然或人为干扰后对人类生存带来的影响；环境适宜是指满足人们对于优美、舒适、

表2 可持续发展评价体系的一级权威指标及其目标值

Table 2 Tier 1 authoritative indicators of sustainable development evaluation and their target values

维度	指标名称	单位	目标值	目标设置的依据
生态安全	自然灾害死亡人数占总人口比例	人/千万人	3.00	《国务院关于特别重大、重大突发公共事件分级标准（试行）》
	废水中化学需氧量排放量浓度	mg/L	100.00	《污水综合排放标准》
	水土流失率	%	26.84	《全国水土保持规划》
	AQI指数	—	50.00	《环境空气质量指数（AQI）技术规定（试行）》
环境适宜	PM _{2.5} 浓度	μg/m ³	35.00	世界卫生组织《空气质量准则》
	污水处理率	%	100.00	《污水综合排放标准》
	生活垃圾无害化处理率	%	100.00	《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》
	一般工业固体废物综合利用率	%	73.00	《“十三五”生态环境保护规划》
社会和谐	基尼系数	—	0.30	基尼系数定义，0.3以下为最佳平均状态
	恩格尔系数	%	30.00	参照联合国粮农组织划分标准，低于30%为最富裕水平
	城乡居民人均收入比	—	2.00	城乡收入比低于2表明城乡差异大幅缩减
绿色发展	劳动力平均受教育年限	年/人	11.30	《“十四五”时期经济社会发展主要目标》
	碳排放强度（单位GDP碳排放当量）	t/万元	0.93	《“十三五”及2030年能源经济展望》
	单位GDP用水量	m ³ /万元	48.00	《“十四五”节水型社会建设规划》
	单位GDP能源消耗量	tce/万元	0.43	《“十四五”节能减排综合工作方案》

宜人的居住环境方面不断增长的需求，确保人人能够享受空气清新、水质优良以及垃圾减量化、无害化、资源化的生活与生产环境，共包含4个权威指标；社会和谐指数是指创造生活水平不断提高、人民安居乐业的社会环境，不仅要关注经济增长，还要努力缩小贫富差距和城乡差距、促进公平分配、提高生活质量，共包括3个权威指标；绿色发展指数是指不依赖于消耗不可再生能源以实现经济增长，而是走资源节约型、绿色低碳型的发展路径，实现从资源驱动型向人才（创新）驱动型的增长方式转变，共包含4个权威指标。指标体系的维度和数据支撑与现有中国可持续发展评价体系相关研究基本保持一致^[6,8,43]，但选取指标时充分考虑了其在内涵和统计口径上能否达成国际共识，且在规划纲要或部门标准中是否具有明确目标阈值，具有更强的权威性和目标性，有助于增强目标与行动的一致性。

2.3.2 系统动力学模型

系统动力学（System Dynamics, SD）模型在处理具有系统性、复杂性和动态性的问题方面发挥了重要作用，可以充分揭示可持续发展指标体系中各个变量之间的非线性结构和相互作用机制，该模型已被广泛应用于城市经济发展、人口增长、土地利用、生

表3 中部地区一级权威指标权重及二级核心指标传导

Table 3 The weight of authority indicator and the relationship between authority indicators and core indicators in Central China

维度	一级权威指标及权重	二级核心指标及传导参数
生态安全	自然灾害死亡人数占总人口比例 (0.13)	每万人自然灾害受灾人次 (0.002), 公共安全支出 (-0.010)
	废水中化学需氧量排放量浓度 (0.19)	人均化学需氧量排放量 (0.181), 人均用水量 (0.035)
	水土流失率 (0.31)	单位耕地面积化肥施用量 (0.067), 森林覆盖率 (-0.231)
	AQI指数 (0.37)	人均二氧化硫排放量 (0.867), 建成区绿化覆盖率 (-0.960), 科技支出 (-0.738)
环境适宜	PM _{2.5} 浓度 (0.44)	第二产业产值占GDP比例 (-0.173), 建成区绿化覆盖率 (-1.290), R&D经费 (-2.692)
	污水处理率 (0.16)	人均污水排放量 (-0.158), 城镇化率 (0.173), 公共服务支出 (0.171), 科技支出 (0.383)
	生活垃圾无害化处理率 (0.20)	人均生活垃圾产生量 (-2.268), 城镇化率 (1.564), 公共服务支出 (0.771), 科技支出 (0.406)
	一般工业固体废物综合利用率 (0.20)	单位GDP固体废物产生量 (-0.136), 第二产业产值占GDP比例 (0.276), 第三产业产值占GDP比例 (0.296), R&D经费 (0.367)
社会和谐	基尼系数 (0.55)	人均GDP (1.246), 失业率 (0.215), 城镇化率 (-0.708), 人均可支配收入 (-0.315)
	恩格尔系数 (0.16)	人均GDP (-0.572), 失业率 (0.215), 第三产业产值占比 (-0.010)
	城乡居民人均收入比 (0.29)	人均GDP (-0.188), 城镇化率 (-0.419), 第二产业产值占GDP比例 (0.200), 第三产业产值占GDP比例 (0.257)
绿色发展	劳动力平均受教育年限 (0.29)	人均GDP (0.057), 城镇化率 (0.295), 教育支出 (0.086), 每万人拥有高校在校学生数 (0.013)
	单位GDP碳排放当量 (0.22)	第三产业产值占GDP比例 (-0.048), R&D经费 (-0.285)
	单位GDP用水量 (0.19)	人均用水量 (0.015), 第二产业产值占GDP比例 (-0.043), 第三产业产值占GDP比例 (-0.020), R&D经费 (-0.639)
	单位GDP能源消耗量 (0.30)	人均用电量 (0.015), 第二产业产值占GDP比例 (0.068), 第三产业产值占GDP比例 (0.080), R&D经费 (-0.055)

