

盖美,张福祥.辽宁省区域碳排放-经济发展-环境保护耦合协调分析[J].地理科学,2018,38(5):764-772.[Gai Mei, Zhang Fuxiang. Regional Carbon Emissions, Economic Development and Environmental Protection Coupling in Liaoning Province. Scientia Geographica Sinica,2018,38(5):764-772.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.05.014

辽宁省区域碳排放-经济发展-环境保护 耦合协调分析

盖美¹,张福祥^{2,3}

(1.辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心,辽宁 大连 116029;2.辽宁师范大学城市与环境学院,
辽宁 大连 116029;3.中国科学院东北地理与农业生态研究所,吉林 长春 130102)

摘要:基于三阶段DEA模型测算2004-2015年辽宁省14市的碳排放效率,将碳排放效率分解成技术效率、纯技术效率和规模效率,并将3种效率作为碳排放系统的评价指标,继而构建区域碳排放-经济发展-环境保护(3E系统)耦合协调评价体系。结果显示:辽宁省三大系统耦合协调度处于较低水平,空间上呈“递进式”进步规律,表现为沈阳、大连领先;鞍山、抚顺、丹东、锦州、营口、辽阳、盘锦、阜新、铁岭、葫芦岛处于中等水平;本溪、朝阳最低的空间分布规律。最后通过灰色GM(1.1)预测模型得到2016-2020年辽宁省3E系统耦合协调度有所提升。研究发现,将碳排放效率作为碳排放系统的评价指标适用于三元系统耦合协调研究,结果与辽宁省实际情况相符。

关键词:三阶段DEA;碳排放效率;三元耦合协调模型;GM(1.1)预测模型

中图分类号:F129.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2018)05-0764-09

经济发展与环境保护两者协调有序发展是增强区域支撑能力与实现可持续发展的重要组成部分。碳减排正是实现经济与环境协调与促进可持续发展的关键,而实现碳减排的关键在于提高碳排放效率。国务院公布的新一轮东北老工业基地振兴战略部署中指出,坚持绿色发展,坚持节约资源和保护环境,推动低碳循环发展,建设低碳安全高效的现代能源体系等基本国策,为辽宁省低碳经济发展提供了理论与现实依据。然而国内各省市碳减排-经济发展-环境保护之间的矛盾仍然突出,辽宁省更是存在上述问题的典型省份。因此,基于碳排放视角研究缓解社会经济与环境的矛盾,成为实现可持续发展新的突破口。

目前国内外对碳排放及耦合协调相关研究主要包括以下几方面:①碳排放效率研究,如Zhou^[1]、Risto Herral等^[2]分别利用Charnes^[3]提出的DEA模

型并引入Malmquist指数和SFA模型研究碳排放大国的碳排放效率。华坚等^[4]开创性的将Fried等^[5]提出的三阶段DEA运用到碳排放绩效中,客观真实的反映了中国各省份的能源碳排放绩效,拓宽了该方法的研究深度。上述研究表明,三阶段DEA克服了传统的数据包络分析法(DEA)和随机前沿法(SFA)的局限性,在碳排放效率的测算上更具优越性。②碳排放量与经济增长或与环境二元关系研究,包括EKC曲线、脱钩、耦合及格兰杰因果关系。如Tucker^[6]基于碳排放量与经济增长数据研究各国人均碳排放量与人均GDP的EKC曲线关系。张红丽等^[7]通过建立多区域投入产出模型,分析京津冀区域经济活动中隐含的碳排放转移特点,为经济发展与碳排放的关系研究提供新颖的研究视角。③碳排放效率与经济关系研究。这方面研究较少,也有学者从城市化效率、水效率等方

收稿日期:2017-05-12;**修订日期:**2017-08-27

基金项目:国家社会科学基金重大项目(14ZDB130)、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD790021)、辽宁省教育厅项目(W201683606)资助。[Foundation: National Social Science Foundation of China (14ZDB130), Ministry of Education of Humanities and Social Science Key Research Base of Major Projects (16JJD790021), The Project of Liaoning Province Department of Education (W201683606).]

作者简介:盖美(1971-),女,辽宁大连人,博士,教授,主要从事资源经济与可持续发展方面的研究。E-mail:gaimei71@163.com

通讯作者:张福祥。E-mail:826776587@qq.com

面入手,如邹辉、孙东琪、盖美等^[8-10]分别从碳排放效率、城市化效率、用水效率等多角度研究与经济增长之间的关系,取得较好的评价结果。

既有研究日趋完善,但仍有以下方面需要改进:①以往研究多集中于碳排放量与经济的关系,缺少测算碳排放的效率指标。笔者认为,效率是测度各自系统内部状态的重要指标,较之总量更能体现区域的真实发展水平。因此,文章将三阶段DEA测算出的碳排放效率作为碳排放系统的评价指标,并选取其他指标全面构建碳排放系统。由于三阶段DEA通过选取多种投入、产出指标,算出的碳排放效率是一个较有代表性的综合值,剔除外部环境和随机误差的影响能更好的反映碳排放的真实水平。②对碳排放与经济二元耦合研究较多,三元耦合研究较少。本文开创性将碳排放与经济发展、环境保护衔接起来,构建碳排放、经济发展和环境保护三元系统(3E系统),利用各自指标算出的指数测度三者之间的耦合协调水平,为深层次研究三元耦合协调关系提供理论指导。③对未来年份缺少预测。鉴于此,运用GM(1.1)预测2016~2020年辽宁省三元系统耦合协调度,为今后辽宁省碳减排、经济发展和环境保护提供理论借鉴和较为新颖的研究视角。

