

区域产业结构低碳化测度及差异研究

丁跃进, 汤昱琳

摘要: 研究产业结构低碳化问题的关键是对产业结构低碳化水平进行测度。首先, 采集我国 30 个省、市、自治区 (除西藏外) 2003—2013 年的统计数据测算各区域的碳排放量, 并用模糊隶属度函数法对区域产业结构低碳化进行评价; 其次, 使用极差法、变异系数法以及泰尔指数等方法对区域产业结构的差异进行分析。结果表明: 样本区域产业结构低碳化水平总体呈上升趋势, 说明在样本研究期间中国碳减排工作有一定成效; 各区域之间发展产业结构低碳化水平不一, 除东部地区以外, 西部、中部、东北 3 个区域内差异逐步减小; 区域内差异与区域间差异均有所下降, 这与近年来国家关于区域低碳化发展的政策有直接联系。

关键词: 产业结构低碳化; 模糊隶属度; 泰尔指数; 区域差异

作者简介: 丁跃进, 常州大学商学院教授, 硕士生导师; 汤昱琳, 常州大学商学院硕士研究生。

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **Doi:** 10. 3969/j. issn. 2095-042X. 2016. 02. 008

为推进全球气候治理进程, 中国于 2015 年 6 月向联合国作出了“2030 年单位 GDP 二氧化碳排放量比 2005 年下降 60%—65%, 且 CO₂ 排放量 2030 年左右达到峰值”的减排承诺, 因此, 中国走绿色、低碳经济发展道路已成必然。碳减排是中国经济转型的一项重要举措, 而产业结构低碳化无疑是实现碳减排目标和经济低碳转型的发展方向。因此, 研究区域产业结构低碳化水平、掌握各区域产业结构低碳化的差异情况对实现碳减排目标、经济低碳转型具有重要的理论和现实意义。

一、文献回顾

在产业结构研究方面, C Clark^[1]首先肯定了产业结构的动态发展对经济增长的重要性。干春晖等^[2]从产业内和产业间差距的视角研究了中国自改革开放后区域经济发展差距问题。Bert Hofman 与 Kelly^[3]在研究中国经济与能源消耗时发现, 在产业结构比较高级的地区产业结构的变化对能源消耗的影响更明显。随着全球碳减排问题的研究深入, 学者发现, 经济欠发达区域会受到经济发展较好区域资本报酬递减的影响, 还会增加减排成本, 此类区域的经济长期得不到较好的发展, 将导致各经济区域间的发展差异加大。产业结构低碳化就是以低碳经济与产业结构优化为基底, 以经济、环境与能源的协调发展为目标, 以科技推动低碳化为核心, 通过提高能源使用效率, 实现产业节能减排、生产方式转变和产业结构调整^[4]。

在产业结构低碳化研究方面, 吴振信^[5]将环境库兹涅茨曲线与产业结构因素相结合, 发现产业结构、经济增长以及碳排放量存在长期协整关系。潘佳佳^[6]运用 LMDI 方法, 利用中国 1995—2007 年工业能源消耗数据, 研究发现人口、经济与能源消费结构是影响中国工业 CO₂ 排放总量、人均工业 CO₂ 排放量和工业 CO₂ 排放强度的主要因素。赵荣钦等^[7]从碳足迹角度出发, 通过建立能源消费碳排放和碳足迹模型, 预测了各省区化石能源消费以及农村物质能源消费的碳排放量。郭朝先^[8-9]先后使用 SDA 分解法和 LMDI

因素分解法对中国产业结构与 CO₂ 关系进行分析并预测 CO₂ 排放量, 得出产业结构变化有益于控制碳排放量的结论。贺丹、田立新^[10], Decai Tang 等^[11], Qian Cheng 等^[12] 运用指标评价法, 分别测度了不同行业产业结构低碳化发展水平。然而, 中国产业结构发展水平本来就存在区域差异, 多数学者研究产业结构低碳化倾向于理论上的补充。本文在已有研究的基础上, 使用模糊隶属度函数法测度 2003—2013 年中国 30 个样本区产业结构低碳化水平, 研究不同空间尺度下区域产业结构低碳化发展水平, 了解中国产业结构低碳化的区域差异, 从区域间差异和区域内差异两方面来揭示产业结构低碳化的变动方向。

二、区域产业结构低碳化发展水平测算

(一) 构建指标体系

评价产业结构低碳化有助于分析产业结构的发展水平。本文遵循产业结构低碳化概念、低碳经济内涵, 并考虑我国统计资料的完整性与数据资料可得性的实际情况来确定指标。采用的指标主要借鉴庄贵阳^[13]、王韶华^[14]与 UNIDO (联合国工业发展组织)^[15]等的研究成果。本文所构建的产业结构低碳化水平综合评价指标体系包括 3 个层面的内容: (1) 产业低碳产出; (2) 产业低碳能耗; (3) 产业低碳排。其中, 产业低碳产出指标测度碳减排成本与经济发展状况的关系; 产业低碳能耗指标测度低碳生产的能源消费和利用程度的情况; 产业低碳排指标测度产业结构发展与碳排放量的关系。具体指标如表 1 所示。

