

基于弱 HSDI 与强 HSDI 的区域可持续性评价 ——以中国环渤海地区为例

杨 洋¹, 梅 洁¹, 何春阳^{2,3}, 黄 聪¹

(1. 中国海洋大学国际事务与公共管理学院, 青岛 266100; 2. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室人与环境系统可持续研究中心, 北京 100875; 3. 北京师范大学地理科学学部自然资源学院土地资源与区域发展研究中心, 北京 100875)

摘要: 可持续性评价是可持续性科学研究的重要内容。在 HDI 和 HSDI 的基础上, 构建对环境重视程度不同的弱 HSDI 与强 HSDI 评价指数, 以中国环渤海地区为例, 揭示区域 2000-2015 年可持续性基本状态与变化过程。结果表明: 从基本状态来看, 环渤海地区各市可持续性水平等级结构失衡, 弱 HSDI 与强 HSDI 水平均呈两头小、中间大的纺锤形等级结构, 但弱 HSDI 的等级结构失衡比强 HSDI 更严重, 且弱、强 HSDI 空间格局差异较大; 从变化过程来看, 环渤海地区各市可持续发展步调不一致, 弱 HSDI 与强 HSDI 均以显著增长趋势为主, 但弱 HSDI 主要呈中高速增长, 强 HSDI 主要呈中低速增长。结合评价结果, 划分可持续性状态与过程矩阵, 提出具有针对性的多元化策略, 可为促进区域可持续发展提供决策参考。

关键词: 可持续性; 弱 HSDI; 强 HSDI; 基本状态; 变化过程; 策略矩阵

工业革命以来, 伴随着世界经济和社会的发展, 环境污染与生态破坏问题日益严重, 可持续发展已逐渐成为国际共识。2002 年 9 月, 联合国可持续发展地球峰会发布的《约翰内斯堡可持续发展宣言》阐述了可持续发展的“三支柱”(three pillars)或“三重底线”(triple bottom line)概念, 即可持续发展要同时考虑环境保护、经济发展和社会平等三个方面。2015 年 9 月, 联合国可持续发展峰会正式通过了 17 个可持续发展目标, 旨在从 2015-2030 年间以综合方式彻底解决环境、经济和社会三个维度的发展问题, 促进人类可持续发展的新议程。对可持续性强弱程度尤其是对环境保护重要程度的判断决定着对可持续发展水平的判断, 可持续性评价已成为可持续性科学研究的一个热点问题^[1-5]。

目前, 用于评价可持续性状态或过程的常用方法主要包括可持续性指标体系评价法和可持续性指数评价法两大类。其中, 指标体系评价法如联合国可持续发展委员会指标体系^[6]、中国科学院可持续发展指标体系^[7]等; 指数评价法如绿色 GDP^[8]、生态足迹 (Ecological Footprint, EF)^[9]、真实进步指数 (Genuine Progress Index, GPI)^[10]、人类发展指数 (Human Development Index, HDI)^[11]、人类可持续发展指数 (Human Sustainable Development Index, HSDI)^[12]等。相比之下, 指标体系往往相对复杂, 数据获取难

收稿日期: 2018-09-30; 修订日期: 2019-03-15

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (18YJC790200); 山东省自然科学基金项目 (ZR2019QD011); 山东省社会科学规划研究项目 (19DJJJ15); 中央高校基本科研业务费专项 (201861049)

作者简介: 杨洋 (1984-), 女, 湖北黄冈人, 博士, 副教授, 研究方向为区域可持续发展、城市化及其环境效应。
E-mail: yang_ouc@163.com

通讯作者: 何春阳 (1975-), 男, 四川射洪人, 博士, 教授, 研究方向为综合自然地理学、土地利用/覆盖变化与景观可持续性。E-mail: hcy@bnu.edu.cn

度较大,在不同地区、不同尺度上推广应用具有一定的局限性;而指数法相对简单易行,可操作性强,能够快速、便捷地提供可持续性评价结果^[13]。但需要注意的是,较早时期提出的一些可持续性评价指数由于未能同时从环境、经济和社会三个维度出发进行综合考虑,使得评价结果存在一定的片面性。

联合国开发计划署于1990年创立人类发展指数(HDI),以预期寿命、教育发展和收入水平为基础变量来评价人类发展水平,并连续20余年发布《人类发展报告》,在指导发展中国家制定相应发展战略方面发挥了极其重要的作用。考虑到该指数并未涉及环境因素,Togtokh^[12]在HDI的基础上加入了环境因素,提出了人类可持续发展指数(HSDI);田辉等^[14]国内学者也通过导入环境指标,在HDI的基础上提出了植入环境敏感性因素的人类可持续发展指数(HSDI)的概念;李经纬等^[15]基于HSDI对中国大陆1990-2010年人类—环境系统可持续性进行了评价。目前,HSDI已被国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)用于国家尺度上的可持续性评价研究。然而,Bravo^[16]在对全球各国2012年HSDI进行计算分析的基础上指出,现有的HSDI与HDI的评价结果相关性过高,在真实反映环境可持续性上仍然存在明显不足。为进一步突出环境因素在可持续发展中的重要性,Bravo^[17]探讨了在国家尺度上测度weak HSDI(弱HSDI)和strong HSDI(强HSDI)的初步思路,但该研究忽略了国家内部的区域差异,对中国可持续发展具体实践的指导意义比较有限。