态系统服务等研究领域, 在可持续发展评估方面也有丰富成果^[44,45]。在该模型中, 系统或子系统中变量间相互作用通常通过计算机工具进行定量分析和仿真模拟, 本文在 Vensim 软件中实现。模型中各变量间的相互作用通过带有+ (正反馈) 或- (负反馈) 的箭头连接, 构成因果回路图。因果回路图并不一定严格反映变量间的逻辑理论上的因果关系, 而是强调各解释变量对响应变量的解释力度和预测效果^[46]。在本文中, 以一级权威指标为响应变量, 在逻辑推理基础上从二级核心指标中选取潜在的解解释变量, 通过时间

序列分析(逐步回归)建立函数模型。在综合考虑回归方程的拟合优度和解释变量显著性后确定函数方程,并在SD模型中将因变量与其他自变量相连接。各回归方程中标准化后系数即作为一级与二级指标之间的传导参数(表3),系数符号即代表正负反馈作用,通过因果回路图,可以在分析变量间逻辑关系和影响机制的基础上,明确如何通过指标体系的层级传导将全局可持续发展目标逐步分解到地方尺度。

3 结果分析

3.1 可持续发展目标全国总体水平

研究期内四个维度指数呈波动上升趋势(图3),但当前仍未实现可持续发展阶段性目标。截至2020年,环境适宜、绿色发展和生态安全指数分别为93.9、82.1和77.7,社会和谐指数与目标值的差距最远(75.6)。从变化上看,环境适宜、生态安全和绿色发展指数呈现出稳定增长的态势,年平均增长率分别为5.4%、4.6%和3.9%。根据另一项面向可持续发展目

标和中国发展特点构建的综合环境质量评价研究结果表明,中国在2000—2019年间的环境质量得到了实质性改善,其中人居环境质量改善幅度最大,生态、水、土壤和大气环境质量均呈现上升趋势^[47],与本文结论基本一致。

在四个评价维度中,社会和谐指数的提升幅度最小(年平均增长率0.6%),收入分配不平等、城乡区域发展差异大和生活质量不高是制约中国实现可持续发展目标的主要瓶颈。尽管研究期内城乡差异不断缩小(全国城乡居民可支配收入比由3.2快速降至2.5),居民生活水平不断提高(恩格尔系数自2015年后稳定保持在30%以下水平),但收入分配矛盾仍然十分突出,研究期内基尼系数维持在0.42~0.47的国际警戒线以上,与相对合理的收入分配(基尼系数0.3)存在较大距离。过大的贫富差距不仅阻碍了社会流动,而且由分配不合理引发的一系列社会公平、社会正义问题,将影响总体可持续发展目标实现进程。

3.2 可持续发展目标的区域尺度评估

六大区域在各维度表现各异,总体而言,环境适宜指数最接近可持续发展阶段性目标,绿色发展指数的区域差异最大(图4)。生态安全方面,2020年指数最高的是东部沿海地区(98.3),自然地质灾害频发、生态环境脆弱的青藏高寒区生态安全指数仅为69.0,而西北干旱区由于水质、空气污染和水土流失问题严重,距离可持续发展目标最远(51.7)。从变化上看,东部沿海地区、中部地区在研究期内生态安全水平提升显著,而青藏高寒区和西北干旱区自2015年后生态安全指数增长十分缓慢。

环境适宜方面,东部沿海地区由于较好的空气环境、较高的污染处理和综合利用能力,环境适宜指数高达99.5,而西北干旱地区(85.5)和华北地区(83.8)距离目标较

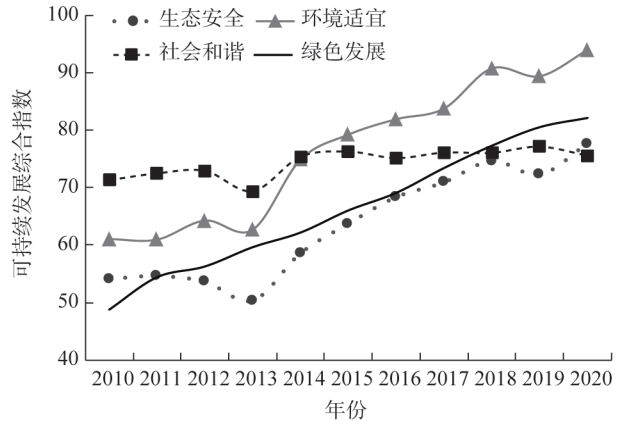


图3 2010—2020年全国可持续发展综合指数变化情况
Fig. 3 Changes of sustainability composite index between 2010 and 2020 at national scale