表 1 产业结构低碳化测算指标体系

目标层	准则层	指标名称	指标代码/单位
产业结构低碳化水平	产业低碳产出 (O)	第一产业碳生产力	O ₁ / (万元/吨)
		第二产业碳生产力	O ₂ / (万元/吨)
		第三产业碳生产力	O ₃ / (万元/吨)
		低碳产业产值占比	O ₄ / %
		碳汇产业产值占比	O ₅ / %
	产业低碳能耗 (C)	第一产业能源强度	C ₁ / (吨标准煤/万元)
		第二产业能源强度	C ₂ / (吨标准煤/万元)
		第三产业能源强度	C ₃ / (吨标准煤/万元)
		主要能源消费占比	C ₄ / %
	产业低碳排 (E)	第一产业 CO ₂ 排放	E ₁ / 亿吨
		第二产业 CO ₂ 排放	E ₂ / 亿吨
		第三产业 CO ₂ 排放	E ₃ / 亿吨

产业低碳产出准则层是产业结构低碳化评价体系的核心部分。其中, 碳生产力是指单位碳排放量所对应的 GDP 总额^[16], 该指标将能源消耗所引起的碳排放与某一经济体的国内 GDP 相联系, 衡量低碳化发展水平, 指标值越大, 低碳化发展水平越高。此外, 产业低碳产出准则层还包括低碳产业产值占比指标以及碳汇产业产值占比指标。低碳产业是指在生产、流通和消费过程中碳排放量值最小或区域无碳的产业^[17]。高新技术产业具有低能耗、低污染和低碳排等特点, 是未来发展低碳产业的重要方向; 第三产业与第一产业中农林牧渔服务业是典型的低碳产业。因此将高新技术产业产值、第三产业与第一产业中农林牧渔服务业产值的总和与 GDP 的比值表示低碳产业产值占比指标。碳汇是从空气中清除 CO₂ 的过程、活动、机制, 是一国实现低碳化的重要基础, 而森林产业的发展规模对碳汇的发展水平起到了积极的促进作用^[18], 有利于碳汇率的提高, 因此, 将森林产业产值与 GDP 的比值表示碳汇产业产值占比指标。

产业低碳能耗准则层主要包括三大产业的能源强度以及主要能源消耗量占比等四个指标。产业能源

强度是边际碳减排成本的代表, 考虑到不同产业能源消耗所产生的碳排放量不同, 将能源消耗折算成标准煤与各产业产值的比值来反映产业经济对能源的依赖程度。产业的发展水平直接影响能源的消费量, 进而促进能源消费结构的优化、降低单位能耗^[19]。而能源的消费结构又关系到我国能源技术的开发、能源消耗量与碳排放量。我国是以煤炭能源为消费主体的国家, 煤炭的消费水平对我国产业结构低碳化发展起关键性作用^[20], 考虑到各区域的能源消耗现状与数据的可得性, 文章选取煤炭能源消耗量与总能源消耗量的比值作为主要能源消费指标。

产业低碳排准则层选取第一产业、第二产业及第三产业的 CO₂ 排放量作为三个指标。产业低碳排旨在衡量该产业在生产活动中所导致的较低的二氧化碳排放水平。三大产业在产品特征、能源消费结构以及资源利用率等方面存在差异, 因此各产业所产出碳排放水平不同。也就是说, 产业结构的变动将对整个社会的碳排放产生影响, 而各产业的碳排放水平是影响产业结构低碳化的重要因素, 因此选取各地区三大产业 CO₂ 排放量来表示产业碳排放水平。

(二) 指标数据的计算

1. 二氧化碳排放量的测算

本文采用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》估算能源的方法计算CO₂排放量。通过查阅2004—2014年《中国能源统计年鉴》中各省市自治区的地区能源平衡表, 从分类统计的能源中选择了原煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化气、天然气等主要能源的数据进行计算。化石燃料燃烧产生CO₂排放量按照以下公式测算:

$$T_i = \sum_{j=1}^8 En_j \cdot COD_j \quad (1)$$

$$COD_j = CF_j * C_{CO_2j} \cdot COF_j \cdot C_j \quad (2)$$

其中, CF_j 表示第 j 种化石能源的低位发热量; C_{CO_2j} 表示第 j 种化石能源的碳排放因子; COF_j 表示第 j 种化石能源的碳氧化率; C_j 表示第 j 种化石能源的碳转化系数; i 表示样本容量为 i 个省区, j 表示有 j 种化石能源; En_j 表示第 j 种化石能源在某年的消费总量; COD_j 表示第 j 种化石能源的 CO₂ 碳排系数。计算结果如表 2 所示。