鉴于此,本文在HDI和HSDI的基础上,构建对环境绩效具有不同重视程度的弱HSDI与强HSDI评价指标的概念模型,提出在中国地级尺度上对指数进行测算的可操作方法;进而以环渤海地区为例开展实证研究,基于弱HSDI与强HSDI揭示区域2000-2015年可持续状态和过程,探讨具有针对性的区域可持续发展多元化策略。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

选择环渤海地区作为案例区展开研究,范围主要包括北京、天津、河北、辽宁和山东5个省(直辖市)。该区域是中国继珠江三角洲和长江三角洲之后的第三大增长极,是全国重要的政治、经济、文化中心。但进入21世纪以来,随着经济的快速发展与人口的不断增长,其环境风险不断凸显,大气环境污染严重,水污染问题突出。环渤海地区PM_{2.5}年均值在72 μg/m³以上,是中国环境污染最严重的地区之一^[18];2012年,该区域接纳水污染物排放量6.35×10⁶ t,且排放强度一直高于全国平均水平并呈现快速上升态势^[19]。可见,环渤海地区生态环境面临巨大的压力,环境保护、经济发展和社会进步之间的矛盾十分突出,在该区域开展可持续性评价研究极具必要性和代表性。

1.2 数据来源

以研究区内44个地级及以上城市为研究对象,使用的数据为2000-2015逐年数据。主要包括来源于《中国城市统计年鉴》中的各城市人均GDP数据、年末总人口数、小学、普通中学和普通高等学校在校学生人口数、工业废气排放量、工业废水排放量、工业烟尘排放量以及耗电量数据;来源于《中国统计年鉴》的各省文盲人口占15岁及以上人口比例;来源于《中国人口与就业统计年鉴》的城市分年龄人口数占总人口的比例

(主要包括6~22岁年龄段人口比例);来源于经济合作与发展组织(OECD)公布的购买力平价汇率;来源于第五次和第六次《中国人口普查资料》的各省平均预期寿命。其中,各地级市平均预期寿命、文盲人口占15岁及以上人口比例数据缺失,用省级数据替代;对于部分年份存在数据缺失的情况,分别利用其他年份数据构建一元线性回归方程对缺失值进行插补。

1.3 研究方法

1.3.1 弱HSDI和强HSDI指数

HDI综合考虑了预期寿命、教育发展和收入水平三个因素(图1a),HSDI则是在HDI的基础上加入了环境因素^[12]。同时,在对可持续发展理论的内涵理解上,学术界一直存在着“弱可持续性”与“强可持续性”的不同解读,这两种观点的分歧主要在于如何看待环境的重要性。因此,在HDI和HSDI的基础上,本文为区分对于环境因素重要程度的不同判断,在弱HSDI中,将环境因素视为与预期寿命、教育发展和收入水平三个因素同等重要(图1b);在强HSDI中,将环境因素视为与HDI同等重要(图1c)。

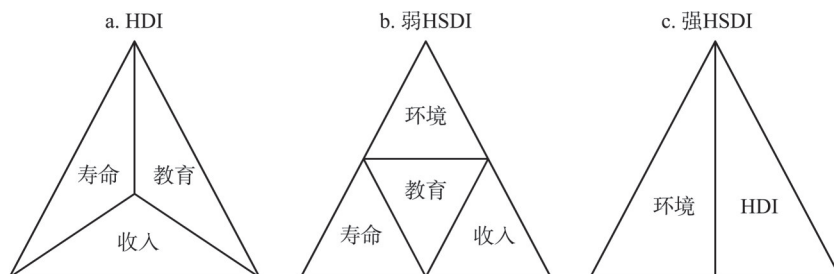


图1 弱HSDI和强HSDI概念模型

Fig. 1 Conceptual model of weak HSDI and strong HSDI

具体而言,弱HSDI指数(weak Human Sustainable Development Index, $HSDI_w$)和强HSDI指数(strong Human Sustainable Development Index, $HSDI_s$)的计算公式如下:

$$HSDI_w = \sqrt[4]{I_{environment} \times I_{life} \times I_{education} \times I_{income}} \quad (1)$$

$$HSDI_s = \sqrt[2]{I_{environment} \times HDI} \quad (2)$$

式中: $I_{environment}$ 代表环境绩效指数; I_{life} 代表平均预期寿命指数; $I_{education}$ 代表教育发展指数; I_{income} 代表收入水平指数; HDI 代表人类发展指数,其计算公式如下:

$$HDI = (I_{life} + I_{education} + I_{income}) / 3 \quad (3)$$

参考田辉等^[14]的相关研究,从排放和能耗两方面出发,选择人均工业废水排放量、人均工业废气排放量、人均工业烟尘排放量、人均耗电量等四个指标构建环境绩效指数 $I_{environment}$ 。具体而言,其计算公式如下:

$$I_{environment} = \left(1 - \left(PI_{water} + PI_{gas} + PI_{fumes} + PI_{electricity} \right) / 4 \right) \times 100 \quad (4)$$