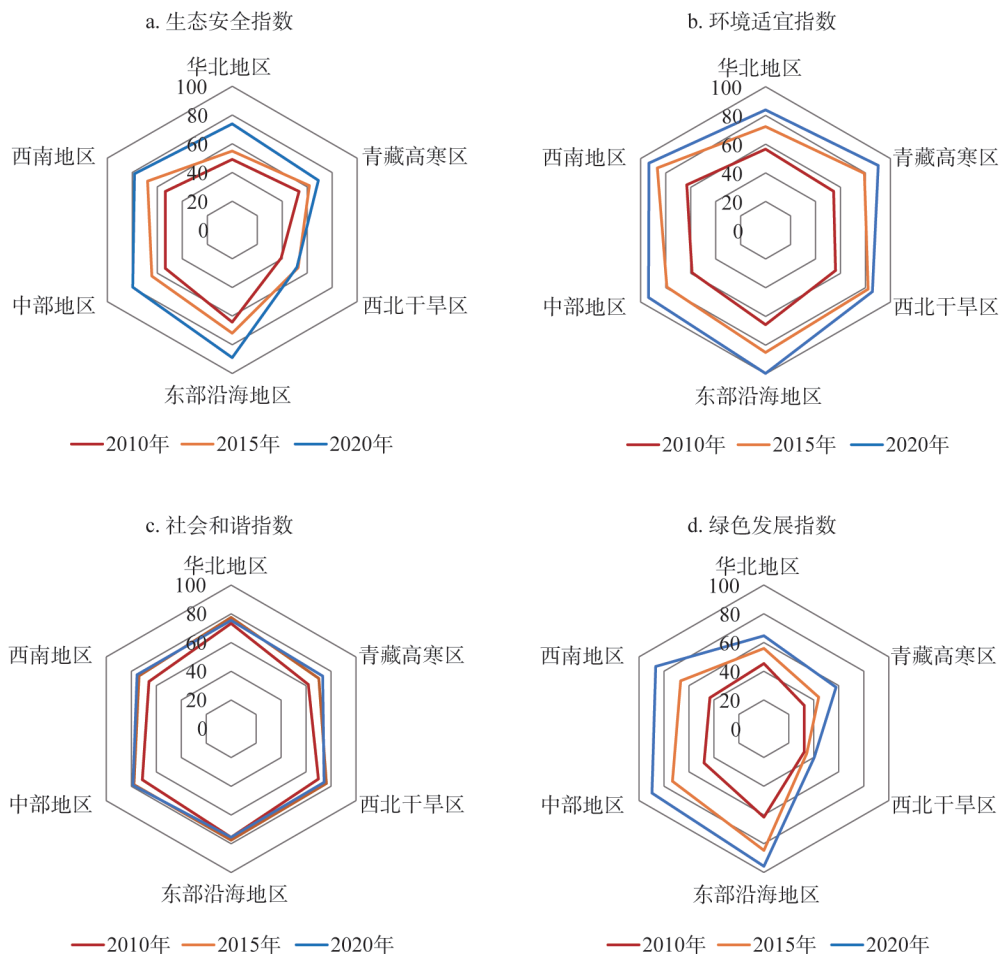


图4 2010年、2015年和2020年全国六大分区在各维度的评价结果

Fig. 4 Evaluation results in four dimensions for the six sub-national regions in 2010, 2015 and 2020

远，尤其是在空气质量和工业固体废物综合利用率方面存在较大的可提升空间。从变化上看，2010—2015年所有地区环境适宜水平快速提升。自2013年环境保护部等七部委联合开展环保专项行动后，全国环境适宜指数稳步提升，但西北干旱区从2015—2020年环境适宜指数仅提高了1.0，整治效果欠佳，可持续发展目标实现进程相对落后。

社会和谐方面，各区域的评价得分接近，但均与实现阶段性目标存在较大差距。研究期初，青藏高寒区和西南地区评价结果仅分别为61.8和65.8，远低于全国平均水平(71.3)，但受益于西部城镇化进程和脱贫攻坚的努力，居民生活消费水平快速提升，至2020年评价分值与其他区域已无显著差距。然而华北地区、东部沿海地区和西北干旱区的社会和谐指数呈现先上升后下降的态势，尽管这三个区域的恩格尔系数早已降至30%的目标水平以下，但由于较早面临产业转型升级难题，失业率相对较高，城乡收入差距大，基尼系数在0.4的警戒线水平持续波动。

绿色发展方面，各大区域表现各异，且区域间差异在研究期内进一步扩大。2020年东部沿海地区、中部地区和西南地区绿色发展指数分别为95.8、89.6和86.6，非常接近

目标值，而距离目标值最远的西北干旱区绿色发展指数仅为40.3。从变化上看，西南地区和中部地区绿色发展指数增长最快，增幅接近一倍。对于青藏高寒区、西北干旱区而言，劳动力受教育水平较低，经济增长以资源驱动型为主；而华北地区虽然劳动力受教育水平相对较高，但单位GDP的用水量、能源消耗量和用水量远高于其他地区，能源转换效率低，因此这些地区实现可持续发展目标进程较为缓慢。