2. 能源消耗量的计算

各化石能源折算为标准煤的计算公式如下:

$$\sum_{j=1}^8 EC_j = \sum_{j=1}^8 En_j \cdot f_j \quad (3)$$

其中, EC_j 表示第 j 种化石能源折算为标准煤的能源消耗量, En_j 表示第 j 种化石能源的消费总量, f_j 表示第 j 种能源的标准煤折算系数。

表 2 CO₂ 排放系数的相关数据

能源种类	平均低位发热量系数 / (Kj/Kg)	热值 / (Kcal/Kg)	碳氧化率	碳排放系数 / (KgC/Kg) 或 (KgC/m ³)	CO ₂ 排放系数 / (Kg CO ₂ /Kg) 或 (Kg CO ₂ /m ³)
原煤	20 908	4 275.78	0.923	0.449	1.647
焦炭	28 435	6 821.23	0.928	0.776	2.848
汽油	43 070	10 747.01	0.981	0.83	3.045
煤油	43 070	10 735.02	0.986	0.865	3.174
柴油	42 652	10 394.38	0.982	0.858	3.15
燃料油	43 070	9 641.13	0.985	0.835	3.064
液化石油气	50 179	10 920.5	0.99	0.775	2.841
天然气	38 931	9 339.11	0.99	5.905	21.67

3. 其他各指标确定

将计算所得的 CO₂ 排放量分别除以相应的产业产出, 得到产业碳生产力; 将产业能源消费总量除以相应的产业产出, 得到产业能源强度; 高新技术产业产值数据从 2004—2014 年《高新技术产业年鉴》整理所得; 其他指标数据可根据历年《中国统计年鉴》计算所得。

4. 数据标准化处理

由于各指标实际意义不同, 各指标对产业结构低碳化水平的作用方向也不同, 因此, 首先要对各指标进行无量纲化处理。鉴于统计数据不完善、评价维度不确定性等模糊情况的存在, 本文利用 L A Zadeh 提出的模糊隶属度函数法对各指标进行无量纲化处理^[21]。

(三) 区域产业结构低碳化测算结果及分析

由于区域产业结构低碳化评价的复杂性, 其评价指标体系反映的信息量也很复杂, 难以进行主观量化, 因此本文引入熵权法。熵权法作为客观定权法综合考虑各指标提供的信息量, 弥补了诸如因子分析法等主观赋权法可能丢失部分信息的缺陷^[22]。依据前文所构建的评价指标体系, 得到 2003—2013 年各年产业结构低碳化评价指标的权重(见表 3)。

表 3 产业结构低碳化评价指标权重

年份 \ 指标	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	E ₁	E ₂	E ₃
2003	0.209 1	0.114 5	0.092 3	0.100 1	0.332 2	0.019 7	0.014 7	0.015 0	0.052 2	0.018 0	0.016 5	0.015 7
2004	0.186 1	0.114 0	0.083 7	0.114 0	0.334 5	0.021 8	0.015 7	0.016 4	0.060 9	0.018 4	0.017 3	0.017 2
2005	0.190 0	0.120 8	0.088 3	0.029 1	0.377 4	0.026 6	0.016 5	0.017 0	0.077 8	0.020 5	0.018 3	0.017 9
2006	0.211 2	0.110 8	0.089 1	0.081 8	0.309 9	0.025 9	0.016 5	0.016 4	0.083 8	0.019 5	0.017 7	0.017 2
2007	0.200 3	0.106 7	0.091 1	0.092 3	0.301 2	0.026 1	0.016 2	0.016 6	0.094 0	0.020 2	0.018 0	0.017 3
2008	0.185 2	0.107 1	0.099 9	0.105 9	0.277 9	0.025 7	0.016 2	0.018 3	0.107 6	0.019 8	0.018 3	0.018 0
2009	0.202 0	0.107 8	0.102 6	0.101 3	0.277 4	0.021 6	0.019 1	0.019 4	0.089 3	0.020 9	0.019 3	0.019 4
2010	0.181 6	0.108 1	0.105 3	0.113 2	0.276 7	0.019 2	0.020 7	0.023 9	0.090 1	0.021 4	0.020 0	0.020 0
2011	0.175 6	0.126 3	0.102 4	0.128 6	0.251 5	0.022 8	0.023 3	0.017 9	0.090 0	0.021 5	0.020 3	0.019 9
2012	0.166 0	0.138 0	0.120 6	0.124 6	0.248 3	0.020 9	0.029 9	0.017 9	0.071 9	0.022 7	0.020 4	0.019 0
2013	0.176 2	0.123 6	0.115 8	0.119 9	0.238 4	0.016 7	0.028 4	0.023 6	0.097 2	0.022 1	0.019 9	0.018 4

