

黄河中下游地区主要省份低碳经济发展水平的时空差异研究

王 喜^{1,2,3}, 秦耀辰^{1,2,3}, 鲁丰先^{1,2,3}, 张 黛^{1,2,3}, 姜向亚^{1,2,3}

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475004; 2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004;
3. 河南大学黄河中下游数字地理技术实验室, 开封 475004)

摘 要: 低碳经济发展评价及其时空差异研究是低碳经济研究从理论阶段向应用阶段转移的重要步骤, 建立低碳经济发展水平评价指标体系的实质就是确定低碳经济发展的具体内容及考核的标准体系, 可为低碳经济发展和调控提供必要的理论支撑。本文参考 DPSIR 模型, 选取碳排放强度、人均碳排放等 25 个指标, 构建了基于 PSIR 模型的低碳经济发展评价指标体系, 对黄河中下游地区的主要省份(陕西省、山西省、河南省、河北省、山东省) 1991-2010 年的低碳经济发展水平及其时空差异进行研究。研究结果表明, 在时间维上, 研究区内各省份总体上是朝着低碳经济的方向发展, 但也存在一定的波动; 在空间维上, 各省份的低碳经济发展水平差异较大, 山东省低碳经济发展水平最高, 而山西省、河南省低碳经济发展水平相对较低; 除压力子系统外, 其他各子系统与低碳经济发展水平之间存在着极为显著(或高度)的正相关。从影响低碳经济发展的因素看, 影响子系统、压力子系统变化的贡献率最大, 而技术进步等因素的贡献率相对较小。

关 键 词: 低碳经济评价; 时空变化; PSIR 模型; 黄河中下游

doi: 10.11820/dlkxjz.2013.04.002

1 引言

面对全球气温升高、资源短缺、环境恶化的趋势, 发展低碳经济成为世界各国的必然选择。中国地域广阔, 影响低碳经济发展的技术水平、产业结构、能源组合等要素空间差异明显, 导致各地区低碳经济发展水平及其动态变化各异。低碳经济发展水平的评价及其时空变化研究对于低碳经济发展模式的选择与调控具有重要的理论和实践意义, 而这方面的研究则显得相对较弱。黄河中下游地区是中国重要的能源化工基地、粮食生产基地, 经济发展水平、产业结构、能源组合在全国具有一定的代表性, 对该地区低碳经济发展水平的时空差异进行研究, 对中国低碳经济的发展具有一定的理论指导和必要的示范促进作用。

目前, 国内关于低碳经济评价的研究很多。唐笑飞等(2011)运用层次分析法和 k 均值聚类方法, 构建了一套针对中国省域尺度的低碳经济发展水平评价的指标体系和指数, 对中国大陆 30 个省(市、

自治区)的低碳经济发展水平现状进行了评价, 并对其进行类型划分; 李晓燕(2010)基于模糊层次分析法对省区的低碳经济发展进行评价, 选取了中国典型的省份进行比较, 并以四川省为例, 针对存在的问题提出对策建议; 付加锋等(2011)设计了低碳经济发展水平评价指标体系, 采用层析分析法在省域层面进行综合评价, 并选取一些关键性指标与国外进行了对比分析; 冯碧梅(2011)根据低碳经济的理论内涵, 构建了包括总体层、系统层、状态层、变量层和要素层组成的低碳经济评价指标体系, 并以湖北省低碳发展资料为依据, 采用层次分析法, 对湖北省低碳经济评价进行了实证研究; 邵超峰等(2010)在低碳城市内涵分析的基础上, 提出了建立低碳城市指标体系的基本框架、原则和方法, 并根据“驱动力—压力—状态—影响—响应”模型框架, 考虑中国低碳经济的发展形势, 建立了低碳城市建设与评价指标体系; 王小李等(2011)应用可变模糊集理论, 在专家评分划分等级的基础上, 综合评价了云南 2005-2009 年低碳经济发展现状; 庄贵阳等

收稿日期: 2012-07; 修订日期: 2012-12.

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(10JJDZONGHE015); 国家自然科学基金项目(41171438); 河南省教育厅人文社会科学研究项目(2012-JD-013)。

作者简介: 王喜(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事区域模型与信息系统、低碳经济等研究。E-mail: wangxi@henu.edu.cn

(2011)在对低碳经济进行概念界定的基础上,构建了以低碳产出、低碳消费、低碳资源和低碳政策为维度的衡量指标体系,并结合现实需求提出进一步改进的建议;李晓燕等(2010)构建了城市低碳经济发展综合评价指标体系,运用模糊层次分析法和主成分分析法,对中国4个直辖市的低碳经济发展进行了综合评价;刘竹等(2011)基于“脱钩”模式构建低碳城市评价指标体系,并以沈阳市为例进行研究;郑林昌等(2011)采用层次分析法对2007年中国省域低碳经济发展水平进行了综合评价。