3.3 可持续发展目标的省级尺度评估

进一步在省级尺度分析四个维度评价得分的空间格局及演变趋势，按照与实现可持续发展目标值的距离远近，以10为区间将各省份综合指数得分划分为近（90~100）、较近（80~90）、较远（70~80）以及远（小于70）共4个等级。如图5所示，2020年四个指数在全国呈现出地域分布规律。其中，生态安全指数大致呈现出由东南向西北逐级递减的阶梯状分布特点，接近目标值的省级单位主要分布在中国东南部地区，广东（99.5）最趋近于实现生态安全目标；相反地，新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等西部省区自然灾害频发、土壤沙化情况严重，生态安全指数仅为70或更低。环境适宜指数大致呈现出“南高北低”的空间分布格局，距离目标较近的广东、海南、贵州、福建等省均来自南方地区，而新疆、山西、河北、辽宁等以石化行业和重工业为主的地区，空气质

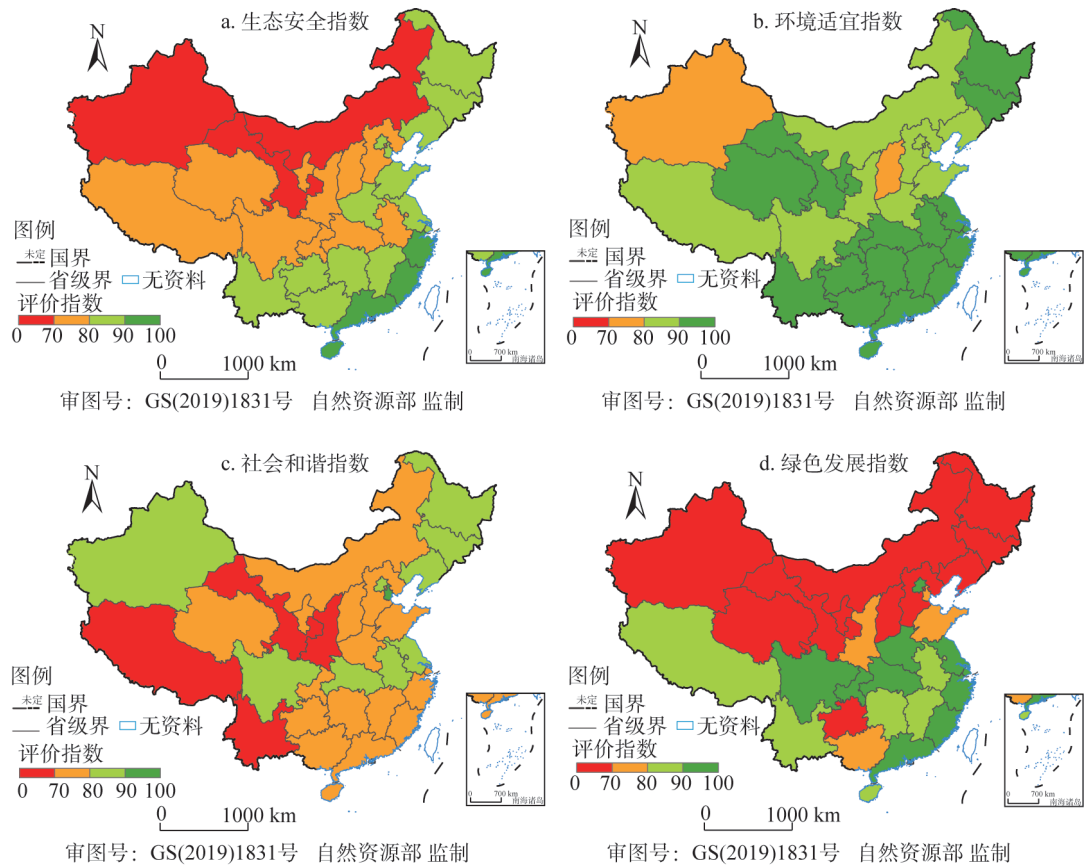


图5 2020年省级单位在各维度的评价结果

Fig. 5 Evaluation results in four dimensions for the provincial units in 2020

量相对较差，同时工业固体废物的利用率也偏低，因此在华北地区形成连片的低水平区。全国距离实现社会和谐目标最近的是天津（91.5），此外，东北三省、北京、天津以及长江沿岸地区的社会和谐指数较高；而对于西藏、云南、甘肃等经济发展水平较差、居民可支配收入以及生活水平较低的地区而言，距离实现社会和谐目标仍然较远。绿色发展方面，同样存在“南高北低”的空间分异特征，除广西和贵州两地外，南方省份的绿色发展指数普遍大于北方省份，北方大部分省级单位的评价结果均低于80，值得一提的是上海、北京已率先实现绿色发展目标。该评估结果与Xu等^[32]总结的“2000年东部SDG指数得分显著高于西部，2015年南方SDG指数得分显著高于华北地区”的时空动态差异特征相吻合。

从变化上看，研究期内大部分省级单位的生态安全、环境适宜指数均上升，而在社会和谐和绿色发展指数方面，部分省级单位的增长幅度较小甚至呈现负增长。将研究期末与期初的指数变化幅度划分为快速提升（>30）、较快提升（20~30）、较慢提升（10~20）、缓慢提升（0~10）以及降低（<0）五个等级（图6）。研究期内生态安全指数平均增长幅度约为20.4，其中增长最快的是广东（31.86），最低的是北京（7.56），省级单位之间增幅差异不大。环境适宜方面，各省级单位的目标实现进程较快，平均增幅达到29.0，其中湖北增幅最大（43.0）。各省级单位的社会和谐指数增长态势较慢，平均增幅仅4.6，而黑龙江、山东、陕西、江苏、上海、江西等6地出现指数下降趋势，主要是受基尼系数不断升高的影响。绿色发展方面，各省级单位平均增幅为26.8，南北差异不断扩大，新疆、青海、京津冀地区的绿色发展指数增长缓慢，其中山西省出现了-0.08的小幅下降，虽然能源利用效率以及受教育水平明显提高，但是节水、绿色、低碳的经济转型发展仍是这些地区面临的首要难题。