说明: 指标名称见表 1。

按照区域产业结构低碳化评价模型, 对我国 2003—2013 年间 30 个省域产业结构低碳化水平进行评价(结果见表 4)。可见, 我国产业结构低碳化水平总体呈逐年上升趋势, 但各省市自治区之间产业结构低碳化发展水平存在比较明显的差异。为更好体现我国区域产业结构低碳化的差异性, 将我国 30 个省市地区划分为东北、中部、东部与西部四大区域, 并对这四大区域的产业结构低碳化水平进行评价(见图 1), 结果显示, 我国产业结构低碳化由东往西逐步降低; 西部低碳化平均水平最低; 中部地区与东北地区的发展水平比较接近; 东部地区产业结构发展水平总体较好。比较全国与四大区域的产业结构低碳化水平发现: 四大区域低碳化发展水平与全国发展水平趋势基本一致, 与区域产业结构低碳化发展水平东高西低的走向是相符合的。

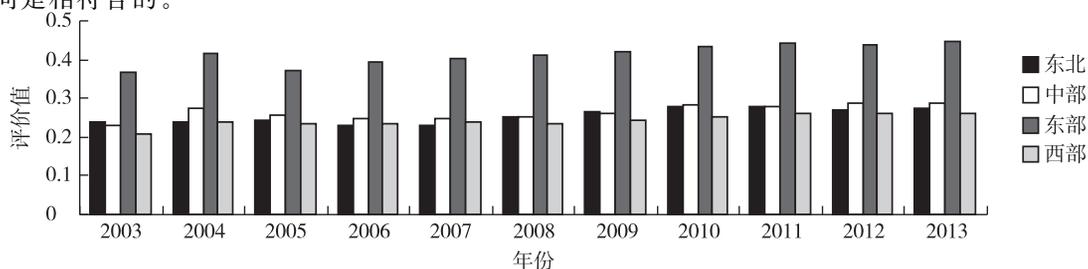


图 1 2003—2013 年东北、中部、东部和西部地区产业结构低碳化水平时序图

表 4 2003—2013 年省际产业结构低碳化评价值

地区		年份										
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
东北	黑龙江	0.429 4	0.428 4	0.482 3	0.407 0	0.397 9	0.379 9	0.383 4	0.389 2	0.324 7	0.315 4	0.357 2
	吉林	0.262 5	0.269 8	0.243 1	0.272 4	0.262 1	0.261 2	0.290 2	0.333 1	0.391 5	0.364 1	0.373 6
	辽宁	0.290 4	0.349 9	0.300 9	0.295 4	0.291 9	0.314 8	0.318 8	0.339 5	0.334 8	0.341 1	0.339 7
中部	山西	0.166 8	0.186 0	0.217 6	0.207 7	0.211 8	0.191 9	0.216 5	0.230 3	0.219 4	0.226 1	0.219 9
	河南	0.311 2	0.341 3	0.318 7	0.289 3	0.290 4	0.301 1	0.313 7	0.335 1	0.344 2	0.332 2	0.323 5
	湖北	0.279 3	0.270 2	0.265 2	0.261 0	0.261 1	0.275 7	0.271 5	0.279 0	0.269 8	0.272 0	0.266 9
	湖南	0.275 3	0.315 3	0.237 7	0.244 5	0.244 0	0.256 2	0.274 6	0.306 0	0.314 0	0.299 8	0.308 7
	江西	0.345 4	0.455 9	0.312 2	0.317 5	0.330 8	0.348 4	0.387 5	0.398 7	0.414 3	0.409 8	0.397 1
	安徽	0.254 2	0.316 0	0.330 6	0.310 4	0.303 8	0.301 6	0.308 1	0.330 9	0.330 7	0.332 5	0.322 8
东部	北京	0.447 1	0.502 6	0.435 5	0.493 5	0.511 0	0.548 0	0.537 1	0.560 7	0.578 9	0.573 2	0.582 9
	天津	0.444 7	0.485 7	0.437 6	0.476 7	0.447 0	0.440 7	0.444 7	0.475 5	0.435 5	0.424 9	0.456 1
	河北	0.286 9	0.349 9	0.363 2	0.444 6	0.433 5	0.345 0	0.365 0	0.367 4	0.281 9	0.290 4	0.308 6
	山东	0.319 9	0.375 0	0.283 0	0.273 6	0.347 0	0.319 2	0.343 2	0.371 7	0.403 9	0.393 1	0.372 3
	江苏	0.453 9	0.490 3	0.476 8	0.489 5	0.497 8	0.519 1	0.542 0	0.589 8	0.605 4	0.612 8	0.591 1
	上海	0.510 1	0.508 7	0.456 9	0.506 4	0.532 9	0.560 4	0.544 0	0.578 9	0.544 4	0.557 6	0.563 1
	浙江	0.368 6	0.392 7	0.389 2	0.400 6	0.405 6	0.427 6	0.432 1	0.463 4	0.432 7	0.453 2	0.448 7
	福建	0.430 1	0.499 5	0.364 7	0.363 7	0.368 9	0.384 2	0.385 6	0.411 3	0.400 6	0.380 3	0.412 1
	广东	0.499 4	0.596 6	0.556 1	0.589 3	0.590 4	0.596 9	0.595 2	0.648 0	0.634 6	0.638 1	0.645 7
	海南	0.290 0	0.318 6	0.370 1	0.369 1	0.391 5	0.381 0	0.363 2	0.390 4	0.353 3	0.385 4	0.375 5
西部	重庆	0.267 1	0.269 7	0.255 7	0.251 1	0.255 0	0.231 8	0.240 8	0.249 8	0.276 6	0.256 7	0.272 2
	四川	0.286 7	0.339 2	0.364 1	0.338 9	0.340 5	0.308 2	0.323 5	0.353 8	0.359 3	0.369 2	0.383 0
	广西	0.435 8	0.422 9	0.436 3	0.394 6	0.373 8	0.448 1	0.454 9	0.450 5	0.429 7	0.443 4	0.443 6
	贵州	0.165 8	0.174 3	0.176 7	0.183 1	0.191 6	0.206 4	0.231 6	0.252 0	0.265 0	0.268 1	0.262 4
	云南	0.252 3	0.301 0	0.249 8	0.267 9	0.260 0	0.277 4	0.270 3	0.276 6	0.284 9	0.280 8	0.281 9
	陕西	0.324 2	0.360 3	0.316 7	0.297 3	0.311 7	0.305 0	0.320 1	0.341 2	0.331 6	0.320 0	0.335 1
	甘肃	0.214 4	0.249 0	0.262 1	0.259 4	0.264 6	0.275 6	0.282 1	0.281 1	0.275 1	0.284 9	0.272 0
	内蒙	0.185 7	0.181 0	0.210 6	0.213 6	0.225 7	0.215 3	0.219 4	0.221 3	0.215 3	0.221 2	0.207 7
	青海	0.241 0	0.265 9	0.293 1	0.267 7	0.273 8	0.246 6	0.259 5	0.283 3	0.261 6	0.273 2	0.269 7
	新疆	0.166 6	0.186 5	0.157 0	0.165 9	0.170 6	0.175 3	0.166 4	0.173 9	0.141 5	0.156 5	0.171 9
	宁夏	0.161 5	0.256 4	0.235 6	0.249 8	0.245 5	0.248 4	0.258 1	0.272 0	0.289 9	0.304 9	0.287 7
全国	0.262 2	0.311 1	0.306 9	0.312 6	0.327 3	0.345 0	0.352 2	0.383 2	0.383 5	0.386 4	0.386 9	