式中: PI_{water} 、 PI_{gas} 、 PI_{fumes} 和 $PI_{electricity}$ 分别代表由工业废水排放、工业废气排放、工业烟尘排放和电力消耗带来的环境资源损耗,采用Min-max标准化方法对数据进行标准化处理:

$$\begin{cases} PI_{water} = \overline{PI}_{water}/90 \\ PI_{gas} = \overline{PI}_{gas}/900 \\ PI_{fumes} = \overline{PI}_{fumes}/700 \\ PI_{electricity} = \overline{PI}_{electricity}/10000 \end{cases} \quad (5)$$

式中: \overline{PI}_{water} 、 \overline{PI}_{gas} 、 \overline{PI}_{fumes} 和 $\overline{PI}_{electricity}$ 分别代表人均工业废水排放量、人均工业废气排放量、人均工业烟尘排放量和人均耗电量, 四个指标的最大值依次为 90 t/人、900 万立方米/人、700 t/万人、10000 kW·h/人, 最小值均为 0^[14]。

参考李经纬等^[15]的研究和联合国开发计划署发布的《中国人类发展报告》^[20], 平均预期寿命指数 (I_{life})、教育发展指数 ($I_{education}$)、收入水平指数 (I_{income}) 的计算公式如下:

$$\begin{cases} I_{life} = (ELB - 25)/(85 - 25) \times 100 \\ I_{education} = (2/3 \times AL + 1/3 \times ER) \times 100 \\ I_{income} = (\ln GDP_{PPP} - \ln 100)/(\ln 40000 - \ln 100) \times 100 \end{cases} \quad (6)$$

式中: ELB 为地区平均预期寿命 (年); AL 是各地级市成人识字率 (%), 即为各地区 15 岁及以上人口中非文盲人口的比例; ER 为各级教育的综合毛入学率, 即为各级教育在校学生总人数占各个地级市适龄入学人口总数的比例; GDP_{PPP} 为通过“购买力平价”(Purchasing Power Parity, PPP) 方法调整后的“真实人均 GDP”。采用 Min-max 标准化方法对数据进行标准化处理, 人口预期寿命最大值与最小值分别取 85 (岁) 和 25 (岁), 成人识字率和综合毛入学率的最大值与最小值均取 100 (%) 和 0 (%), 购买力平价美元 GDP_{PPP} 的最大值和最小值为 40000 美元和 100 美元^[15,20]。具体的, ELB 数据可从统计数据中获取, AL 、 ER 和 GDP_{PPP} 的计算公式分别如下:

$$\begin{cases} AL = 1 - IP \\ ER = (P_{primary} + P_{high} + P_{higher})/Pop_{6-22year} \\ GDP_{PPP} = GDP/r \end{cases} \quad (7)$$

式中: IP 为各地区文盲人口占 15 岁及以上人口的比例; $P_{primary}$ 代表各城市小学在校学生人数; P_{high} 代表各城市普通中学在校学生人数; P_{higher} 则表示普通高等学校在校学生人数; $Pop_{6-22year}$ 为各地区 6~22 岁年龄段的学龄人口数; GDP 表示人均 GDP 统计数据; r 为人民币购买力平价汇率。

1.3.2 区域可持续性基本状态评价

基于图 2, 计算得出 2000-2015 年 $HSDI_w$ 和 $HSDI_s$ 的平均值。为便于直观判断和理解, 采用标准差分级法, 根据环渤海地区各地级市 2000-2015 年弱 HSDI 和强 HSDI 平均值的统计特征, 将环渤海地区的 HSDI 水平分为低等、中等和高等 3 个级别 (表 1)。由此, 得到区域可持续性基本状态评价结果如图 3。

1.3.3 区域可持续性变化过程评价

在图 2 的基础上, 首先, 识别 2000-2015 年弱 HSDI 与强 HSDI 变化趋势的显著性。当 R 通过 0.1 水平的显著性检验时, 一般认为两要素相关, 据此, 认为 $|R| \geq 0.43$ 的区域 HSDI 具有显著变化趋势, $|R| < 0.43$ 的区域 HSDI 变化趋势不显著。

其次, 对于 HSDI 呈显著变化的城市, 通过进一步计算该市 2000-2015 年 HSDI 变化的斜率 $SLOPE$ 来判断其变化趋势类型。 $SLOPE < 0$ 表示 HSDI 呈显著下降趋势, $SLOPE >$