3.4 城市尺度评估：以中部地区为例构建传导机制模型

在针对中部地区构建二级指标评价体系的过程中，首先选取人均GDP、城镇化率、产业结构等核心指标作为对一级权威指标的分解和细化；同时充分考虑地区发展基础和现实挑战，如快速城镇化过程中面临的耕地保护压力较大、农村剩余劳动力转移、高等教育发展速度较慢等问题，将单位耕地面积化肥施用量、每万人拥有高等学校在校学生数、失业率等纳入核心指标中（表3）。该表中一级权威指标的权重由熵值法确定，二级核心指标的传导参数即系统动力学模型中的回归方程系数。

由基于系统动力学模型构建的因果回路图（图7）可以看出，一级权威指标与二级核心指标之间并非一对一的层级传递关系，而是存在多对多的复杂反馈机制，充分反映出可持续发展的系统性特征。实现可持续发展目标需要从全局角度出发，结合不同的着力点，在统筹地方合作与多部门联动过程中进行政策组合优化。一方面，一个低层级指标可能会作用于多个高层级指标。以第三产业产值占GDP比例为例，比值越高，表明地区的服务业越发达，产业结构高级化程度越高，经济发展对自然资源的依赖性越弱，不仅会对绿色发展维度的单位GDP碳排放量、单位GDP用水量以及单位GDP能源消耗量存在正向影响，还会加快技术创新，促进工业固体废物利用率的提升，刺激文化消费，提升居民的恩格尔系数，间接对环境适宜指数、社会和谐指数均形成正向的作用。另一方面，一个高层级可持续发展目标可能受多个低层级指标的影响或制约。例如，反映社

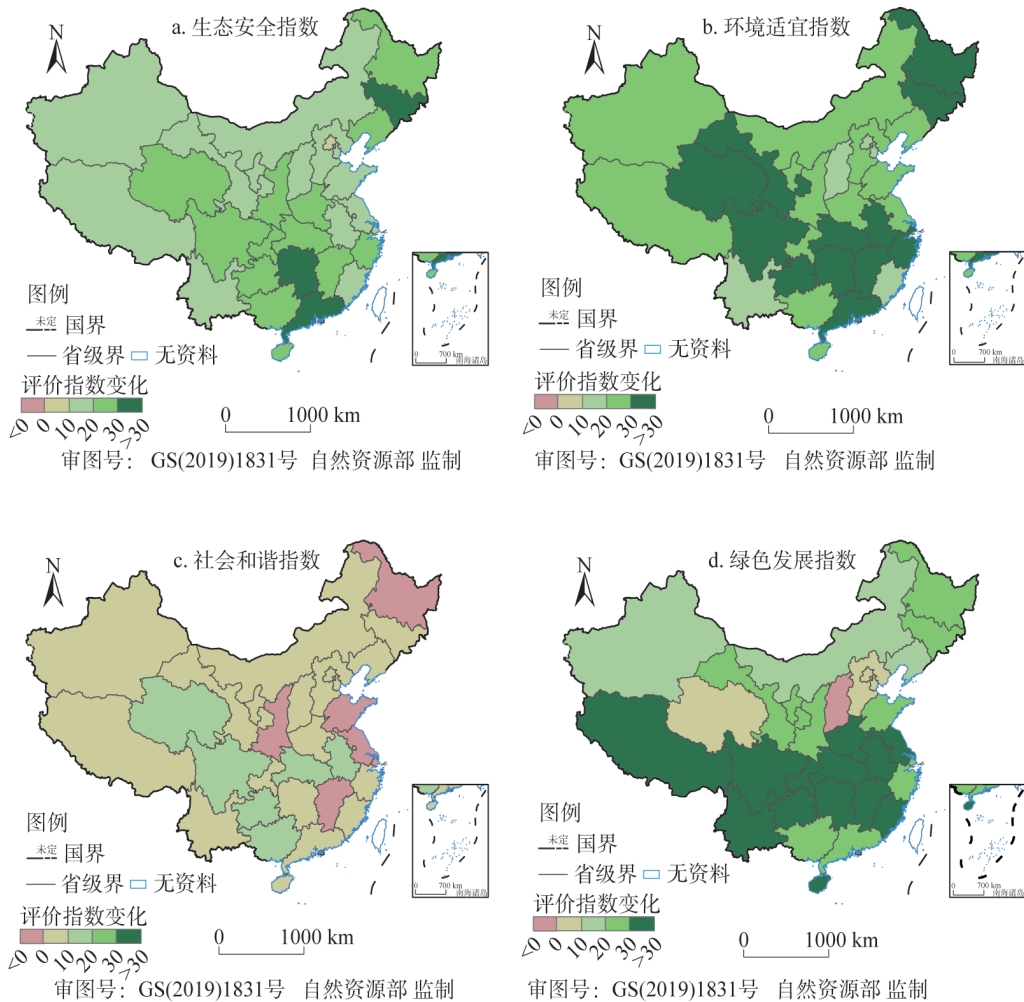


图6 2010—2020年省级单位在各维度的评价结果变化

Fig. 6 Changes of evaluation results in four dimensions for the provincial units between 2010 and 2020