三、产业结构低碳化区域差异实证分析

(一) 区域产业结构低碳化差异的变异系数分析

研究地区差异的领域有很多统计方法和客观度量的统计指标。为了比较直观地反映出差距的趋势, 本文采用极差、变异系数分析我国区域产业结构低碳化水平的区域差异。

1. 极差法, 用来衡量水平最高与最低地区间差异程度, 反映地区绝对差异的一种极差情况的指标。计算公式如下:

$$R_j = F_{j\max} - F_{j\min} \quad (4)$$

其中, j 代表全国、东北、中部、东部以及西部, 为表格简洁分别以 0, 1, 2, 3, 4 代表。

2. 变异系数法, 用以衡量各观测值离散程度的一个统计量来测算地区相对差异的指标。计算公式如下:

$$CV_j = S / (1/n * \sum_{i=1}^n F_i) \quad (5)$$

其中, CV_j 为区域产业结构低碳化变异系数; F_i 为区域产业结构低碳化水平; S 表示区域产业结构低碳化水平的标准差。

公式(4)、公式(5)计算所得结果如表5。由表5可知,全国产业结构低碳化水平差异性一直处于波动状态。从各地区 R_j 指标的变化趋势看,除了东北地区总体走势逐渐降低、西部地区差异比较平稳外,中部地区与东部地区均有所上升。而观察 CV_j 指标可以发现,只有东部地区差异波动上升,东北、中部与西部地区皆呈波动下降。综合可知,2003—2013年东部地区产业结构低碳化差异性逐渐增大,东北、中部与西部地区区域产业结构低碳化差异性在逐渐较小并有趋同趋势。