1 研究方法

1.1 辽宁省3E系统耦合协调研究机理

碳排放、经济发展与环境保护三者之间相互作用相互制约。具体表现为,经济为碳减排提供资金和技术支持,提高碳排放效率,促进节能减排;另一方面碳排放反作用于经济,表现为单位碳排放的GDP产出越高(即碳排放效率),越有利于经济发展,反之经济发展将消耗更多的能源,约束经济发展。经济发展通过资金和技术支持降低能耗,减轻生态环境压力,同时也造成空气和水污染;另一方面生态环境为经济发展提供自然资源和物质保障,是经济发展的基础。碳排放量越高代表消耗的化石能源越多,温室效应导致全球气候变暖、冰川融化、水资源不足等一系列生态环境问题;另一方面自然环境中的绿色植物通过光合作用将吸收的二氧化碳转化为氧气,降低二氧化碳量。因此,环境是经济发展和碳减排的基础,经济是重要支撑,碳排放是关键。基于碳排放-经济

发展-环境保护三元系统耦合协调关系对促进区域社会经济可持续发展具有重要意义。

1.2 三阶段DEA

由于三阶段DEA能剔除外部环境和随机误差的影响,算出的效率值比传统DEA更加准确,在此方面,许多学者研究认为该方法能更好反应碳排放的真实水平^[11]。

第一阶段:超效率SBM-DEA模型。借鉴Fried、Tone^[5,12]改进的包含非期望产出的超效率SBM-DEA模型测算,其优点是决策单元的效率值可以大于1,更能客观真实的反映辽宁省14市的真实情况,此模型已较为成熟,不再赘述。

第二阶段:构建相似SFA模型。第一阶段未考虑外部环境变量和随机误差的影响,不能客观真实反应决策单元真正的管理效率。因此在第二阶段中,根据Batese等^[13]的研究结果构建SFA回归模型,将松弛变量分解成包含环境因子、随机因素和管理无效率3个自变量函数。利用SFA的回归结果对n个决策单元的投入变量进行调整,得出相同外部环境下的新投入值。调整后可使所有决策单元都被调整至相同的外部环境,测出的碳排放效率值单纯反应管理水平。

第三阶段:调整后的DEA模型。将第二阶段调整后的投入数据代替原始的投入数据,产出数据不变,利用包含非期望产出的超效率SBM-DEA模型重新计算各市的碳排放效率,客观真实的反映各地区碳排放效率的实际状况。

1.3 耦合模型

耦合是物理学中的概念,指2个(或2个以上)体系通过相互作用而互相影响的现象。根据此概念,可将碳排放系统与经济发展系统、环境保护系统三者通过各自的耦合元素产生相互作用的现象定义为碳排放-经济发展-环境保护耦合,借助物理学中的耦合协调模型,得到辽宁省三元系统耦合公式^[14]:

$$C = \left\{ \frac{X \times Y \times Z}{[(X + Y + Z)/3]^3} \right\}^{1/3} \quad (1)$$

式中,C为三系统间的耦合度,取值在0~1之间,当C=1时,表示三大系统处于最佳耦合状态;C=0时,表示系统内部各要素之间无关,系统向无序发展;X、Y、Z分别代表碳排放、经济发展、环境保护三大系统的综合评价值。

由于耦合度只是描述子系统间相互作用程度,无法反映耦合协调水平的高低,因此本文引入耦合协调度模型来计算各系统间是否保持着良性互动和健康发展。计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (2)$$

$$T = \alpha X + \beta Y + \gamma Z \quad (3)$$

式中, D 为耦合协调度, T 为三元系统的综合评价指数, α 、 β 、 γ 表示待定系数,考虑碳排放、经济发展、环境保护三者同样重要,取 $\alpha=\beta=\gamma=1/3$ 。