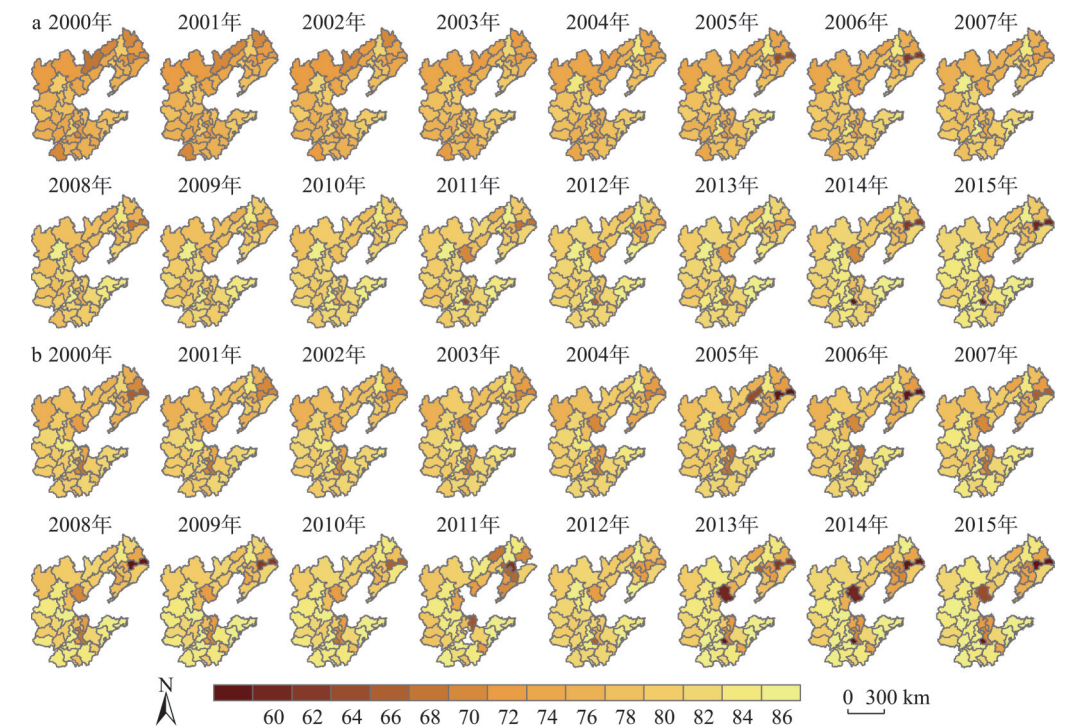


图2 环渤海地区2000-2015年弱HSDI与强HSDI水平: a. $HSDI_w$; b. $HSDI_s$

Fig. 2 The level of weak HSDI and strong HSDI in the Bohai Rim region from 2000 to 2015: a. $HSDI_w$; b. $HSDI_s$

0表示HSDI呈显著增长趋势。对于呈增长趋势的区域,参考杨洋等^[21]的研究,采用标准差分级法,根据其SLOPE均值和标准差,进一步划分为低速增长、中速增长和高速增长3种类型进行分析(表2)。由此,得到区域可持续性变化过程评价结果如图4。

2 结果分析

2.1 基于弱HSDI与强HSDI的区域可持续状态评价

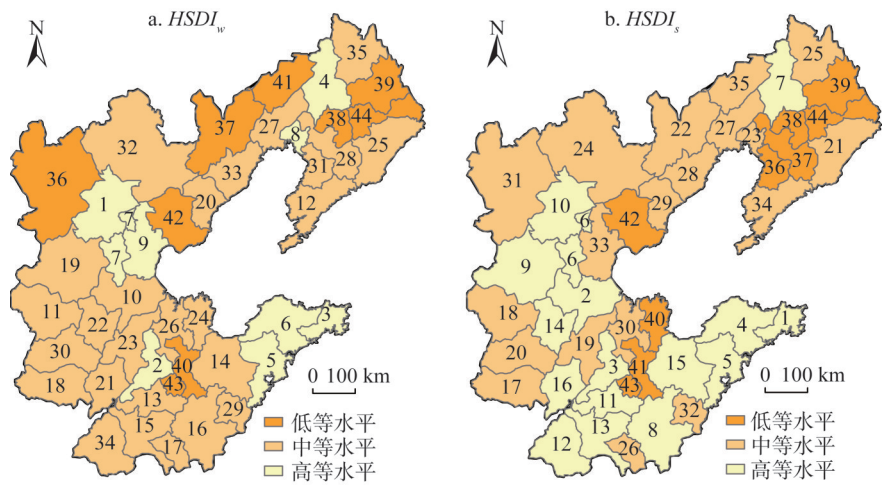
环渤海地区2000-2015年各市可持续性水平以中等水平为主,呈两头小、中间大的纺锤形失衡性等级结构,其中,弱HSDI的等级结构失衡性比强HSDI更为严重(图3)。具体而言,从弱HSDI来看,环渤海地区可持续状态呈高、中、低等水平的城市数量分别占城市总量的20.45%、59.09%和20.45%;从强HSDI来看,可持续状态呈高、中、低等水平的城市数量分别占城市总量的36.36%、43.18%和20.45%。

环渤海地区可持续性呈高等水平的城市,如北京、沈阳、济南、青岛等,往往经济、社会和环境可持续性水平均较高。这些城市通常具有较高的经济发展和物质生活水平,教育条件和医疗条件相对较好,工业污染治理力度较大,高新技术和低能耗产业发展良好。而强HSDI呈高等水平、弱HSDI呈中等水平的城市,如沧州、泰安等,往往在环境可持续性上有着较好的表现,但在社会、经济可持续性方面尚需进一步提高。