表5 2004—2013年全国及四大经济区域产业结构低碳化水平的差异趋势

年份	全国		东北		中部		东部		西部	
	R_0	CV_0	R_1	CV_1	R_2	CV_2	R_3	CV_3	R_4	CV_4
2003	0.348 6	0.331 6	0.166 9	0.273 1	0.178 6	0.222 8	0.223 2	0.205 0	0.274 3	0.337 9
2004	0.422 2	0.319 2	0.158 6	0.227 0	0.270 0	0.281 9	0.277 9	0.194 0	0.248 6	0.287 8
2005	0.399 1	0.303 7	0.239 2	0.364 8	0.113 0	0.167 3	0.273 1	0.183 4	0.279 3	0.302 3
2006	0.423 4	0.322 4	0.134 6	0.221 5	0.109 7	0.154 8	0.315 6	0.205 0	0.228 7	0.249 3
2007	0.419 8	0.317 5	0.135 8	0.225 0	0.119 1	0.157 9	0.243 5	0.173 3	0.203 2	0.227 0
2008	0.421 6	0.334 6	0.118 7	0.186 5	0.156 5	0.189 1	0.277 8	0.216 1	0.272 7	0.272 2
2009	0.428 8	0.315 4	0.093 2	0.144 4	0.171 0	0.192 8	0.252 0	0.202 3	0.288 5	0.270 2
2010	0.474 1	0.319 7	0.056 1	0.086 7	0.168 4	0.181 6	0.280 6	0.210 1	0.276 6	0.256 7
2011	0.473 7	0.322 8	0.034 0	0.047 6	0.177 2	0.194 9	0.337 0	0.237 8	0.271 7	0.260 3
2012	0.483 1	0.325 0	0.066 8	0.102 8	0.194 9	0.211 0	0.352 7	0.250 8	0.288 1	0.261 1
2013	0.481 6	0.323 6	0.048 7	0.071 6	0.183 7	0.200 3	0.347 7	0.247 9	0.287 0	0.257 7

(二) 区域产业结构低碳化差异的泰尔指数分析

极差法与变异系数法较为直观地反映各区域差距的变化,却无法显示内在关联,而泰尔指数可以解释差异是如何发生的。因此采用泰尔指数法,把区域差异分解为区域间差异和区域内差异。泰尔指数具体公式如下:

$$T_i(n_i, F_i) = 1/n_i \cdot \sum_{j=1}^{n_i} \ln(\bar{F}_i / F_{ij}) \quad (6)$$

其中, i 和 n_i 分别代表共有 i 个样本区域以及第 i 个样本区域中存在 n_i 个城市; F_i 表示第 i 个样本中产业结构低碳化水平的值; \bar{F}_i 表示第 i 个区域中产业结构低碳化水平的平均值; F_{ij} 指第 i 个区域中第 j 个城市的产业结构低碳化值。

根据公式(6)计算出全国以及四大经济区泰尔指数差异,如表6所示。总体而言,全国泰尔指数相对较大,差异在研究期间略有下降。动态地看,东部地区泰尔指数从2003年开始呈波动上升趋势。结合产业结构低碳化水平(表4)一起分析发现:与其他三区域相比,东部地区产业结构低碳化水平总体较高,区域内各省市之间的产业结构发展程度差距不断加大,各省市之间低碳化差异越发明显,但产业结构低碳化差异的增长幅度较小;东北地区泰尔指数一直降低,说明随着振兴东北老工业进程不断加深,地区产业结构低碳化水平受区域产业结构发展水平、低碳经济发展政策等综合影响较大;对中部地区而言,产业结构低碳化的整体水平不高,但产业结构低碳化发展水平较为均衡,区域内发展稳步上升,从侧面反应出在国家经济发展总方针的指导下,中部崛起措施得到较好落实;西部地区较其他三大区域来说产业结构低碳化差异最大,但低碳化水平差异正逐渐减小,说明西部地区对东部、中部地区的产业转

移对接在稳步进行。由此可见, 中国区域产业结构低碳化差异原因主要是由于各区域产业结构发展所处阶段不同造成的。自提出低碳经济发展以来, 经济转型、产业结构调整以及技术创新等措施的实施加快了产业结构低碳化的整体发展, 但政策措施的滞后效应以及区域间发展不平衡使得各地区间产业结构低碳化的差异仍然很大。

表 6 2003—2013 年中国东北、中部、东部和西部地区产业结构低碳化的泰尔指数

地区	年份										
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
全国	0.055 2	0.051 9	0.045 5	0.048 7	0.047 0	0.051 0	0.046 2	0.047 3	0.048 0	0.050 1	0.048 2
东北	0.023 3	0.017 7	0.042 2	0.015 5	0.016 1	0.011 7	0.006 8	0.002 4	0.002 8	0.003 4	0.002 7
中部	0.024 2	0.034 9	0.012 2	0.010 5	0.010 7	0.016 4	0.015 5	0.014 2	0.016 4	0.019 3	0.016 9
东部	0.020 4	0.017 7	0.015 4	0.020 6	0.013 4	0.021 3	0.018 4	0.019 8	0.026 2	0.029 7	0.028 7
西部	0.046 9	0.037 8	0.040 6	0.028 2	0.024 0	0.029 7	0.030 4	0.028 7	0.030 5	0.034 4	0.031 3