从以上分析可以看出,目前中国已有关于低碳经济评价的研究主要集中在某一区域低碳经济的评价方面,而且是基于静态、聚焦于某一时点的低碳经济发展评价,而对于不同区域之间的时空变化差异研究则相对较少;此外,目前很多研究忽视了区域经济基础、资源禀赋等因素的动态变化。本文在国内外低碳经济发展水平测度与评价相关研究总结的基础上,对黄河中下游地区主要省份1991-2010年的低碳经济发展水平的时空变化及其主导因素进行分析,以期对中国低碳经济发展的评价与调控提供必要的理论和技术支持。

2 省级区域低碳经济评价指标体系

2.1 指标体系设计的基本原则

(1) 系统性和层次性的原则。指标体系必须能够全面地反映区域社会—经济—自然复合系统的主要属性及其相互关系,使评价目标和评价指标联系成一个有机整体;同时对各要素应分别选取指标,尽量避免各指标之间相互重叠。

(2) 科学性和可比性。指标的选取应建立在充分分析和研究的科学基础上,指标体系应能全面涵盖低碳经济发展目标的内涵,能够对低碳发展的质量进行合理、较全面地描述;同时各指标应具有横向可比性和动态可比性,所建立的指标体系应能够实现低碳经济发展水平在时间上和空间上的对比分析。

(3) 动态性和稳定性的原则。低碳经济评价的指标体系应能够反映区域低碳经济发展的动态变化过程,在一定时期内,指标体系在涵义、范围、方法等方面保持相对的稳定性。

(4) 可行性和可操作性原则。国内各省的统计口径和内容不完全一致,并且有些统计数据不易获得,因此在选取指标的时候尽量选取可以直接获得或经过计算可以间接获得的数据,使指标具有可行

性和可操作性。

(5) 相对脱钩原则。在目前技术水平和能源结构状况下,中国经济发展需要大量碳基能源支持,短期内实现碳排放总量的降低是不现实的。但是,我们要尽量降低单位产出的碳排放量,使碳排放的增长速度低于经济增长速度,实现相对脱钩。

2.2 指标体系设计的基本思路

2.2.1 影响低碳经济发展的影响因素分析

(1) 经济发展水平是低碳经济发展的基础(刘红光等, 2009, 2010)。只有建立在较好经济基础上的低碳经济才是真正意义上的低碳发展,低经济发展水平下的低碳排放不是真正的低碳经济。低碳技术的研发和推广,产业结构的转变,高技术、高附加值、低碳排放的新产业的发展,需要有较强的经济基础;环境污染治理、低碳能源利用、增加有效碳汇面积,改善居民的生产和生活方式,降低碳排放是低碳经济发展的重要途径,但是要建立在较好的经济基础之上。因此,在评价低碳经济发展水平时必须充分考虑区域的经济基础。

(2) 城市化水平、居民的生活消费模式对低碳经济发展具有重要的影响(2050中国能源和碳排放研究课题组, 2009; Kalnay et al, 2003; 秦耀辰等, 2010)。城市化水平高,有利于提高交通出行、供暖等设施的利用效率和利用水平;城市规模、城市空间布局等通过影响居民出行距离,进而影响城市或区域的碳排放水平及低碳经济发展水平。

(3) 发展清洁能源或低碳能源是低碳经济发展的重要途径。经济发展离不开能源支持,目前中国能源结构以传统的碳基能源为主,而水电、核电、风电等低碳能源所占比重较低,发展低碳能源和清洁能源的空间很大,低碳经济评价必须重视低碳能源或者零碳能源的开发和利用。

(4) 环境质量是衡量低碳经济发展水平的重要因素。在目前的产业结构、能源结构和技术水平条件下,减排的空间十分有限。低碳经济发展不仅需要从减少或降低碳排放入手,更需要从温室气体的吸收、利用、处理等方面努力。增加有效碳汇面积,加大工业“三废处理率”,是低碳经济发展的重要措施。

(5) 技术进步是低碳经济发展的核心。只有依靠科技进步,才能提高经济发展质量,降低单位产出的碳排放,开发利用新型低碳能源,研究固碳技术,从而实现低碳经济发展的最终目的。低碳经济评价必须关注低碳发展需要的技术准备或技术进步等因素。

2.2.2 低碳经济发展评价的基本思路

低碳经济发展的经济与社会基础、资源环境压力、技术发展水平、环境保护水平等是影响低碳经济发展的主要因素,也是建立评价指标体系的主要依据。根据指标体系设计的原则和基本思路,结合黄河中下游地区主要省份的实际情况,本文基于层次分析法,建立基于PSIR模型的低碳经济发展评价指标体系。

2.3 基于PSIR模型的低碳经济评价指标体系

DPSIR(driving-forces-pressure-state-impact-response)模型,即驱动力—压力—状态—影响—响应模型,是欧洲环境局(European Environment Bureau, EEA)综合压力—状态—响应(PSR)模型和驱动力—状态—响应(DSR)模型的优点而建立的解决环境问题的管理模型(孙晓蓉等, 2010; Svarstad et al, 2008),涵盖了区域经济、社会、资源、环境四大要素。低碳经济发展的驱动力是当前经济社会发展所面临的资源环境压力,因此我们认为“驱动力”和“压力”的涵义是一致的,在此我们将其合并为“压力”,构建基于“压力—状态—影响—响应”(PSIR)模型的低碳经济评价指标体系(付加锋等, 2010)。