2 指标选取

2.1 碳排放效率评价指标选取

根据数据可得性并参考相关成果^[15],将辽宁省作为决策单元,运用三阶段 DEA 测算碳排放效率。选取资本、劳动力、能源 3 个指标变量作为投入系统;GDP、二氧化碳排放量分别作为期望产出和非期望产出系统。由于缺少直接的资本统计数据,利用 1951 年戈登史密斯开创的永续盘存法,同时参考张军的研究方法计算资本存量^[16],以 2004 年为基期,对辽宁省各市的固定资本形成总额按照不变价格计算 2004~2015 年辽宁省各市的资本存量,单位为亿元;劳动力要素采取各市的年末从业人数,单位为万人;能源要素选取能源消费总量,单位为万 t 标准煤。期望产出 GDP 利用平减指数转换成 2004 年不变价格,调整为实际 GDP。外部环境变量的选择主要考虑对二氧化碳排放效率有显著影响但又不在于主观可控范围内的因素^[17],选取财政支出占 GDP 比重代表政府影响力,第三产业比重代表产业结构,以 2004 年为不变价格计算能源消费强度。

本文采用众多学者采用的碳排放系数法^[18]计算碳排放量,具体公式为:

$$C_i = \sum_j C_{ij} = \sum_j m_j \cdot \delta_j \quad (4)$$

式中, C_i 为*i*省的碳排放总量,单位为t; C_{ij} 为*i*省的第*j*种终端能源消费的碳排放量; m_j 为第*j*种终端能源的消费量,按标准煤计算; δ_j 为第*j*种终端能源的碳排放系数;*j*为能源种类。本文主要考虑了原煤、洗精煤、原油、天然气等,其中有 7 类能源的碳排放系数取自 IPCC 公布的数值^[19],根据 2008 年《中国能源统计年鉴》^[20]给出的“各种能源折标准煤参考系数”折算为标准煤,原始数据主要来源于 2005~2016 年的《辽宁统计年鉴》^[21]。

2.2 碳排放、经济与环境系统指标选取

基于碳排放与经济、环境的研究机理,并参考相关研究成果^[22],从碳排放效率和碳排放现状出发,选取 7 个指标测算碳排放综合指数;从经济规模和经济增长潜力方面出发,选取 10 个指标测算经济发展水平综合指数;从环境污染和环境治理两方面出发,选取 10 个指标测算环境水平综合指数,三大系统的主要指标见表 1。采用极差标准化法消除指标的数量级和量纲,综合选用层次分析法和变异系数法,主观权重和客观权重各取 0.5 计算各指标权重,以此构建评价指标体系。

3 结果分析

3.1 第一阶段、第三阶段的 DEA 实证结果

运用 DEA-SOLVER Pro5 软件包分别计算得第一阶段和第三阶段 2004~2015 年辽宁省各市碳排放效率平均值,见表 2。限于篇幅,第二阶段回归结果省略,对调整后的 3 种投入变量和原始产出变量重新计算,得到剔除了外部环境因素和随机误差的碳排放效率与未经调整的第一阶段碳排放效率之间的显著差异。

3.2 辽宁省碳排放效率总体分析

对比第一阶段结果,辽宁省技术效率平均值由 0.603 下降到 0.398,降幅为 33.99%;纯技术效率平均值由 0.857 上升到 0.915,升幅为 6.76%;规模效率由 0.704 下降到 0.431,降幅为 38.77%。可见,调整环境因素和管理无效率因素后,碳排放技术效率下降的主要原因是规模效率较低,而非技术管理水平的绝对低下。从各地级市看,只有大连的技术效率上升,其他地区均不同程度下降。除本溪、锦州、辽阳、盘锦外,其他地区的纯技术效率均上升,表明多数地区纯技术效率较低的原因与外部环境较差有关。规模效率均降幅较大,表明原先辽宁省较高的技术效率和规模效率是其具有较好的外部环境,而实际的技术管理水平以及生产规模并非那么高,因此,继续扩大生产规模应作为重点。

采用变异系数和基尼系数探究辽宁省总体的碳排放效率的时间变化规律,见图 1。辽宁省的变异系数以及基尼系数走向相一致,整体呈现波动下降趋势。变异系数由 2004 年的 0.745 下降到 2015 年的 0.399;基尼系数由 2004 年的 0.445 下降到 2014 年的 0.313。其中,2005 年变异系数最高,达到 0.873;变异系数与基尼系数的最小值也同时

表1 碳排放-经济发展-环境保护系统综合评价指数

Table 1 Evaluation index system of 3E system

一级指标	二级指标	三级指标	单位	权重
碳排放	碳排放效率	技术效率	/	0.1686
		纯技术效率	/	0.1524
		规模效率	/	0.1637
	碳排放现状	人均碳排放量	t/人	0.1360
		碳排放密度	10 ⁴ t/km ²	0.1254
		碳排放强度	t/万元	0.1489
		碳生产力	元/t	0.1050
经济发展	经济规模	人均地区生产总值	元	0.1185
		城镇居民人均可支配收入	元	0.1094
		人均固定资产投资	元	0.1273
		非农产业比重	%	0.1178
		人均社会消费品零售额	元	0.0655
	经济增长潜力	第三产业比重	%	0.0991
		财政支出比重	%	0.0665
		GDP增长率	%	0.0984
		经济密度	10 ⁴ t/km ²	0.1123
		在岗职工平均工资	元	0.0852
		万元GDP能耗	10 ⁴ t标准煤	0.1206
环境保护	环境污染	万元GDP的SO ₂ 排放强度	kg	0.0834
		工业烟尘排放量	t	0.1070
		人均水资源占有量	m ³ /人	0.0852
		平均气温	℃	0.0889
		环境治理	森林覆盖率	%
	工业固体废弃物综合利用率		%	0.0965
	工业烟尘去除量		10 ⁴ t	0.1066
	建成区绿化覆盖率		%	0.1021
	环保投入占GDP比重		%	0.1120