会分配公平的基尼系数受人均GDP、失业率的正向影响,受城镇化率、人均可支配收入的负向影响,这意味着若想降低基尼系数以实现社会财富和收入的公平分配,各地方政府在全面开展经济建设、推动城镇化、提高居民收入水平的同时,还应该充分关注到产业结构升级和农村剩余劳动力转移的发展趋势,积极应对劳动就业市场结构性矛盾,提高居民就业率,提升人力资本水平,鼓励创新创业和实体经济发展。

随着尺度继续细化,评价单元数量增多,一方面,各二级指标之间以及二级指标与一级指标之间的相互作用与影响机制将随着地方差异扩大而愈加复杂;另一方面,县级行政单元基础数据的监测与收集成本将大幅增加,为可持续发展目标实现的地方评价与推进工作带来挑战。因此,通过选取目前已纳入政府统计工作的一般化指标建立适用于多尺度单元的可持续发展目标评价体系,并通过构建系统动力学模型厘清一级指标与二级指标之间的作用关系,不仅可以深入分析单一指标变化对其他维度综合指数以及可持续发展目标实现进程的潜在影响,还可以明晰不同层级指标之间的传递途径。进一步地,

可持续发展评估和监测工作与上级指标体系形成分级约束与逐级传导的关系,推动可持续发展目标层层落实。

监测可持续发展目标实现进展需要根据建设目标 and 需求对评估体系进行动态调整,也需要科学研究与地方实践的相互联动。本文旨在提供一个具有系统性和开放性的可持续发展目标实现进程监测的综合评估框架,以破解当前相关评价方案和实践应用中操作性不强、目标导向不明确、层级传导不清晰等问题。需要指出的是,城市及县级尺度的评价工作需在地方政府和专家学者参与下,结合各省情针对性地构建细化指标体系并设定阶段性目标,未来研究可在市县进一步开展评价与测算工作。尽管如此,本文为在可持续评估过程中如何改变传统的打分排序模式、如何统筹兼顾评估要素综合性和时空动态特征,以及如何实现不同评价尺度的上下级指标体系衔接方面提供了参考,有助于实现可持续发展目标和行动的一致性,全面推动从国家到地方层面落实可持续发展目标。

参考文献(References):

- [1] UNITED NATION. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2014.
- [2] YE D, ZHANG Y F, LI Q L, et al. Assessing the spatiotemporal development of ecological civilization for China's sustainable development. *Sustainability Science*, 2022, 14(14): 8776, Doi: 10.3390/su14148776.
- [3] 谢炳庚, 向云波. 美丽中国建设水平评价指标体系构建与应用. *经济地理*, 2017, 37(4): 15-20. [XIE B G, XIANG Y B. Construction and application of evaluation index system for beautiful China. *Economic Geography*, 2017, 37(4): 15-20.]
- [4] 杨晓华, 张志丹, 李宏涛. 落实2030年可持续发展议程进展综述与思考. *环境与可持续发展*, 2018, 43(1): 30-34. [YANG X H, ZHANG Z D, LI H T. Implementing the 2030 sustainable development goals: Progress and reflections. *Environment and Sustainable Development*, 2018, 43(1): 30-34.]
- [5] 孙新章. 中国建立落实2030年可持续发展议程创新示范区的战略思考. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(4): 1-5. [SUN X Z. Strategic thinking on the establishment of the China's innovation demonstration zone for the implementation of the 2030 agenda for sustainable development. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(4): 1-5.]
- [6] 朱婧, 孙新章, 何正. SDGs框架下中国可持续发展评价指标研究. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(12): 9-18. [ZHU J, SUN X Z, HE Z. Research on China's sustainable development evaluation indicators in the framework of SDGs. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(12): 9-18.]
- [7] 吕永龙, 王一超, 苑晶晶, 等. 关于中国推进实施可持续发展目标的若干思考. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(1): 1-9. [LYU Y L, WANG Y C, YUAN J J, et al. Some thoughts on promoting the implementation of sustainable development goals in China. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(1): 1-9.]
- [8] 邵超峰, 陈思含, 高俊丽, 等. 基于SDGs的中国可持续发展评价指标体系设计. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(4): 1-12. [SHAO C F, CHEN S H, GAO J L, et al. Design of China's sustainable development evaluation index system based on the SDGs. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(4): 1-12.]
- [9] WANG Y C, LU Y L, HE G Z, et al. Spatial variability of sustainable development goals in China: A provincial level evaluation. *Environmental Development*, 2020, 35: 100483, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.100483>.
- [10] LIU Y L, DU J Q, WANG Y F, et al. Evenness is important in assessing progress towards sustainable development goals. *National Science Review*, 2021, 8(8): 238, <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa238>.
- [11] 彭舒, 陈军, 任惠茹, 等. 面向SDGs综合评估的指标本地化方法与实践. *地理信息世界*, 2022, 29(4): 48-55. [PENG S, CHEN J, REN H R, et al. Comprehensive measurement of localized indicator alignment and practice toward SDGs. *Geomatics World*, 2022, 29(4): 48-55.]
- [12] 王红帅, 董战峰. 联合国可持续发展目标的评估与落实研究最新进展: 目标关系的视角. *中国环境管理*, 2020, 12(6): 88-94. [WANG H S, DONG Z F. The updated research progress of evaluation and implementation of sustainable de-