在低碳经济发展评价的PSIR模型中,“压力”是指人类经济活动导致的碳排放对资源环境造成的压力,“状态”是指在当前压力下经济、社会所处的状况,“影响”是指经济社会系统所处的状态对资源环境及社会经济发展质量的影响,“响应”是指人类在实现低碳发展进程中所做出的努力和积极对策。基于PSIR模型的低碳经济评价采用自上而下,逐层分解的方法。该模型将评价对象分为3层,每个层次选取具有本层特征的要素作为评价指标。第1层为目标层(target level),以低碳经济发展水平综合评价为目标,第2层为准则层(principal level),包括压力、状态、影响、响应四部分,第3层为指标层(index level)。具体的指标体系及各指标的计算、作用方向见表1。

在评价指标体系中,大部分指标的含义比较明确,在此不再赘述,主要对脱钩状态、碳排放强度两个指标加以说明。脱钩状态是用来衡量经济发展与能源消耗导致的碳排放之间的关系的一个指标,通常用脱钩指数来表达。脱钩指数的计算有OECD脱钩指标和Tapio脱钩指标(张丽君等, 2012; Tapio, 2005),本文采用OECD脱钩指标,即脱钩指数等于GDP的增长速度与碳排放增长速度的比值。鉴于研究区1991-2010年的碳排放的增长速度

均为正值,因此脱钩指数越大,对低碳经济发展越有利,即该指标为正向指标。碳排放强度是指单位国内生产总值的二氧化碳排放量,用来衡量区域经济同碳排放量之间的关系,若碳排放强度在下降,说明朝着低碳方向发展。

2.4 评价方法及指标权重的确定

针对多因素进行综合评价的方法很多,主要有层次分析法、主成分分析法、模糊综合评判法、物质流分析法等,其中层次分析法以其原理明确、操作简单而被多数学者所采用。本文在采用层次分析法确定各层指标权重(结果见表1)的基础上,采用多因素综合加权的方法计算低碳经济发展指数,进而评价黄河中下游地区主要省份的低碳经济发展水平。

3 黄河中下游主要省份低碳经济发展水平的时空差异

3.1 研究区域

本研究选择黄河中下游地区5个主要省份作为研究对象,包括陕西省、山西省、河南省、河北省和山东省。之所以选择这个地区,是因为上述五省空间位置相互邻接,经济发展水平相当,产业结构相近,所面临的资源与环境问题类似。为了研究低碳经济发展的动态变化,本研究选取1991-2010年20年的时间序列进行动态分析。

3.2 数据与方法

3.2.1 数据源

碳排放量的计算主要考虑化石能源的消耗而排放的CO₂,没有考虑工业生产过程、生物质能源燃烧等排放的CO₂,能源消费数据主要来自《中国能源统计年鉴》(1991-2011),根据研究区域的能源消耗量,通过系数法计算而得到CO₂排放量;“低碳经济发展政策”主要根据各研究对象所在省份的政府工作报告、经济社会发展规划中对低碳经济、绿色发展等的规划及重视程度分为4级,即:“不重视”、“稍微重视”、“较重视”、“特别重视”,并分别赋予分值“0”、“25”、“75”、“100”;“公众低碳经济知识普及程度”是根据研究的需要,在各个研究区域内分别选取公务员、教师、学生、工人、商业金融服务业等不同从业者(样本在1000人左右)作为调查对象,针对不同阶段对低碳知识与政策的了解及普及程度进行问卷调查,然后统计分析计算,并将其分为4级,即“不了解”、“有所了解”、“较了解”、“十分了解”,并分别赋予分值“0”、“25”、“75”、“100”;本

表 1 黄河中下游地区主要省份低碳经济评价指标体系及其权重

Tab. 1 Evaluation index system and its weights about the level of low carbon economy of the major provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