注:/为空白项。

出现在2015年,收敛速度在2007~2012年之间速度较小,2013~2015年的收敛的速度明显加快。这表明,随着近几年政府对碳排放的干预,碳排放效率逐步提高,呈收敛趋势,各城市之间的碳排放效率差异也逐渐缩小。

3.3 辽宁省碳排放效率空间差异分析

参照相关学者研究^[23],同时用ArcGIS将第一阶段和第三阶段计算出的辽宁省14市12 a间的碳排放效率的平均值分为3类,调整前的高效率区(0.667~1.000)包括:沈阳、大连、鞍山、锦州、辽阳,其他9个地区均为中效率区,该结果未能明显体现辽宁省各地区的碳排放效率的差异。调整后的高效率区包括:沈阳、大连、鞍山。这3个城市拥有较好的经济水平和政策支持,为碳生产力和能源利用

率提供了有利的支撑,碳排放效率远高于其他地区。中效率区(0.333~0.667)包括:抚顺、丹东、锦州、营口、辽阳。这类地区的经济与碳排放效率均处于辽宁省中等水平,规模效率是限制该地区经济发展和碳排放效率的瓶颈,因此,扩大生产规模,增加要素投入是提升该类地区碳排放效率的重要途径。低效率区(0~0.333)包括:本溪、铁岭、盘锦、阜新、朝阳、葫芦岛。其中铁岭、阜新、朝阳、葫芦岛由于科技和经济水平落后导致生产规模受限,因此碳排放效率较低。本溪和盘锦处于该类地区的原因并不是经济发展水平低,而是土地面积小,人均能耗和经济密度较高,因此单位土地面积碳排放量极高,超过生态环境自净能力。

通过对比分析得知,第三阶段测算的碳排放

表2 2004~2015年辽宁省各市第一阶段和第三阶段碳排放效率测算结果

Table 2 Carbon emissions efficiency reckoning result on first stage and third stage of cities of Liaoning Province in 2004-2015

城市	第一阶段DEA测算结果(2004~2015年均值)			第三阶段DEA测算结果(2004~2015年均值)			2015年 GDP排名
	技术效率(TE)	纯技术效率(PTE)	规模效率(SE)	技术效率(TE)	纯技术效率(PTE)	规模效率(SE)	
沈阳	0.801	0.806	0.994	0.777	0.972	0.800	2
大连	0.787	0.795	0.990	0.856	0.965	0.886	1
鞍山	0.850	0.879	0.966	0.740	0.930	0.796	3
抚顺	0.572	0.769	0.744	0.373	0.890	0.419	7
本溪	0.456	0.986	0.463	0.273	0.863	0.348	8
丹东	0.661	0.957	0.691	0.335	0.961	0.323	9
锦州	0.994	0.998	0.996	0.384	0.913	0.421	6
营口	0.547	0.793	0.690	0.369	0.928	0.397	4
阜新	0.401	0.929	0.432	0.167	0.961	0.174	14
辽阳	0.694	0.992	0.699	0.334	0.842	0.396	10
盘锦	0.344	0.874	0.394	0.219	0.801	0.273	5
铁岭	0.455	0.730	0.623	0.265	0.935	0.283	11
朝阳	0.368	0.753	0.489	0.206	0.959	0.215	12
葫芦岛	0.513	0.732	0.701	0.301	0.894	0.337	13
均值	0.603	0.857	0.704	0.398	0.915	0.431	/

注:/为空白项。

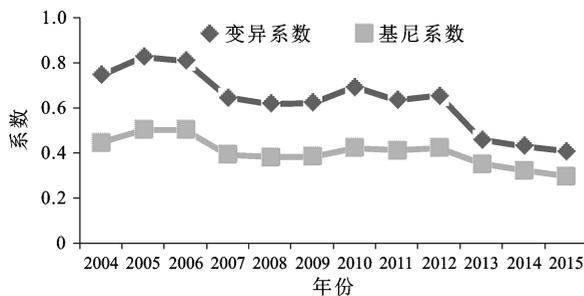


图1 辽宁省碳排放效率基尼系数和变异系数变化

Fig.1 The change of Gini coefficient and variation coefficient of carbon emission efficiency in Liaoning Province