表1 环渤海地区可持续性状态划分标准

Table 1 Classification of the sustainability state in the Bohai Rim region			
状态等级	低等水平	中等水平	高等水平
划分标准	$< \bar{x} - 0.5 s$	$\bar{x} - 0.5 s \sim \bar{x} + 0.5 s$	$> \bar{x} + 0.5 s$
HSDI值	< 77.54	$77.54 \sim 82.12$	> 82.12

注: \bar{x} 为环渤海地区各地级市2000-2015年 $HSDI_w$ 和 $HSDI_s$ 平均水平的均值, s 为其标准差。



注：图中序号为各市弱HSDI历年平均水平与强HSDI历年平均水平由大到小的排序位次。

图3 基于弱HSDI与强HSDI的环渤海地区可持续状态

Fig. 3 The sustainable state based on weak HSDI and strong HSDI in the Bohai Rim region

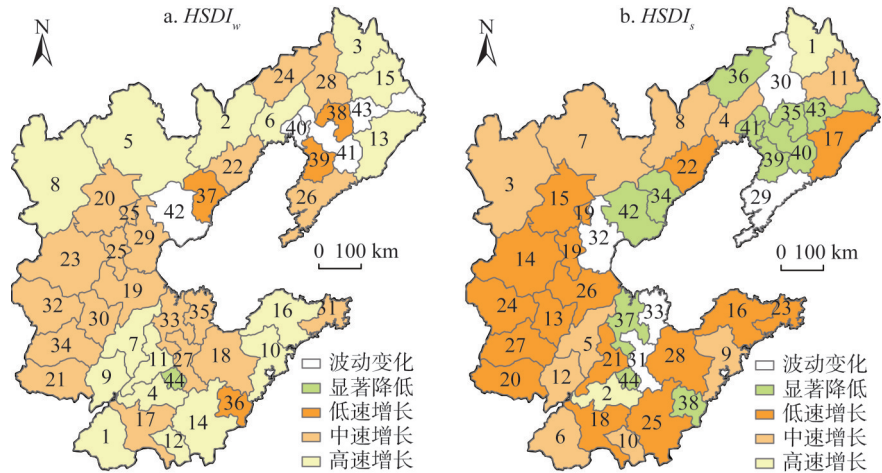
环渤海地区可持续性呈低等水平的城市，如唐山、淄博等，往往多为工业型城市。这些城市通常以第二产业为主，在大力发展采煤、采矿等采掘业以促进当地经济迅速发展的同时，对当地的生态环境破坏严重，导致可持续性水平低下。但二者存在差异的区域，一是弱HSDI呈低等水平、强HSDI呈中等水平的城市，如张家口、朝阳和阜新，相对落后的经济发展水平是这类城市弱HSDI水平低下的主要原因；二是强HSDI呈低等水平、弱HSDI呈中等水平的

表2 环渤海地区可持续性增长趋势划分标准

Table 2 Classification of the sustainability growth trends in the Bohai Rim region

趋势类型	低速增长	中速增长	高速增长
划分标准	$< \bar{x} - 0.5s$	$\bar{x} - 0.5s \sim \bar{x} + 0.5s$	$> \bar{x} + 0.5s$
SLOPE	< 0.29	$0.29 \sim 0.51$	> 0.51

注： \bar{x} 为SLOPE平均值， s 为其标准差。



注：图中序号为各市弱HSDI与强HSDI变化斜率由大到小的排序位次。

图4 基于弱HSDI与强HSDI的环渤海地区可持续过程

Fig. 4 The sustainable process based on weak HSDI and strong HSDI in the Bohai Rim region

城市,如东营、鞍山和营口,环境保护成效欠佳是这类城市强HSDI水平低下的主要原因。

2.2 基于弱HSDI与强HSDI的区域可持续过程评价

环渤海地区可持续性水平以显著增长趋势为主,其中,弱HSDI主要呈中高速增长,强HSDI主要呈中低速增长(图4)。具体而言,弱HSDI呈波动变化、显著降低以及低、中、高速增长的城市数量分别占城市总量的9.09%、2.27%、9.09%、43.18%和36.36%;强HSDI呈波动变化、显著降低以及低、中、高速增长的城市数量分别占城市总量的11.36%、25.00%、36.36%、22.73%和4.55%。

环渤海地区弱HSDI与强HSDI显著增长区域的重合率高达71.79%,但在增长类型上存在着明显的空间错位,弱HSDI增长速度总体上快于强HSDI。主要原因在于区域环境可持续性的增长速度明显滞后于社会经济可持续性的增长速度,因而对环境因素重视程度存在差异的弱HSDI与强HSDI增速差异显著。同时,弱HSDI呈显著增长趋势的覆盖范围比强HSDI更大,这一现象在河北省内尤其突出,说明上述地区环境保护形势仍较为严峻。