目标层(T)	准则层(P)	权重	指标层(I)	权重	总权重	作用方向
低碳 经济 评价	压 力(P ₁) (Pressure)	0.2347	I ₁₁ 人均 GDP	0.3809	0.0894	+
			I ₁₂ 人均能源消费	0.2052	0.0482	-
			I ₁₃ 人均汽车拥有量	0.2382	0.0559	-
			I ₁₄ 碳排放增长速度	0.1757	0.0412	-
	状 态(P ₂) (State)	0.2083	I ₂₁ 脱钩状态	0.2238	0.0466	+
			I ₂₂ 第三产业比重	0.2541	0.0529	+
			I ₂₃ 城镇化水平	0.2172	0.0452	+
			I ₂₄ 森林覆盖率	0.0938	0.0195	+
			I ₂₅ 有林地面积占国土面积的比例	0.1172	0.0244	+
			I ₂₆ 城市建成区绿地覆盖率	0.0939	0.0196	+
	影 响(P ₃) (Impact)	0.2843	I ₃₁ 区域单位面积碳排放量	0.2171	0.0617	-
			I ₃₂ 单位工业增加值碳排放	0.1759	0.0500	-
			I ₃₃ 碳排放强度	0.3302	0.0939	-
			I ₃₄ 单位工业增加值 SO ₂ 排放量	0.2732	0.0777	-
			I ₃₅ 单位工业增加值 SO ₂ 排放量	0.2732	0.0777	-
	响 应(P ₄) (Response)	0.2727	I ₄₁ 零碳能源比重	0.1441	0.0393	+
			I ₄₂ 集中供暖比例	0.2249	0.0613	+
			I ₄₃ 每万人使用公交车辆	0.1724	0.0470	+
			I ₄₄ R&D 经费占 GDP 比重	0.2015	0.0549	+
			I ₄₅ 低碳经济发展政策	0.1738	0.0474	+
			I ₄₆ 公众低碳经济知识普及程度	0.0833	0.0227	+

文使用的其他社会、经济、环境、能源等数据主要来源有《中国统计年鉴》(1991-2011)及五省的统计年鉴(1991-2011)等。

3.2.2 数据处理

为了使不同年份的数据具有可比性,对于文中使用的经济统计数据统一折算为 1990 年的不变价;对于个别年份缺失的数据则采用趋势预测、滑动平均等方法间接得到;对于各项指标,均采用极差标准化进行处理,公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i \{x_{ij}\}}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}}$$

(1)

式中: x_{ij} 表示 i 省第 j 年某个指标的值; $i=1, 2, \cdots, 5$; $j=1, 2, \cdots, 20$ 。

3.2.3 指标作用分值计算

对于作用方向为正的指标,标准化后的指标值即为该指标的作用分值;对于作用方向为负的指标,则用 100 减去极差标准化以后的标准化值,作为指标的作用分值。

3.3 结果与分析

3.3.1 计算结果

根据以上构建的指标体系及数据的处理方法,

计算得到研究区各省份 1991-2010 年各子系统的作用分值及低碳经济发展指数,由于篇幅所限,本文只列出各省份的低碳经济发展指数,具体见表 2 和图 1。

3.3.2 结果分析

(1) 低碳经济发展水平的空间差异分析

从表 2 和图 1e 可以看出,黄河中下游地区各省份的低碳经济发展在空间上有一定的差异。总的来看,陕西省和山东省的低碳经济发展水平相对较高,这与两省的经济发展水平较高、产业结构相对合理有关;而山西的低碳经济发展水平则相对较低,主要是由于该省以煤炭为主的产业结构和能源结构所致;河南省和河北省则位居中间,这基本符合黄河中下游各省份低碳经济发展现状。

(2) 动态变化分析

从表 2 和图 1 可以看出,黄河中下游地区各省份的低碳经济发展水平在不断提高,但是各省的增长速度并不相同。为比较各省份低碳经济发展的动态变化速度,我们分别计算了各省低碳经济发展水平的几何平均增长速度和线性算术平均增长速度,结果见表 3。

表2 黄河中下游主要省份低碳经济发展水平指数

Tab. 2 Index of level of low carbon economy development of the major provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

年份	河北	山西	山东	河南	陕西省
1991	45.33	28.30	44.39	39.05	47.92
1992	46.94	28.61	45.73	41.29	50.44
1993	46.08	25.90	46.72	41.47	52.32
1994	43.57	25.28	50.08	42.71	52.60
1995	45.51	28.84	50.88	44.36	52.66
1996	47.10	32.12	54.19	47.89	53.45
1997	53.73	35.38	58.25	46.79	53.83
1998	57.05	36.03	57.38	48.35	57.28
1999	55.58	43.15	56.78	51.22	56.66
2000	55.55	41.43	57.48	52.81	58.76
2001	54.34	42.80	59.50	52.65	57.86
2002	54.07	41.86	58.74	52.83	58.97
2003	51.90	42.38	56.39	51.51	61.03
2004	51.40	42.27	54.86	51.48	61.17
2005	51.76	41.95	55.06	51.48	61.85
2006	54.96	43.31	57.30	52.61	63.13
2007	57.00	46.15	58.44	54.84	66.03
2008	58.34	46.74	59.84	55.38	67.29
2009	60.42	49.51	62.01	57.06	70.43
2010	62.21	50.43	63.83	59.31	73.67

从表中可以看出,山西省的低碳经济发展速度最快,其次为陕西省和河南省,河北省与山东省的低碳经济发展速度则相对稍慢。这说明各省目前都比较重视低碳经济的发展,各省间低碳经济发展水平的差异在逐渐缩小。