效率结果更符合辽宁省实际情况。分析发现,区域经济发展水平的高低与碳排放效率和环境保护有直接关系,因此下文将碳排放的技术效率、纯技术效率与规模效率纳入到碳排放系统中,并与经济发展指数和环境保护指数做耦合协调分析,测算并分析三者间的协调发展水平。

4 耦合协调关系分析

4.1 三者耦合协调关系分析

4.1.1 总体分析

根据公式(1)~(3)计算得到2004~2015年辽宁省14市碳排放-经济发展-环境保护三者之间的耦合协调度,限于篇幅,计算结果未列出。参考相关

学者关于耦合度的划分标准^[24],见表3,分析发现:从均值看,辽宁省三大系统耦合协调度由2004年的0.305上升到2015年的0.481,呈平稳上升并向着良性协调方向发展,表明近些年产业结构优化升级初见成效,环境质量略有改善,这与近几年辽宁省产业转型和低碳发展政策密不可分。尽管如此,仍未能实现从失调向协调的跨越,说明辽宁省区域碳排放-经济发展-环境保护三者之间的耦合协调关系较为稳定。2010年以来,全国GDP增长率下降,而辽宁省GDP增长率更是低于全国平均水平,巨大的经济压力影响了三者间的协调关系,亟需采取措施改善这一现状。对于辽宁省各地区,沈阳、大连分别以0.535、0.521处于勉强失调状态;鞍山、丹东、营口、辽阳分别以0.407、0.422、

表3 耦合度的划分标准及类型

Table 3 Criteria and types of coupling degree

失调衰退类		协调发展类	
协调度	类型	协调度	类型
0.00~0.09	极度失调衰退类	0.50~0.59	勉强协调发展类
0.10~0.19	严重失调衰退类	0.60~0.69	初级协调发展类
0.20~0.29	中度失调衰退类	0.70~0.79	中级协调发展类
0.30~0.39	轻度失调衰退类	0.80~0.89	良好协调发展类
0.40~0.49	濒临失调衰退类	0.90~1.00	优质协调发展类

0.409和0.404处于濒临失调状态;其他9个地区均在0.300~0.390之间,为轻度失调状态。经济发达的沈阳和大连三大系统耦合协调水平远高于经济相对落后的省内其他地区,且领先优势越来越明显。上述实证结果表明,辽宁省三大系统呈耦合优化态势,但多数城市尚未达到临界水平,且各地区差异水平较大。

4.1.2 各地区分析及时空分异规律

根据计算结果得到2005年、2010年和2015年辽宁省碳排放、经济发展与环境保护三者之间的耦合协调空间分布图,图2显示:从时空演变看,2004~2015年辽宁省3E系统耦合关系空间上呈“从中部向两边递减的规律”。具体表现为2005年,沈阳和大连为濒临失调;抚顺、丹东、营口、辽阳、朝阳为轻度失调;鞍山、本溪、阜新、铁岭和葫芦岛为中度失调。2005~2010年,沈阳和大连经过5a的发展实现由失调向协调的转变;鞍山、抚顺、丹东、锦州、营口、辽阳、阜新和盘锦分别由轻度协调和轻度失调发展到濒临失调;朝阳和本溪仍为轻度失调水平。2010~2015年,沈阳和大连由勉强协调发展到初级协调,丹东和锦州实现由濒临失调向勉强协调跳跃;除本溪仍为轻度失调外,其他地区均为濒临失调。

上述递进规律表明:以沈阳、大连为核心的辽宁省中南部地区的耦合协调度要好于中南部外围的丹东、锦州等城市,这2个城市由于碳排放低、环境好,三元系统耦合协调优势正在突显;中部外围的抚顺、营口、盘锦、辽阳、铁岭、阜新、葫芦岛多为能源型城市,资源环境压力较大,但仍好于经济较差的朝阳和经济密度较高的本溪。鉴于以上时空

变异规律,沈阳和大连应以雄厚的经济实力为依托,以科技创新带动能源高效率利用和环境保护,并发挥全省的带动作用;其他各地区应结合本区域的实际发展状况,将资源优势转化为经济效益优势,尽量摆脱高污染、高消耗的发展模式;朝阳、阜新由于生态环境脆弱,不应片面追求经济效益而破坏环境。此外,省内各城市均应采取相应措施,防止3E系统陷入失调恶化状态。

4.2 三元耦合关系预测

参照王龙等^[25]学者的研究成果,用数列预测对辽宁省三元系统耦合2016~2020年的发展趋势做出预测,借助DPS9.50软件,选取辽宁省14市2004~2015年3个系统的耦合协调度为分析数据,预测时间长度为5a,残差重复次数为3,得到三大系统耦合协调预测结果,见表4。结果显示:按照辽宁省目前的发展状况,碳排放、经济发展与环境保护的耦合协调度2016~2020年的发展大致延续2004~2015年的变化特征,均不同程度的呈小幅度上升趋势。其中:大连、沈阳由初级协调上升到中级协调发展;锦州、盘锦由勉强协调上升到初级协调;鞍山、抚顺、营口、阜新、铁岭、葫芦岛由濒临失调上升到勉强协调;只有本溪和朝阳仍为濒临失调。预测结果显示,辽宁省3E系统耦合协调发展大有改善,总体上提升速度较好,但仍有城市进步速度缓慢,进步较大的城市均为经济发展水平较好的城市,要达到三大系统协调发展仍需要扩大生产规模。该预测结果表明碳排放效率、经济发展与环境保护之前的协调发展并不理想,若不采取相应措施,经济发展与生态环境之间的矛盾将