环渤海地区弱HSDI与强HSDI显著降低区域的重合率仅为9.09%,后者的空间覆盖范围明显大于前者。具体而言,弱HSDI和强HSDI均呈显著降低的城市,仅有莱芜一个城市,主要是由于其经济、社会、环境基础普遍较差,发展速度缓慢,且有不增反退的趋势,导致可持续性水平显著降低。而强HSDI处于显著降低但弱HSDI呈显著增长或波动变化的城市,如阜新、东营等城市多为工业型城市,以第二产业为主,虽在社会经济水平上有所发展,但由于环境污染问题日益严重,严重制约了强HSDI水平的提升。

3 结论与讨论

3.1 结论

环渤海地区2000-2015年各市可持续性以中等水平为主,弱HSDI与强HSDI水平均呈两头小、中间大的纺锤形失衡性等级结构,弱HSDI与强HSDI呈中等水平的城市数量分别占到了城市总量的59.09%和43.18%。可持续性呈高等水平的城市,如北京、沈阳、济南、青岛等,往往在经济、社会和环境方面都处于较高的可持续性水平;可持续性呈低等水平的城市,如唐山、淄博、抚顺、本溪等,往往多为工业型城市。弱HSDI与强HSDI空间分布格局差异较大,弱HSDI低等水平区域主要分布于环渤海地区北部,强HSDI低等水平区域主要分布于辽宁省内陆城市和山东省淄博、莱芜一带。

环渤海地区2000-2015年各市可持续性以显著增长趋势为主,但弱HSDI主要呈中高速增长,强HSDI主要呈中低速增长。弱HSDI与强HSDI显著增长区域的重合率高达71.79%,但在增长速度上存在着明显的空间错位,这一现象在环境保护形势严峻的河北省内尤为突出。弱HSDI与强HSDI显著降低区域的重合率仅为9.09%,前者的空间覆盖范围明显大于后者,弱HSDI呈显著降低趋势的仅有莱芜市,而强HSDI呈显著降低的区域则主要分布在辽宁省中部和山东省中部。

环渤海地区发展不平衡不充分的问题十分突出,各市可持续性水平参差不齐,可持续发展步调不一,且环境可持续发展总体上滞后于社会经济的可持续发展。因此,为促进环渤海地区可持续发展,一方面,应遵循分类调控的思路,基于各市可持续发展状态

与过程，采取具有针对性的多元化可持续发展策略和措施；另一方面，应强化区域环境保护与治理相关的政策、法规和规划，从源头、过程和结果上进行全方位环境管控，提升环境保护与社会经济的协调发展水平。

3.2 讨论

为探讨具有针对性的区域可持续发展策略与路径，首先，从弱 HSDI 基本状态与强 HSDI 基本状态两个维度出发，分别以弱 HSDI 和强 HSDI 的均值为界，将环渤海地区各市分别归入可持续发展状态方阵 I、II、III、IV（图 5a、图 5c）。具体而言：

（1）位于方阵 I 的城市普遍发展基础较好，环境治理力度与相应投入较大，可采取“激励型”可持续发展策略，激励高新技术产业培育，加快新旧动能转换，普惠民生福祉，建设绿水青山；

（2）位于方阵 II 的城市经济、社会发展仍具有较大潜力，且环境基础相对较好，可采取“推动型”可持续发展策略，保持其环境资源的优势地位，激发和增强其发展活力，推动其社会经济的全面进步；

（3）位于方阵 III 的城市，尽管经济发展、社会公平状况相对较好，但其受环境可持续性的制约作用十分显著，需采取“管制型”可持续发展策略，实行最严格的生态环境保护制度，加大环境治理力度，推进绿色发展、循环发展；

（4）位于方阵 IV 的城市多以工业发展为主，环境污染状况较为严重，且社会经济发展较为落后，需采取“扶持型”可持续发展策略，制定更多优惠扶持政策推动经济增长与社会发展，着力解决突出环境问题，防治结合。

其次，从弱 HSDI 变化趋势与强 HSDI 变化趋势两个维度出发，分别以弱 HSDI 和强 HSDI 的斜率 0 值为界，将环渤海地区各市分别归入可持续发展过程方阵 1、3、4（图 5b、图 5d）。具体而言：