(3) 子系统的动态变化分析

从图1可以看出,除陕西外,其他各省压力子系统的发展水平均有较大波动,而且有下降的趋势,说明黄河中下游地区主要省份低碳经济发展面临的压力还比较大;各省的状态、影响、响应子系统的发展水平总的趋势在不断提升,说明黄河中下游地区主要省份低碳经济发展的状态在逐渐变好,对经济社会及资源环境的负面影响在逐渐减小,社会、政府、公众等对低碳经济发展所面临的压力、所处的状态及影响做出了积极的响应,有利于低碳经济发展。

(4) 低碳经济发展水平与各子系统的相互关系分析

为了分析低碳经济发展水平变化与各子系统发展水平之间的关系,我们计算了黄河中下游各省低碳经济发展水平指数与各子系统发展水平之间

的相关系数,结果见表4。从表4可以看出,除压力子系统外,其他各子系统与低碳经济发展水平之间存在着极为显著的正相关,说明经济社会发展及资源环境所处状态和影响以及社会、政府、公众对低碳经济发展的响应对低碳经济发展具有重要的影响;除陕西省外,压力子系统与低碳经济发展水平之间的相关性不高,说明虽然当前低碳经济的发展面临一定的压力,对低碳经济发展有一定影响,但不是低碳经济发展的关键性影响因素。

4 黄河中下游地区主要省份低碳经济发展水平影响因素的贡献

4.1 分析方法

影响低碳经济发展的因素很多,不同学者提出了不同的分析方法。为有效分析影响低碳经济发展的各种因素对低碳经济发展水平变化的贡献率,本研究对道格拉斯生产函数进行改进(董晓花等,2008),构建如下模型:

$$Y=AX_1^{b_1}X_2^{b_2}X_3^{b_3}X_4^{b_4}e^{b_0t}$$

(2)