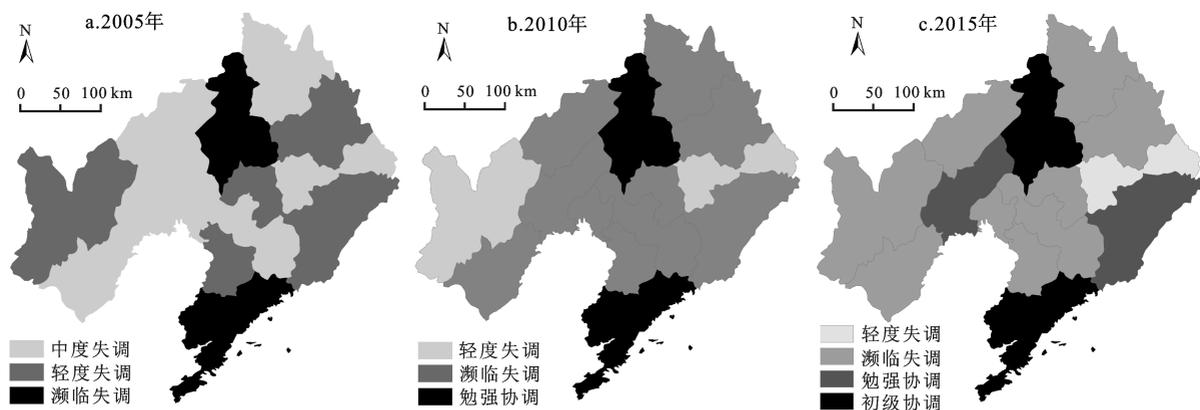


图2 2005年、2010年、2015年辽宁省碳排放、经济发展与环境保护三者之间的耦合协调空间分布

Fig.2 The spatial distribution of coupling coordinative degree of carbon emissions, economic development and environmental protection in Liaoning Province in 2005,2010 and 2015

表4 辽宁省碳排放-经济发展-环境保护耦合协调发展预测

Table 4 Forecast of coupling coordinative degree among the 3E systems of Liaoning Province

预测年份	沈阳	大连	鞍山	抚顺	本溪	丹东	锦州	营口	阜新	辽阳	盘锦	铁岭	朝阳	葫芦岛
2016	0.643	0.679	0.435	0.465	0.412	0.514	0.562	0.484	0.481	0.495	0.511	0.493	0.442	0.513
2017	0.682	0.707	0.450	0.475	0.435	0.531	0.596	0.497	0.501	0.509	0.539	0.511	0.462	0.542
2018	0.723	0.737	0.465	0.497	0.448	0.548	0.630	0.510	0.514	0.527	0.576	0.531	0.478	0.552
2019	0.758	0.768	0.480	0.512	0.460	0.565	0.652	0.524	0.521	0.547	0.605	0.552	0.484	0.572
2020	0.776	0.790	0.501	0.526	0.485	0.583	0.681	0.538	0.534	0.566	0.632	0.587	0.498	0.596

日益突出。

5 结论与建议

5.1 结论

1) 本文通过三阶段DEA测算辽宁省2004~2015年各市的碳排放效率,剔除环境因素和随机误差的影响后,辽宁省各市的碳排放效率发生较大变化。其中,技术效率下降的主要原因是规模效率较低,并非纯技术效率低。因此,将分解的纯技术效率和规模效率纳入到碳排放系统评价中,能剔除环境因素和随机误差的影响,体现碳排放的实际水平。

2) 构建辽宁省碳排放-经济-环境三者之间的耦合协调模型,并对耦合协调关系进行分析。辽宁省各地区3E系统耦合协调度呈现持续上升的良好态势,主要得益于经济系统,这表明保持合理的经济增速是必要的。即便如此,各市的3E系统耦合协调水平仍然较低,实现可持续发展任重道远。辽宁省3E系统耦合协调水平呈有规律的“递进式”进步。这种规律表现为沈阳、大连领先;抚顺、丹东、锦州、营口、阜新、辽阳、盘锦、铁岭和葫芦岛中等水平;本溪、朝阳最低的空间演变规律。该结果证明基于三阶段DEA模型测算出的碳排放效率运用到耦合协调模型中,与辽宁省的实际情况相符合,可信度高。