为更好地反映区域产业结构低碳化差异对全国产业结构低碳化差异的影响, 进一步分析四大区域间以及区域内产业结构低碳化差异对全国产业结构低碳化差异的影响, 将泰尔指数分解可得下述公式, 区域内差异 (T^w) 以及区域间差异 (T^b):

$$T(n_i, F) = T^w + T^b = \sum_{i=1}^k n_i/n \cdot T_i + \sum_{i=1}^k n_i/n \cdot \ln(\bar{F}/F_i) \quad (7)$$

$$T^w = \sum_{i=1}^k n_i/n \cdot T_i \quad (8)$$

$$T^b = \sum_{i=1}^k n_i/n \cdot \ln(\bar{F}/F_i) \quad (9)$$

根据公式 (7)、公式 (8)、公式 (9) 计算出区域间、区域内产业结构低碳化差异 (见表 7)。从表 7 对全国产业结构低碳化总体差异的贡献率来看, 2006 年以前中国产业结构低碳化发展的区域差异以区域内差异占主导地位, 2006 年后区域间差异大于区域内差异。由于存在滞后效应, 国家关于振兴东北老工业区、西部大开发、促进中部经济区发展等战略取得的效果正逐渐显现, 各区域产业结构均得到较好发展, 产业结构低碳化水平也在不断提高。但是, 区域差别化发展政策以及优先发展政策, 使得其他三大区域的发展速度仍然赶不上东部地区的发展速度, 且差距逐渐拉大。因此, 研究中国产业结构低碳化差异, 不仅要研究各经济区域内的差异, 而且不能忽略区域间的差异, 在保证经济整体发展的同时要保证各区域发展达到某种均衡水平。

表 7 2003—2013 年中国产业结构低碳化组内差异、组间差异及其贡献率

年份	指数	组内差异		组间差异	
		T^w	贡献率/%	T^b	贡献率/%
2003		0.031 2	0.564 4	0.024 1	0.435 6
2004		0.028 5	0.549 8	0.023 3	0.450 2
2005		0.026 7	0.586 1	0.018 8	0.413 9
2006		0.020 9	0.428 8	0.027 8	0.571 2
2007		0.017 0	0.360 8	0.030 1	0.639 2
2008		0.022 4	0.439 3	0.028 6	0.560 7
2009		0.021 1	0.455 6	0.025 2	0.544 4
2010		0.020 2	0.427 2	0.027 1	0.572 8
2011		0.023 3	0.484 9	0.024 7	0.515 1
2012		0.024 7	0.492 5	0.025 4	0.507 5
2013		0.023 7	0.491 7	0.024 5	0.509 3

四、结论与建议

文章选取中国四大经济区30个省市作为研究样本,测算样本区产业结构低碳化发展水平,分析组内、组间产业结构低碳化分布与差异。实证结果显示:2003—2013年样本区产业结构低碳化总体水平呈上升趋势,表明中国对低碳经济下产业结构的调整措施有一定成效。样本地区间产业结构低碳化水平绝对差异有所增大,相对差异有所降低,这与区域内组间、组内域内的产业结构低碳化发展水平差异相关。2003—2005年,组内产业结构差异性占主导地位,2006—2013年组间差异逐渐增大、组内差异逐渐减小。从趋势上看,区域内的组间差异和组内差异两者差距也在不断缩小。

为此本文建议:

第一,强化区域间产业结构低碳化的交流协作。各区域间产业结构低碳化水平差距较大,面对国家碳减排的任务,我国应加强区域间产业结构低碳化发展的交流合作,在碳减排方面促进区域一体化发展,提高产业结构低碳化发展的综合水平。东部地区产业结构低碳化水平已经高于全国水平,进一步低碳化发展的成本肯定比其他区域高,因此,东部地区各省市政府间应率先试建区域低碳联盟,整合区域现有人才、技术、资本等相对优势,加强对其他地区产业结构低碳化发展的帮助,以此来提高中国产业结构低碳化的综合实力。

第二,制定具有区域特色的产业结构低碳化发展策略。由于四大经济区域在经济、技术、资源等方面存在差异,各区域在低碳化发展时应按照本区域特性有所侧重,制定适合地方发展的节能减排政策。比如:中部地区在承接产业转移的同时,要加大政府间对发展低碳化产业的转移支付力度,借助东部地区技术、人才的溢出效应来提高能源利用率,实现本地区产业的低碳发展,避免通过高能耗来加快工业化进程;东北地区应依据地理位置与自然资源优势,积极寻找地区产业发展特色,及时提供政策支持引进外资,全面统筹区域发展;西部地区在提高经济收益的基础上,应主动提高本区域技术水平,低碳化发展域外所承接的转移产业。