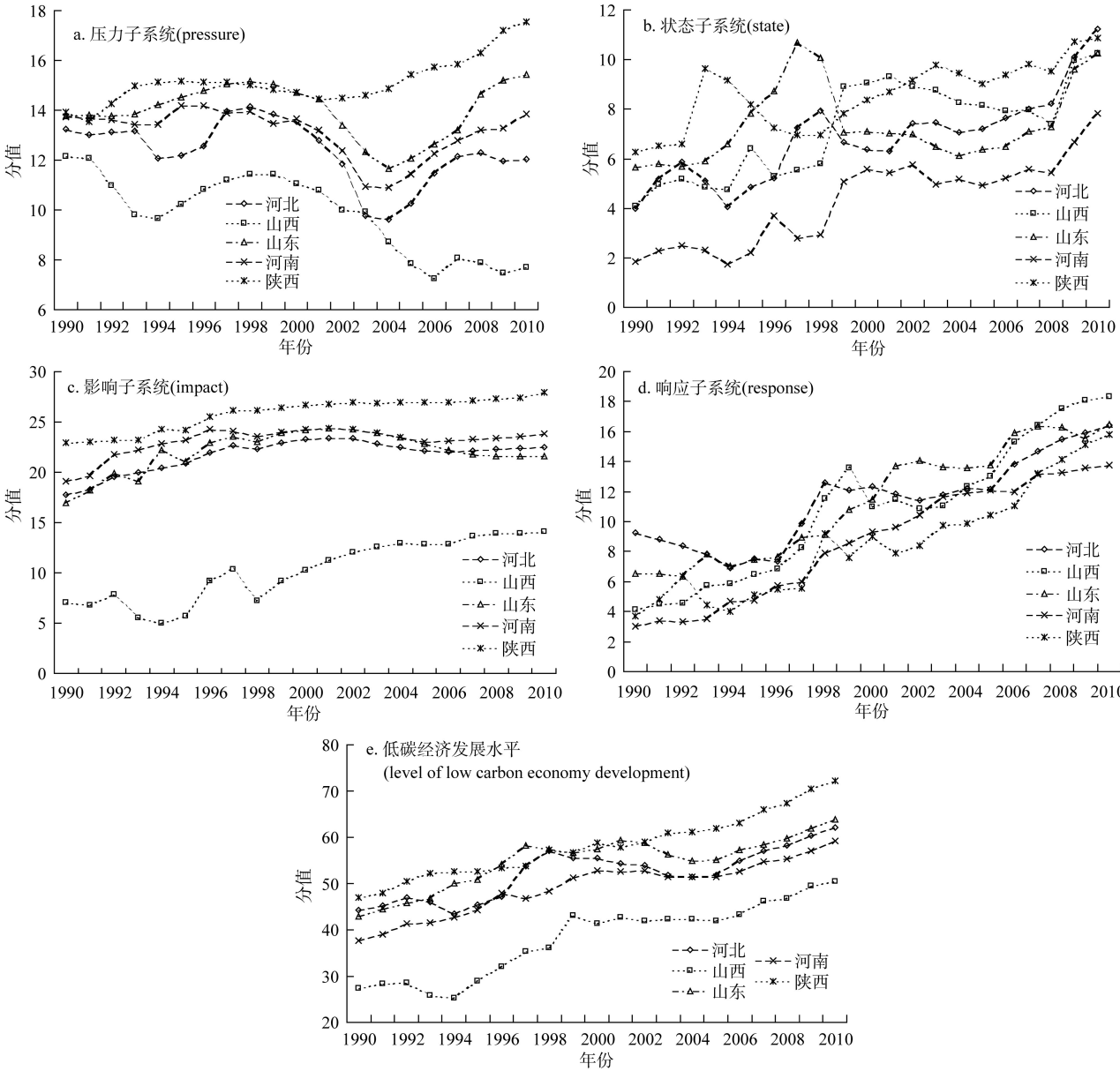


图1 黄河中下游地区主要省份低碳经济发展水平及准则层各指标的动态变化
Fig. 1 Dynamic changes of the level of low carbon economy development and standard indices for the main provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

表3 黄河中下游地区主要省份低碳经济发展速度
Tab. 3 Low carbon economic development rates of the major provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

省 份	河北	山西	山东	河南	陕西
几何平均增长速度/%	1.7145	3.0959	2.0035	2.2950	2.1738
线性平均增长速度/%	1.7412	3.3705	2.0021	2.2445	2.1804

式中： Y 表示低碳经济发展水平； X_i 表示影响低碳经济发展的第 i 个因素； b_i 表示第 i 个因素对低碳经济发展的贡献率， b_0 表示技术进步对低碳经济发展的贡献率； A 表示除以上因素以外的各种因素的

影响； t 为时间。根据计算得到的低碳经济发展水平指数及各子系统的作用分值，分别计算了研究区影响低碳经济发展的主要因素(子系统)的贡献率(表5)。

表4 黄河中下游主要省份低碳经济发展水平与各子系统发展水平之间的相关分析

Tab. 4 Correlations between the level of low carbon economy development and the level of each sub-system of the major provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

子系统	河北		山西		山东		河南		陕西	
	相关系数	显著性水平	相关系数	显著性水平	相关系数	显著性水平	相关系数	显著性水平	相关系数	显著性水平
压力	-0.0295	×	-0.6322	**	0.2333	×	-0.3307	*	0.8468	****
状态	0.9230	****	0.9103	****	0.6308	**	0.9506	****	0.8214	****
影响	0.7334	****	0.9299	****	0.7366	****	0.7406	****	0.8799	****
响应	0.9325	****	0.9528	****	0.8179	****	0.9481	****	0.9722	****

注:“****”表示显著性水平达到0.001,即极相关;“****”表示显著性水平达到0.01,即高度相关;“*”表示显著性水平达到0.05,即显著相关;“**”表示显著性水平达到0.1,即较相关;“×”表示不相关。

4.2 结果分析

4.2.1 总体分析

从表5中可以看出,各因素中对低碳经济发展水平影响最大的是压力子系统和影响子系统,其次是状态子系统和响应子系统,而技术进步对低碳经济发展的贡献不大。这说明近20年来黄河中下游五省在低碳经济发展方面所承受的压力对低碳经济发展的消极影响在逐渐减小,对低碳经济发展贡献较大,各种压力对经济、社会、资源、环境系统的影响也在逐渐减小;而低碳经济发展所处的状态也在逐渐好转,社会及公众对低碳经济发展要求的响应也在明显提高;虽然近20年来黄河中下游地区对经济、资源、环境等系统的投资力度逐渐增大,但总的来看,技术进步对区域低碳经济发展的贡献率还是十分有限。

4.2.2 空间差异分析

从黄河中下游地区五省来看,各因素对低碳经济发展的贡献率差异也较大。从压力子系统的贡献来看,陕西省的压力子系统贡献率最大,说明该

省低碳经济发展面对的压力相对较小,这主要是由于陕西省的经济发展水平相对较高,产业结构中高碳排放的产业所占比例相对较小;而山西省的压力子系统的贡献率最小,这主要是由于该省以煤炭为主的产业结构导致碳排放总量及人均碳排放较高,致使低碳经济发展所面临的压力很大。从状态子系统看,山东省状态子系统对低碳经济发展的贡献率最大,说明山东省低碳经济发展所处的状态较好,这与该省较高的经济发展水平和产业结构有关;而河北省的状态子系统的贡献率最低,主要是由于该省的产业结构、碳汇等因素所处的状态变化改善不大所致。从影响子系统看,陕西省影响子系统对低碳经济发展的贡献率较低,说明该省目前所面临的压力和状态对经济社会系统的影响多年变化不大,需要着力改进;而其他4个省份的差异并不是十分明显。从响应子系统来看,山西省响应子系统的贡献率最大,说明该省在低碳经济发展方面所作出的响应较快,在低碳技术投入与研发、低碳经济政策的制定和宣传较好;而陕西省、河南省响

表5 黄河中下游地区主要省份低碳经济发展影响因素的贡献率

Tab. 5 Contribution of influencing factors to low carbon economic development of the major provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