3) 运用灰色GM(1.1)模型预测辽宁省2016~2020年3E系统的耦合协调度,预测结果显示辽宁省2016~2020年3E系统耦合协调发展略有改善。14个地区中,只有本溪和朝阳未达到协调水平其他地区均达到协调水平,表明辽宁省节能减排取得较好效果,但个别地区提升速度较慢,区域差异明显,若不采取相应措施,将不利于2020年中国政府碳排放量减少40%~50%的承诺,经济发展与生态环境之间的矛盾也将愈发突出。

5.2 政策建议

笔者认为,要提升3E系统耦合水平并缩小地区间差距,全省各地区需结合本区域实际发展状况和比较优势,科学制定发展政策。沈阳、大连应以雄厚的经济实力为基础,发挥比较优势,用技术创新带动碳排放效率和环境保护能力的提高。此外还应控制人口数量,减轻人口迅速增长给生态环境带来的压力,利用经济和人才优势加快技术创新实现产业转型,带动省内其他城市走新型工业化道路。鞍山应控制大型国有企业的规模,降低工业烟尘排放量。丹东、朝阳、阜新和葫芦岛可利用丰富的旅游资源提高地区生产总值,打造旅游特色城市,在发展经济的同时优化产业结构。抚顺、本溪、盘锦、铁岭应实施控制能源消耗量与提高碳排放效率并重的措施。这些地区一方面要限制污染重的大型国有企业,降低工业废气和烟尘,提高城市绿化率和森林汇碳;另一方面应利用与中部地区的优势地理位置学习先进科学技术提高碳排放效率,尤其是本溪、朝阳等城市。此外,各地区均需采取相应措施,促进区域碳排放、经济发展与环境保护协调可持续发展。

参考文献(References):

- [1] Zhou P, Ang B W, Han J Y. Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis[J]. Energy Economics, 2010, 32(1):194-201.
- [2] Herralá R, Goel R K. Global CO₂ efficiency: Country-wise estimates using a stochastic cost frontier[J]. Energy Policy, 2012, 45(6):762-770.
- [3] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429-444.
- [4] 华坚, 任俊, 徐敏, 等. 基于三阶段DEA的中国区域二氧化碳碳排放绩效评价研究[J]. 资源科学, 2013, 35(7):1447-1454. [Hua Jian, Ren Jun, Xu Min et al. Evaluation of Chinese regional carbon dioxide emissions performance based on a Three-Stage