（1）位于方阵 1 的城市经济发展平稳、社会和谐稳定，环境治理取得了一定成效，

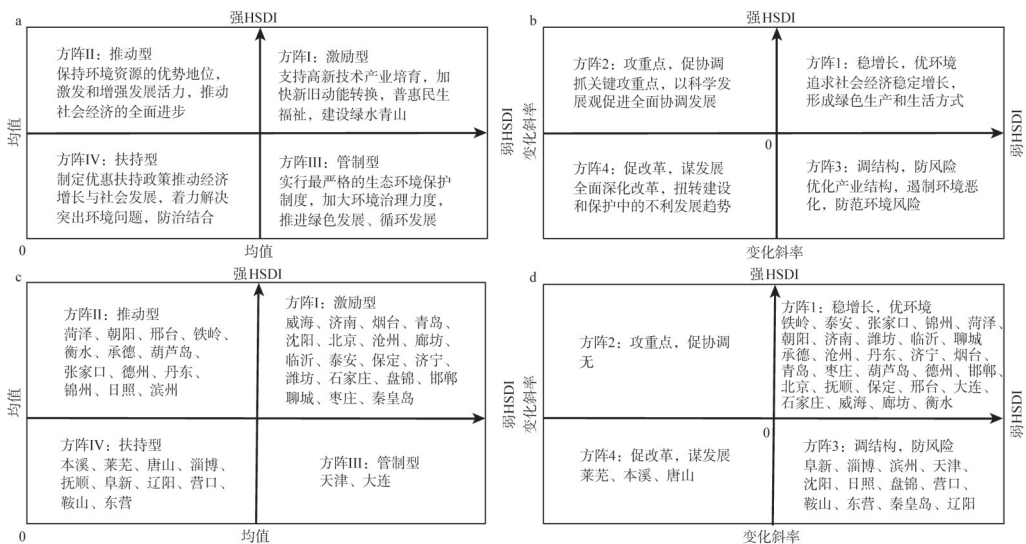


图5 基于强HSDI和弱HSDI的可持续发展策略矩阵和归类

Fig. 5 Policy matrix and classification of sustainable development based on $HSDI_s$ and $HSDI_w$

亟需“稳增长,优环境”,在追求社会经济稳定增长的基础上,进一步减少环境污染与资源消耗,形成绿色生产和绿色生活方式,保持其良好的增长势头;

(2) 位于方阵3的城市在协调经济发展、社会公平与环境保护之间的关系上有待改进,亟需“调结构、防风险”,优化三次产业结构,统筹解决好保增长与调结构问题,遏制现有环境问题恶化,防范潜在生态环境风险;

(3) 位于方阵4的城市在经济社会发展和环境保护上均呈现出不利发展趋势,严重制约了当地的可持续发展,亟需“促改革,谋发展”,全面深化改革,发挥经济体制改革牵引作用,建立健全社会保障制度和生态文明制度,及时采取有效措施应对弱HSDI与强HSDI水平全面降低的严重危机。

针对HDI未涉及环境因素、HSDI虽加入了环境因素但与HDI评价结果相关性过高的缺陷,本文构建了聚合环境绩效、预期寿命、教育发展和收入水平等相同指标但对环境因素重视程度存在差异的一对指数,即弱HSDI和强HSDI指数。这对指数不仅综合考虑了可持续发展的“三支柱”(或“三重底线”),还能直观反映对于环境因素重要程度判断差异导致的可持续性评价结果差异,可比性强,操作简单易行,适用于多个空间尺度上的中国可持续性评价研究,具有良好的推广应用价值。

当然,在弱HSDI与强HSDI指数构建过程中,本文在环境绩效方面的指标选取上还有待进一步改进。如何在同时保证指标的代表性和可获性的基础上,综合运用统计、遥感、观测等数据资料手段,选择合适的环境指标来更加全面科学地表征环境可持续性未来需要突破的关键问题。

参考文献(References):

- [1] KATES R W. What kind of a science is sustainability science?. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(49): 19449-19450.
- [2] WU J G. Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6): 999-1023.
- [3] 郭建国, 郭晓川, 杨斌, 等. 什么是可持续性科学?. *应用生态学报*, 2014, 25(1): 1-11. [WU J G, GUO X C, YANG Y, et al. What is sustainability science?. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(1): 1-11.]
- [4] 诸大建. 可持续性科学: 基于对象—过程—主体的分析模型. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 1-9. [ZHU D J. Sustainability science: An object-process-subject analytical framework. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(7): 1-9.]
- [5] 苏飞, 应蓉蓉, 张慧敏, 等. 可持续性科学研究热点及其知识基础: 以 Sustainability Science 载文数据为例. *生态学报*, 2016, 36(9): 2764-2772. [SU F, YING R R, ZHANG H M, et al. Sustainability research hotspots and knowledge bases: Taking the articles in Sustainability Science as examples. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(9): 2764-2772.]
- [6] UN. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. 3rd Ed. New York: United Nations, 2007.
- [7] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2015年中国可持续发展报告: 重塑生态环境治理体系. 北京: 科学出版社, 2017. [Sustainable Development Strategy Study Group of Chinese Academy of Sciences. *China Sustainable Development Report 2015: Reshaping the Governance for Sustainable Development*. Beijing: Science Press, 2017.]
- [8] 陈梦根. 绿色GDP理论基础与核算思路探讨. *中国人口资源与环境*, 2005, 15(1): 3-7. [CHEN M G. A gross economic indicator under sustainable development: Green GDP. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(1): 3-7.]
- [9] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法: 以张掖地区1995年的生态足迹计算为例. *生态学报*, 2001, 21(9): 1484-1493. [XU Z M, CHENG G D, ZHANG Z Q. Measuring sustainable development with the