- velopment goals: From the perspective of goal relationship. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2020, 12(6): 88-94.]
- [13] 孙新章, 张新民, 夏成. 对全球可持续发展目标制定中有关问题的思考. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(12): 123-126. [SUN X Z, ZHANG X M, XIA C. An analysis on key issues in developing sustainable development goals. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(12): 123-126.]
- [14] 陈红枫. 构建可持续发展目标导向的省级空间规划体系: 法国城市规划法规启示. *经济研究导刊*, 2017, (3): 192-195. [CHEN H F. Establishment of provincial spatial planning system oriented by sustainable development goals: Enlightenment from urban planning regulations in France. *Economic Research Guide*, 2017, (3): 192-195.]
- [15] 汪涛, 张家明, 刘炳胜. 国家可持续发展议程创新示范区评价指标体系研究. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(12): 17-26. [WANG T, ZHANG J M, LIU B S. Evaluation index system of national innovation demonstration zones for the 2030 agenda for sustainable development. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(12): 17-26.]
- [16] ZHONG J W, LI X. Interlinkages among county-level construction indicators and related sustainable development goals in China. *Land*, 2022, 11(11): 2008, <https://doi.org/10.3390/land11112008>.
- [17] LI G E, CHANG L Y, LIU X J, et al. Monitoring the spatiotemporal dynamics of poor counties in China: Implications for global sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 227: 392-404.
- [18] XU J C, BAI J J, CHEN J. An improved indicator system for evaluating the progress of sustainable development goals (SDGs) sub-target 9.1 in county level. *Sustainability*, 2019, 11(17): 4783, <https://doi.org/10.3390/su11174783>.
- [19] 牛文元. 可持续发展理论的内涵认知: 纪念联合国里约环发大会20周年. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(5): 9-14. [NIU W Y. The theoretical connotation of sustainable development: The 20th anniversary of UN conference on environment and development in Rio de Janeiro, Brazil. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(5): 9-14.]
- [20] 张军泽, 王帅, 赵文武, 等. 可持续发展目标关系研究进展. *生态学报*, 2019, 39(22): 8327-8337. [ZHANG J Z, WANG S, ZHAO W W, et al. Research progress on the interlinkages between the 17 sustainable development goals and their implication for domestic study. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(22): 8327-8337.]
- [21] HUAN Y Z, WANG L Q, BURGMAN M. A multi-perspective composite assessment framework for prioritizing targets of sustainable development goals. *Sustainable Development*, 2022, 30(5): 833-847.
- [22] QIU W, MENG F L, WANG Y T, et al. Assessing spatial and temporal variations in regional sustainability in Mainland China from 2004 to 2014. *Clean Technologies Environmental Policy*, 2018, 20: 1185-1194.
- [23] ALLEN C, METTERNICHT G, WIEDMANN T. Initial progress in implementing the sustainable development goals (SDGs): A review of evidence from countries. *Sustainability Science*, 2018, 13(5): 1453-1467.
- [24] SMITH M S, COOK C, SOKONA Y, et al. Advancing sustainability science for the SDGs. *Sustainability Science*, 2018, 13(6): 1483-1487.
- [25] 熊锦惠, 岳文泽, 陈阳, 等. 面向SDGs的城市扩张多情景模拟: 以“一带一路”中亚区为例. *自然资源学报*, 2021, 36(4): 841-853. [XIONG J H, YUE W Z, CHEN Y, et al. Multi-scenario urban expansion simulation for SDGs: Taking the Central Asian Region along the Belt and Road as an example. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(4): 841-853.]
- [26] ZHU J, SUN X Z, HE Z. Are SDGs suitable for China's sustainable development assessment? An application and amendment of the SDGs indicators in China. *Chinese Journal of Population Resources*, 2019, 17(1): 25-38.
- [27] ALLEN C, NEJDAMI R, EI-BABA J, et al. Indicator-based assessments of progress towards the sustainable development goals (SDGs): A case study from the Arab Region. *Sustainability Science*, 2017, 12(6): 975-989.
- [28] 鲜祖德, 王全众, 成金璟. 联合国可持续发展目标(SDG)统计监测的进展与思考. *统计研究*, 2020, 37(5): 3-13. [XIAN Z D, WANG Q Z, CHENG J J. Progress and insight on monitoring of the UN sustainable development goal indicators. *Statistical Research*, 2020, 37(5): 3-13.]
- [29] 邵庆龙, 李默, 康鹏, 等. 可持续发展评估的新方法: “甜甜圈”理论的中国案例分析. *自然资源学报*, 2022, 37(2): 334-347. [SHAO Q L, LI M, KANG P, et al. New approach of sustainability evaluation: A Chinese case study of the "Doughnut Theory". *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(2): 334-347.]
- [30] 方创琳, 王振波, 刘海猛. 美丽中国建设的理论基础与评估方案探索. *地理学报*, 2019, 74(4): 619-632. [FANG C L, WANG Z B, LIU H M. Exploration on the theoretical basis and evaluation plan of Beautiful China construction. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 619-632.]