省份 影响因素	河北	山西	山东	河南	陕西
b ₀ :技术进步	0.0017	0.0023	0.0005	0.0043	0.0019
b ₁ :压力子系统	0.2453	0.2213	0.2351	0.2349	0.3832
b ₂ :状态子系统	0.1063	0.1282	0.1462	0.1305	0.1245
b ₃ :影响子系统	0.3507	0.3450	0.3623	0.3680	0.2301
b ₄ :响应子系统	0.1722	0.2360	0.1832	0.1552	0.1219
A:其他因素	0.1237	0.0673	0.0727	0.1071	0.1385

应子系统的贡献率相对较低。

5 结论

(1) 低碳经济评价及其时空变化分析是对低碳经济进行有效调控的基础。基于改进的 DPSIR 模型而构建的 PSIR 模型,可以用于省级区域低碳经济发展评价。

(2) 黄河中下游地区五省的低碳经济发展水平在空间上有一定的差异。这种差异与区域的产业结构、经济基础、能源结构等因素密切相关;随着各地区对低碳发展的逐渐认可和日益重视,五省低碳经济发展水平的差异在逐渐缩小;五省的低碳经济发展水平在不断提高,但是其增长速度并不相同,低碳经济水平相对较低的省低碳经济发展速度则相对较快;各子系统的动态变化在时空上存在较大差异,除压力子系统外,其他各子系统发展水平的趋势均在不断提高;除压力子系统外,其他各子系统与低碳经济发展水平之间存在着极为显著的正相关。

(3) 影响低碳经济发展的因素很多。通过改进的道格拉斯生产函数模型研究发现,压力子系统和影响子系统对低碳经济发展水平影响最大,其次是状态子系统和响应子系统,而技术进步对低碳经济影响的贡献不大,因此需要从技术层面着手,大力发展零碳能源和低碳技术,提高能源利用效率,促进低碳经济发展。

参考文献(References)

Dong X H, Wang X, Chen L. 2008. Research summary for the theory of Cobb-Douglas Production Function. *Productivity Research*, (3): 28-32. [董晓花, 王欣, 陈利. 2008. 柯布一道格拉斯生产函数理论研究综述. *生产力研究*, (3): 28-32.]

Feng B M. 2011. Study on the construction of low-carbon economy evaluation in Hubei Province. *China Population, Resource and Environment*, 21(3): 54-58. [冯碧梅. 2011. 湖北省低碳经济评价指标体系构建研究. *中国人口·资源与环境*, 21(3): 54-58.]

Fu J F, Zhuang G Y, Gao Q X. 2010. Conceptual identification and evaluation index system for low carbon economy. *China Population, Resource and Environment*, 20(8): 38-43. [付加锋, 庄贵阳, 高庆先. 2010. 低碳经济的概念辨析及评价指标体系构建. *中国人口·资源与环境*, 20(8): 38-43.]

Fu J F, Zheng L C, Cheng X L. 2011. China's low-carbon economic development: An inter-provincial and international

comparison. *Resource Science*, 33(4):664-674. [付加锋, 郑林昌, 程晓凌. 2011. 低碳经济发展水平的国内差异与国际差距评价. *资源科学*, 33(4): 664-674.]

Kalnay E, Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423: 528-531.

Li X Y. 2010. An exploration of low-carbon economy of provinces based on fuzzy analytic hierarchy process. *East China Economic Management*, 24(2): 24-28. [李晓燕. 2010. 基于模糊层次分析法的省区低碳经济评价探索. *华东经济管理*, 24(2): 24-28.]

Li X Y, Deng L. 2010. The research for city's low carbon economic comprehensive evaluation: As a case to municipalities directly under the central government. *Modern Economic Research*, (2): 82-85. [李晓燕, 邓玲. 2010. 城市低碳经济综合评价探索: 以直辖市为例. *现代经济探讨*, (2): 82-85.]

Liu H G, Liu W D. 2009. Decomposition of energy-induced CO₂ emissions in industry of China. *Progress in Geography*, 28(2): 285-292. [刘红光, 刘卫东. 2009. 中国工业燃烧能源导致碳排放的因素分解. *地理科学进展*, 28(2): 285-292.]

Liu H G, Liu W D, Tang Z P. 2010. The origin source and its elasticity analysis of the CO₂ emission induced by fossil fuel using industrial activities in China. *Progress in Geography*, 29(6): 670-676. [刘红光, 刘卫东, 唐志鹏. 2010. 中国产业能源消费碳排放结构及其减排敏感性分析. *地理科学进展*, 29(6): 670-676.]

Liu Z, Geng Y, Xue B, et al. 2011. Low-carbon city's quantitative assessment indicator framework based on decoupling mode. *China Population, Resource and Environment*, 21(4): 19-24. [刘竹, 耿涌, 薛冰, 等. 2011. 基于“脱钩”模式的低碳城市评价. *中国人口·资源与环境*, 21(4): 19-24.]