- ecological footprint method: Take Zhangye prefecture as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1484-1493.]
- [10] 利果, 王铮. 基于真实进步指标对我国可持续发展的预警评估. *中国人口资源与环境*, 2007, 17(4): 61-65. [LI G, WANG Z. Estimates of sustainable development for China based on the genuine progress indicators. *China Population, Resources and Environment*, 2007, 17(4): 61-65.]
- [11] 宋洪远, 马永良. 使用人类发展指数对中国城乡差距的一种估计. *经济研究*, 2004, 50(11): 4-15. [SONG H Y, MA Y L. Measuring rural-urban disparity in China by human development index method. *Economic Research Journal*, 2004, 50(11): 4-15.]
- [12] TOGTOKH C. Time to stop celebrating the polluters. *Nature*, 2011, 479(7373): 269.
- [13] HUANG L, WU J G, YAN L J. Defining and measuring urban sustainability: A review of indicators. *Landscape Ecology*, 2015, 30(7): 1175-1193.
- [14] 田辉, 孙剑平, 朱英明. HSDI: 植入环境敏感性因素的人类可持续发展指数. *中国软科学*, 2007, 22(10): 86-92. [TIAN H, SUN J P, ZHU Y M. HSDI: A framework of human sustainable development indicators involving environment factor. *China Soft Science*, 2007, 22(10): 86-92.]
- [15] 李经纬, 刘志峰, 何春阳, 等. 基于人类可持续发展指数的中国1990-2010年人类—环境系统可持续性评价. *自然资源学报*, 2015, 30(7): 1118-1128. [LI J W, LIU Z F, HE C Y, et al. Assessing the human-environment system sustainability in China from 1990 to 2010 based on human sustainable development index. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(7): 1118-1128.]
- [16] BRAVO G. The human sustainable development index: New calculations and a first critical analysis. *Ecological indicators*, 2014, 37(2): 145-150.
- [17] BRAVO G. The human sustainable development index: The 2014 update. *Ecological Indicators*, 2015, 50(3): 258-259.
- [18] 王振波, 方创琳, 许光, 等. 2014年中国城市PM_{2.5}浓度的时空变化规律. *地理学报*, 2015, 70(11): 1720-1734. [WANG Z B, FANG C L, XU G, et al. Spatial-temporal characteristics of the PM_{2.5} in China in 2014. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1720-1735.]
- [19] 周侃, 樊杰, 刘汉初. 环渤海地区水污染物排放的时空格局及其驱动因素. *地理科学进展*, 2017, 36(2): 171-181. [ZHOU K, FAN J, LIU H C. Spatiotemporal patterns and driving forces of water pollutant discharge in the Bohai Rim region. *Progress in Geography*, 2017, 36(2): 171-181.]
- [20] UNDP (United Nations Development Program). *China Human Development Report 2005: Development with Equity*. Beijing: UNDP, 2005.
- [21] 杨洋, 黄聪, 何春阳, 等. 山东半岛城市群新型城镇化综合水平的时空变化. *经济地理*, 2017, 37(8): 77-85. [YANG Y, HUANG C, HE C Y, et al. The spatiotemporal dynamics of new-type urbanization comprehensive level in Shandong Peninsula urban agglomeration. *Economic Geography*, 2017, 37(8): 77-85.]

Assessment of regional sustainability based on the weak HSDI and strong HSDI: Case study of the Bohai Rim region in China

YANG Yang¹, MEI Jie¹, HE Chun-yang^{2,3}, HUANG Cong¹

(1. School of International Affairs and Public Administration, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China; 2. Center for Human-Environment System Sustainability, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. School of Natural Resources, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Assessment of sustainability is an important part of sustainable scientific research. Based on HDI and HSDI, this paper constructed the weak Human Sustainable Development Index (HSDI) and strong HSDI assessment indexes with different emphases on environmental factors. Taking the Bohai Rim region in China as an example, we studied the basic state and change process of the regional sustainability from 2000 to 2015. The results are shown as follows. From the point of basic state, the hierarchy of the sustainability in the Bohai Rim was imbalanced. The level of weak HSDI and strong HSDI were both in a spindle-shaped structure with small proportions at both ends and a large proportion in the middle. The numbers of cities with weak HSDI and strong HSDI at middle level account for 59.09% and 43.18% , respectively. However, the hierarchy of weak HSDI was more imbalanced than that of strong HSDI, and the regional differences of weak and strong HSDI were obvious. In terms of the change process, the paces of the sustainable development in different cities were inconsistent. Although both the weak and strong HSDI presented a significant growth trend, the weak HSDI mainly showed medium-high speed growth, while the strong HSDI mainly showed medium-low speed growth. The coincidence rate of weak HSDI and strong HSDI growth areas is as high as 71.79% , but there is obvious spatial dislocation in the growth rate. Based on the assessment results, cities can be classified into sustainable development state and process matrix. The cities in the four state matrices (I, II, III and IV) of sustainability were suitable for "incentive", "propelled", "control- oriented" and "supportive" sustainable development strategies successively. And the cities in the four process matrices (1, 2, 3, and 4) were suitable for sustainable development strategies of "stabilizing growth and optimizing environment", "conquering emphasis and promoting coordination", "adjusting structure and preventing risks" and "promoting reform, seeking development" successively. This study can provide decision-making reference for promoting regional sustainable development by proposing targeted diversification strategies.

Keywords: sustainability; weak HSDI; strong HSDI; basic state; change process; strategy matrix