- [31] 高峰, 赵雪雁, 宋晓谕, 等. 面向SDGs的美丽中国内涵与评价指标体系. 地球科学进展, 2019, 34(3): 295-305. [GAO F, ZHAO X Y, SONG X Y, et al. Connotation and evaluation index system of Beautiful China for SDGs. *Advances in Earth Science*, 2019, 34(3): 295-305.]
- [32] XU Z C, CHAU S N, CHEN X Z, et al. Assessing progress towards sustainable development over space and time. *Nature*, 2020, 577(7788): 74-78.
- [33] 厉红梅, 李适宇, 罗琳, 等. 可持续发展多目标综合评价方法的研究. 中国环境科学, 2004, 24(3): 112-116. [LI H M, LI S Y, LUO L, et al. Studies on multi-objective comprehensive evaluation method of sustainable development. *China Environmental Science*, 2004, 24(3): 112-116.]
- [34] 傅伯杰. 联合国可持续发展目标与地理科学的历史任务. 科技导报, 2020, 38(13): 19-24. [FO B J. UN sustainable development goals and historical mission of geography. *Science & Technology Review*, 2020, 38(13): 19-24.]
- [35] NILSSON, M, GRIGGS D, VISBECK M. Policy: Map the interactions between sustainable development goals. *Nature*, 2016, 534(7607): 320-322.
- [36] 吴鸣然, 赵敏. 中国不同区域可持续发展能力评价及空间分异. 上海经济研究, 2016, (10): 84-92. [WU M R, ZHAO M. Research on Chinese different regional sustainable development capacity and its spatial differentiation. *Shanghai Journal of Economics*, 2016, (10): 84-92.]
- [37] 许闯胜, 刘伟, 宋伟, 等. 差异化开展国土空间生态修复的思考. 自然资源学报, 2021, 36(2): 384-394. [XU C S, LIU W, SONG W, et al. Thoughts on differentially carrying out land ecological restoration. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(2): 384-394.]
- [38] 郭华东, 梁栋, 陈方, 等. 地球大数据促进联合国可持续发展目标实现. 中国科学院院刊, 2021, 36(8): 874-884. [GUO H D, LIANG D, CHEN F, et al. Big earth data facilitates sustainable development goals. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(8): 874-884.]
- [39] SIKDAR S K, SENGUPTA D, AND MUKHERJEE R. Measuring progress towards sustainability. Springer International Publishing, 2017, 10: 978-3, 280, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42719-5>.
- [40] ZHANG S, YANG Y F, WEN Z H, et al. Sustainable development trial undertaking: Experience from China's innovation demonstration zones. *Journal of Environmental Management*, 2022, 318: 115370, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115370>.
- [41] YAN Y, WANG C X, QUAN Y, et al. Urban sustainable development efficiency towards the balance between nature and human well-being: Connotation, measurement, and assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 178: 67-75.
- [42] MOALLEMI E A, BERTONE E, EKER S, et al. A review of systems modelling for local sustainability. *Environmental Research Letters*, 2021, 16(11): 113004, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac2f62>.
- [43] 王鹏龙, 高峰, 黄春林, 等. 面向SDGs的城市可持续发展评价指标体系进展研究. 遥感技术与应用, 2018, 33(5): 784-792. [WANG P L, GAO F, HUANG C L, et al. Progress on sustainable city assessment index system for SDGs. *Remote Sensing Technology and Application*, 2018, 33(5): 784-792.]
- [44] TAN Y T, JIAO L D, SHUAI C Y, et al. A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199: 1107-1115.
- [45] YANG Z S, YANG H, AND WANG H, Evaluating urban sustainability under different development pathways: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 61: 102226, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102226>.
- [46] ESPINOZA A, BAUTISTA S, NARVAEZ P C, et al. Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 141: 1145-1163.
- [47] FANG C L, FAN Y P, BAO C, et al. China's improving total environmental quality and environment-economy coordination since 2000: Progress towards sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 387: 135915, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135915>.

Multi-scale spatial deconstruction and evaluation of Sustainable Development Goals

YANG Zhen-shan^{1,2}, YANG Hang^{1,2}, YANG Lin-sheng^{1,2}, GE Quan-sheng^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Assessment and monitoring are an essential part of promoting the achievement of the sustainable development. Currently, theoretical research and localized program around the Sustainable Development Goals (SDGs) have been in full swing, but the relevant assessment and practice process is still lacking in the consideration of target constraints and hierarchical transmission. To this end, the study establishes a sustainable development assessment oriented towards the SDGs and concerned on the systematicity and openness, which can be deconstructed and applied in multiscale spatial units. The results show that, at the national and regional levels, the gap between SDGs and the current level in 2020 regarding to the dimensions of safe ecology, pleasant environment and green development is rapidly narrowing. On the contrary, there is still a large gap on the dimension of harmony society, though the index experiences a steady growth, which can be interpreted as the uneven income distribution and large urban-rural differences. It is crucial to identify the priorities of different regions and the synergies and trade-off between indicators in different scaled objectives to promote the implementation of the SDGs. The proposed assessment program supports the diagnosis of regional problems of sustainable development and the understanding of interrelationships between different regions and goals. It also facilitates the active participation of different levels and actors in the cause of sustainable development within an open framework, and helps to systematically assess and monitor the process of realizing SDGs.

Keywords: Sustainable Development Goals; evaluation system; multiscale; target decomposition