- DEA model. *Resources Science*, 2013, 35(7):1447-1454.]
- [5] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1):157-174.
- [6] Tucker M. Carbon dioxide emissions and global GDP[J]. *Ecological Economics*, 1995 (15) : 215 -223.
- [7] 张红丽, 沈镭, 李艳梅. 京津冀经济活动隐含的碳排放转移——基于多区域投入产出模型的分析[J]. *资源科学*, 2017, 39(12): 2287-2298. [Zhang Hongli, Shen Lei, Li Yanmei. Carbon dioxide emission transfers embodied in interregional economic activities in Beijing-Tianjin-Hebei according to multiregional input-output model. *Resources Science*, 2017, 39(12):2287-2298.]
- [8] 邹辉, 段学军. 长江经济带经济-环境协调发展格局及演变[J]. *地理科学*, 2016, 36(9):1408-1417. [Zou Hui, Duan Xuejun. Pattern evolution of economy-environment coordinated development in the Changjiang River Economic Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9):1408-1417.]
- [9] 孙东琪, 张京祥, 张明斗, 等. 长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(7):1060-1071. [Sun Dongqi, Zhang Jinxiang, Zhang Mingdou et al. Coupling relationship between urbanization efficiency and economic development level in the Yangtze River Delta. *Progress in Geography*, 2013, 32(7):1060-1071.]
- [10] 盖美, 王宇飞, 马国栋, 等. 辽宁沿海地区用水效率与经济的耦合协调发展评价[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(12):2081-2094. [Gai Mei, Wang Yufei, Ma Guodong et al. Evaluation of the coupling coordination development between water use efficiency and economy in Liaoning Coastal Economic Belt. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(12):2081-2094.]
- [11] 陈巍巍, 张雷, 马铁虎, 等. 关于三阶段DEA模型的几点研究[J]. *系统工程*, 2014(9):144-149. [Chen Weiwei, Zang Lei, Ma Tiehu et al. Research on three-stage DEA model. *Systems Engineering*, 2014(9):144-149.]
- [12] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach[J]. *The Operations Research Society of Japan*, 2004.
- [13] Battese G E, Coelli T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data [J]. *Empirical*, 1995, 20(2):325-332.
- [14] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系[J]. *热带地理*, 1999, 19(2):171-177. [Liao Zhongbin. Environment and economical coordinated development quota judgment and classified system. *Tropical Geography*, 1999, 19(2):171-177.]
- [15] 马海良, 黄德春, 姚惠泽. 中国三大经济区域全要素能源效率研究——基于超效率DEA模型和Malmquist指数[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(11):38-43. [Ma Hailiang, Huang Dechun, Yao Huize. Total-factor energy efficiency analysis of three major economic regions in China based on super-DEA and malmquist. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(11):38-43.]
- [16] 张军, 章元. 对中国资本存量K的再估计[J]. *经济研究*, 2003 (7):35-43. [Zhang Jun, Zhang Yuan. To estimate Chinese capital storage quantity K again. *Economic Research Journal*, 2003 (7):35-43.]
- [17] 黄德春, 董宇怡, 刘炳胜. 基于三阶段DEA模型中国区域能源效率分析[J]. *资源科学*, 2012, 34(4):688-695. [Huang Dechun, Dong Yuyi, Liu Bingsheng. Research on regional energy efficiency in China based on three-stage DEA model. *Journal of Natural Resources*, 2012, 34(4):688-695.]
- [18] 张小平, 方婷. 甘肃省碳排放变化及影响因素分析[J]. *干旱区地理(汉文版)*, 2014, 35(5):487-493. [Zhang Xiaoping, Fang Ting. Variations and influential factors of agricultural carbon emissions in Gansu Province. *Arid Land Geography*, 2014, 35(5): 487-493.]
- [19] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volume II [R]. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies, 2008.
- [20] 中华人民共和国国家统计局. 中国能源统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China energy statistical yearbook (2015)*. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [21] 中华人民共和国国际统计局. 辽宁统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *Liaoning statistical yearbook(2015)*. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [22] 周成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济-生态环境-旅游产业耦合协调发展分析与预测——以长江经济带沿线各省市为例[J]. *经济地理*, 2016, 36(3):186-193. [Zhou Cheng, Feng Xuegang, Tang Rui. Analysis and forecast of coupling coordination development among the regional economy-ecological environment-tourism industry: A case study of provinces along the Yangtze Economic Zone. *Economic Geography*, 2016, 36(3):186-193.]
- [23] 董峰, 刘晓燕, 龙如银. 基于三阶段DEA模型的我国碳排放效率分析[J]. *运筹与管理*, 2014, 23(4):196-205. [Dong Feng, Liu Xiaoyan, Long Ruyin. Analysis of carbon emission efficiency in China based on three-stage DEA mode. *Operation Research and Management Science*, 2014, 23(4):196-205.]
- [24] 逮进, 常虹, 汪运波. 中国区域能源、经济与环境耦合的动态演化[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(2):60-68. [Lu Jin, Chang Hong, Wang Junbo. Dynamic evolution of provincial energy economy and environment coupling in China's regions. *China Population, Resources and Environment* 2017, 27(2):60-68.]
- [25] 王龙, 徐刚, 刘敏. 基于信息熵和GM(1,1)的上海市城市生态系统演化分析与灰色预测[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(6): 2262-2271. [Wang Long, Xu Gang, Liu Min. Analysis and forecasting of shanghai urban ecosystem evolution based on information entropy and GM(1,1). *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(6):2262-2271.]

Regional Carbon Emissions, Economic Development and Environmental Protection Coupling in Liaoning Province

Gai Mei¹, Zhang Fuxiang^{2,3}

(1. Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;

2. School of Urban and Environment Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Chuangchun 130102, Jilin, China)

Abstract: With the carbon emissions rapid increased, the conflict developed among carbon emissions, economic development, and environmental protection. Liaoning Province is a typical province with high energy consumption, economic burden and environmental pollution. Therefore, the research has become a new breakthrough, which in alleviating the contradiction between the social economy and the environment. In this article, based on the three stage DEA model, we can calculate carbon emissions efficiency which is divided into technical efficiency, pure technical efficiency, and scale efficiency of 14 cities in Liaoning Province from 2004 to 2015. Then three coupling model was established to analyze the relationship among the carbon emissions, economic development, and environmental protection (3E system). Meanwhile, GM(1.1) forecast model was also used to analyze the 3E system coupling in Liaoning province from 2016 to 2020, but the results are not optimistic. Based on the forecast results, it is necessary for Liaoning Province to take corresponding measures to solve these problems. The results show that the 3E system coupling in Liaoning Province is still at a low level. Of all the cities in Liaoning Province, Shenyang and Dalian have been leading all the time. In other twelve cities, Anshan, Fushun, Dandong, Jinzhou, Yingkou, Liaoyang, Panjin, Fuxin, Tieling, Huludao show moderate levels; while Benxi, Chaoyang have the lowest level. The coupling degree of 3E system has been promoted during these twelve years. However, the level of 3E system coupling is still low, which has a big margin for improvement. According to the conclusion, taking carbon emissions efficiency as the evaluation index of carbon emissions system is suitable, and the results are coincide with actual situation in Liaoning Province. In order to improve the coupling degree of 3E system and reduce regional differences, we believe that all the regions should unify their own actual development situation, compare superiority and make science formulation development policy. Overall, every city should take appropriate measures to promote region carbon emissions, economic development, and environmental protection.

Key words: three-stage DEA; carbon emissions efficiency; three coupling model; GM(1.1) forecast model