Qin Y C, Zhang L J, Lu F X, et al. 2010. Progresses of low-carbon city research. *Progress in Geography*, 29(12): 1459-1469. [秦耀辰, 张丽君, 鲁丰先, 等. 2010. 国外低碳城市研究进展. *地理科学进展*, 29(12): 1459-1469.]

Shao C F, Ju M T. 2010. Study of the index system of low-carbon cities based on DPSIR model. *Ecological Economy*, (10): 95-99. [邵超峰, 鞠美庭. 2010. 基于 DPSIR 模型的低碳城市指标体系研究. *生态经济*, (10): 95-99.]

Sun X R, Shao C F. 2010. Study on the variation trends of regional environmental risk for Tianjin Binhai new area based on DPSIR model. *Research of Environmental Sciences*, 23(1): 68-73. [孙晓蓉, 邵超峰. 2010. 基于 DPSIR 模型的天津滨海新区环境风险变化趋势分析. *环境科学研究*, 23(1): 68-73.]

Svarstad H, Petersen L K, Rothman D, et al. 2008. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. *Land Use Policy*, 25(1):116-125

Tang X F, Lu C X, An K. 2011. Development levels of low-carbon economy at provincial scales in China. *Resource Science*, 33(4): 612-619. [唐笑飞, 鲁春霞, 安凯.

2011. 中国省域尺度低碳经济发展综合水平评价. 资源科学, 33(4): 612-619.]
- Tapio P. 2005. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 12(2): 137-151.
- The research group for 2050 China energy and CO₂ emissions. 2009. 2050 China energy and CO₂ emissions report. Beijing, China: Science Press. [2050 中国能源和碳排放研究课题组. 2009. 中国城市化战略的低碳之路: 2050 中国能源和碳排放报告. 北京: 科学出版社.]
- Wang X L, Gu J L, Zheng L, et al. 2011. An exploration of low-carbon economy of provinces based on variable fuzzy evaluation. *Ecological Economy*, (2): 24-28. [王小李, 谷建龙, 郑丽, 等. 2011. 基于可变模糊分析的省区低碳经济评价体系探索. 生态经济: 学术版, (2): 24-28.]
- Zhang L J, Qin Y C, Zhang J P, et al. 2012. Evolution mechanisms of industrial CO₂ emissions and its decoupling analysis in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area. *Progress in Geography*, 31(4): 426-434. [张丽君, 秦耀辰, 张金萍, 等. 2012. 郑汴都市区产业 CO₂ 排放演变机理及脱钩分析. 地理科学进展, 31(4): 426-434.]
- Zheng L C, Fu J F, Li J S. 2011. Evaluation on the development level and spatial progress of low-carbon economy at provincial scale in China. *China Population, Resource and Environment*, 21(7): 80-85. [郑林昌, 付加锋, 李江苏. 2011. 中国省域低碳经济发展水平及其空间过程评价. 中国人口·资源与环境, 21(7): 80-85.]
- Zhuang G Y, Pan J H, Zhu S X. 2011. The connotation and construction for comprehensive evaluation indicator system of low carbon economic. *Economic Perspectives*, (1): 132-136. [庄贵阳, 潘家华, 朱守先. 2011. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建. 经济学动态, (1): 132-136.]

Temporal and spatial differences in the level of low carbon economic development among the provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin

WANG Xi^{1,2,3}, QIN Yaochen^{1,2,3}, LU Fengxian^{1,2,3}, ZHANG Dai^{1,2,3}, JIANG Xiangya^{1,2,3}

(1. The Center for Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475004, China;

2. The College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China; 3. Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Evaluation of the levels of low carbon economic development and the investigation of their spatial differences are an important step from basic (theoretical) to applied (practical) research on low carbon economy. The essence of establishing an evaluation index system is to specify the content of low carbon development in details and a criterion system for assessment in order to provide necessary theoretical support for low carbon economic development and its regulation. With reference to DPSIR (driving forces-pressure-state-impact-response) model, using carbon emission intensity, per capita carbon emission, etc. among 25 indices, an evaluation index system based on PSIR model was established to study the levels of low carbon development and their temporal and spatial differences for the major provinces in the middle and lower reaches of the Yellow River Basin from 1991 to 2010. The results indicate that, in the region under study, temporally all provinces are progressing toward low carbon economy with fluctuations; spatially the levels of the development in different provinces vary, with the highest level in Shandong and relatively lower levels in Shanxi and Henan. But the progress is faster in the provinces with lower levels of low carbon economy. With regard to the impacting factors, with the exception of pressure sub-system, all other sub-systems show highly positive correlation with low carbon economic development, with variations in the different areas of the region. In general, changes of the pressure sub-system have greatest impact on low carbon economic development, suggesting that carbon emission intensity is being continuously lowered, industrial structure continuously optimized, and the pressure on resources and the environment reduced. However, the contribution of technological progress to low carbon economic development is relatively small.

Key words: evaluation of low carbon economy; temporal and spatial changes; PSIR model; the middle and lower reaches of the Yellow River Basin