第三,建立区域产业结构低碳化发展的长效机制。产业结构低碳化水平的区域差异从侧面反映出区域间低碳化发展边际成本的不同,也为各区域产业低碳化发展提供合作空间。在产业结构低碳化发展方面,我国应将政府、市场、公众维系起来,综合运用税收、金融、财政、法律等杠杆建立起产业结构低碳化发展的长效机制,为提高产业结构低碳化提供制度保障,从而有利于实现区域产业结构低碳化发展的目标。

参考文献:

- [1] C Clark. The conditions of economic progress [M]. London: Garland Pub, 1983: 712.
- [2] 于春晖, 郑若谷. 中国地区经济差距演变及其产业分解 [J]. 中国工业经济, 2010 (6): 25-34.
- [3] Bert Hofman, Kelly Labar. Structural change and energy use: evidence from china's province [J]. China Working Paper Series, 2006 (7): 138-157.
- [4] H Xiao, R Gu, B Huang. Evaluation the population development level of Yunnan province in western China using GIS dimensional analysis method [J]. Advance in Intelligent and soft computing, 2011, 111: 593-599.
- [5] 吴振信, 谢晓晶, 王书平. 经济增长、产业结构对碳排放的影响分析——基于中国的省际面板数据 [J]. 中国管理科学, 2012, 20 (3): 161-166.
- [6] 潘佳佳, 李廉水. 中国工业二氧化碳排放的影响因素分析 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34 (4): 86-92.
- [7] 赵荣钦, 黄贤金, 钟大洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析 [J]. 地理学报, 2010, 65 (9): 1048-1057.
- [8] 郭朝先. 中国二氧化碳排放增长因素分析——基于SDA分解技术 [J]. 产业经济, 2010 (12): 47-56.

- [9] 郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22 (7): 15-20.
- [10] 贺丹, 田立新. 基于低碳经济转型的产业结构优化水平实证研究 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2015, 17 (3): 31-40.
- [11] Decai Tang, Fengxia Zhong, Ping song, et al. An evaluation study on the level of china's low-carbon manufacturing based on factor analysis [J]. Energy Procedia, 2012 (12): 535-540.
- [12] Qian Cheng, Baoren Su, Jin Tan. Developing an evaluation index system for low-carbon tourist attractions in china-a case study examining the xixi wetland [J]. Tourism Management, 2013, 36 (3): 314-320.
- [13] 庄贵阳, 潘家华, 朱守先. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建 [J]. 经济学动态, 2011 (1): 132-136.
- [14] 王韶华, 于维洋, 张伟. 技术进步、环保投资和出口结构对中国产业结构低碳化的影响分析 [J]. 资源科学, 2014, 36 (12): 2500-2507.
- [15] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). The international conference on green industries in Asia Bulletin: Managing the transition to resource-efficient and low-carbon industries [EB/OL]. (2015-09-20) [2015-12-01]. <http://www.unido.org/greenindustryconference.html>.
- [16] 付加锋, 庄贵阳, 高庆先. 低碳经济的概念辨识及评价指标体系构建 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20 (8): 38-43.
- [17] 叶华光. 我国发展低碳经济面临的结构性约束与突破 [J]. 煤炭经济研究, 2014 (10): 31-35.
- [18] 楚春礼, 鞠美庭, 王雁南, 等. 中国城市低碳发展规划思路与技术框架探讨 [J]. 生态经济, 2011 (3): 45-48.
- [19] 史丹. 结构变动是影响中国能源消费的主要因素 [J]. 中国工业经济, 1999 (11): 39-47.
- [20] 程宇航. 我国产业升级的绿色低碳路径选择 [J]. 江西社会科学, 2010 (9): 77-82.
- [21] 谌红. 模糊数学在国民经济中的应用 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994: 237.
- [22] 骆珣, 廖艳. 熵权法在我国农业板块上市公司经营业绩评价中的应用 [J]. 生产力研究, 2008 (24): 55-56.

An Evaluation and Difference Analysis of the Low Carbonization of Regional Industrial Structure

Ding Yuejin, Tang Yulin

Abstract: The evaluation of the level of the low carbonization of regional industrial structure is essential to the study of the low-carbon industrial structure. This paper calculates the CO₂ emission and evaluates the low carbonization of regional industrial structure by use of fuzzy membership grade method from 2003 to 2013 in 30 provinces (except Tibet). The methods of range, coefficient of variation and Theil index have been used in this study. It is concluded that: the low carbonization of industrial structure in all the sample regions has increased during the research period, which indicates achievements of Chinese energy conservation and emission reduction; the variation of low carbonization of regional industrial structure between and within regions are quite different, except eastern China, the difference among western, middle and northeastern China has been declining; the differences within and among regional groups both decline, which is directly related to the national policy of regional low carbonization development.

Key words: low carbonization of industrial structure; fuzzy membership grade method; Theil index; regional difference

(收稿日期: 2015-10-16; 责任编辑: 沈秀)