

文章编号: 1007-7588(2014)05-0998-07

基于公平的中国省域碳排放差异模型构建探讨 ——以中国2010年碳排放为例

王秋贤^{1,2,3}, 高志强¹, 宁吉才¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 鲁东大学地理与规划学院, 烟台 264025)

摘要: 中国各省份经济发展水平不同, 其CO₂排放也存在很大的空间差异。作者认为碳排放的区域差异不应只体现在其绝对排放数量上, 更要体现在其与社会、经济和生态的兼容度差异上。因此本文首先运用IPCC2006清单法计算出了2010年中国各省份碳排放数量, 然后对之进行了空间差异分析。接着在综合考虑碳排放的生态、公平和效率前提下, 尝试性地构建了碳排放区域差异的3E模型体系, 并用之进行了具体计算。结果表明, 虽然广东、湖北、四川和黑龙江等省的碳排放绝对量大, 但这些省份的Y_{3E}值均大于1, 表明这些区域的碳汇能力很强, 无论从生态、公平还是从效率的角度来说其碳排放都是在其省域的生态承载范畴之内。由此证明新构建的3E模型对中国碳排放区域差异研究是有益的参考和补充。

关键词: 碳排放; 省域差异; 模型构建; 公平; 中国

1 引言

温室气体含量的增加被认为是当下全球气候变暖的一个主要原因, 而温室气体中的主要物质是CO₂^[1], 因此自20世纪80年代以来, 世界各国都非常重视CO₂排放问题的研究。在碳排放的研究中, 主要以碳排放量的计算方法、碳排放的公平性研究和碳排放空间以及情景模拟为主。其中碳排放量的计算目前国内外都有较为成熟的方法, 如IPCC清单法^[2]、实测法^[3]、物料衡算法^[4]、模型因素分解法^[5]等; 碳排放空间及排放情景模拟也有相关比较成熟的模型, 国内许多学者也做了大量的工作^[6-8]。但CO₂排放的公平性研究或者基于公平的碳排放区域差异研究目前在国内外争议比较大。发达国家倾向忽略地区的历史碳排放量, 侧重研究如何合理分配世界各国未来的CO₂排放限额^[9], 而国内学者则更倾向的采用某个历史时期的累计排放量^[10, 11]或者基尼系数^[12]来进行基于公平性的区域碳排放研究, 有关

碳排放区域差异研究的其他方法则少有人关注, 目前没有一个统一的模型对国家范围内的碳排放区域空间差异进行具体计算。另外在低碳减排的大背景下, 目前世界范围内没有公认的国家排放权分配方案, 将来国际上一旦确定中国的碳排放额, 那么中国承诺到2020年碳排放强度在2005年基础上降低45%^[13]的目标将面临总配额在国内各省之间进行合理分配的问题。如果单纯的以排放绝对数量或历史累积量来进行分配, 而不考虑我国各省不同的生态条件和社会经济发展水平、不考虑高碳排放区可能包含的高经济生产力和高碳吸收能力, 对某些区域来讲势必是不公平的。基于以上考虑本文尝试在生态经济学的构架下, 建立一个能从生态、公平和效率(Ecology-Equity-Efficiency)3个方面综合反映中国省域CO₂排放公平性的综合研究指标Y_{3E}(简称3E模型), 用这个指标来进行我国各个省、直辖市、自治区的碳排放的公平性研究, 以期为今

收稿日期: 2013-12-11; 修订日期: 2014-03-05

基金项目: 中国科学院重点部署项目(编号: KZZD-EW-14); 国家自然科学基金(编号: 41071278); 中国人才引进基金和135项目(编号: Y254021031, Y355031061)。

作者简介: 王秋贤, 女, 山东烟台人, 博士生, 讲师, 主要研究方向土地利用与碳循环。E-mail: qxwang@yic.ac.cn

通讯作者: 高志强, E-mail: zqgao@yic.ac.cn

2014年5月

后探讨我国省域 CO₂ 排放公平性提供方法支持, 或为将来我国各省份 CO₂ 排放额的计算提供依据。

2 数据来源与碳排放计算方法

2.1 数据来源与处理

①化石燃料数据来源于《中国能源统计年鉴 2011》;②水泥生产量来自于《中国水泥年鉴 2011》;③人口、GDP 等经济社会数据来源于《中国统计年鉴 2011》;④能源和水泥碳排放参数来自 IPCC2006 碳排放清单;⑤土地利用数据是选择了 2000 年、2005 年和 2010 年 3 个时期的 SPOTNDVI 数据, 每年 36 个 VGT-S10 文件。

2.2 数据处理

将影像按年叠加(Annual Stacking)合成为 36 个波段的年 NDVI 时间序列数据集。使用 SRTM3 (Shuttle Radar Mission) 的 DEM 数据用来辅助 Topography 土地覆盖分类后处理, 空间分辨率为 90m×90m。同时, 利用中国资源环境遥感数据库的 2000 年和 2005 年两期通过 TM/ETM/ETM+ 机助人了解译的土地利用数据对基于 SPOT VEGETATION NDVI 时序数据分类的 2000 年和 2005 年结果进行精度检验。检验时主要使用混淆矩阵^[14]分别计算了 Kappa 系数、总体精度和用户精度。通过计算得到: 2000 年的 Kappa 系数为 0.822 6, 2005 年的 Kappa 系数为 0.821 8; 总体分类精度 2000 年为 86.67%, 2005 年为 86.58%; 而用户精度除了 2000 年的建设用地用户精度为 0.525 5 和 2005 年的建设用地用户精度为 0.553 6 略低外, 其他类型分类的用户精度均在 0.8 以上。由此可见, 基于 SPOT VEGETATION NDVI 的时序数据提取的中国土地覆盖数据精度能满足研究的需要。

2.3 排放量计算方法

根据 2007 年 IPCC 第四次评估报告, 温室气体增加的主要来源是化石燃料燃烧(化石燃料燃烧所导致的 CO₂ 排放量在 2004 年占世界总排放量将近 95.13%)^[15]。结合我国现状, 作者在计算中国碳排放量时主要考虑化石燃料燃烧和水泥消费两个方面, 两者的碳排放数量分别采用 IPCC2006 排放清单法进行计算。其中化石燃料的 CO₂ 排放计算方法采用的是《中国能源统计年鉴》中统计的 8 类最终能源数据, 即原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和

天然气, 而水泥消费的碳排放计算是使用水泥产量数据来估算熟料产量, 本文采用默认熟料含量为 75%, 不考虑水泥的进出口量, 具体方法参见曾贤刚提出的计算公式^[16]。

3 碳排放区域差异 3E 模型的构建

如前言所述, 目前对于区域碳排放公平性研究无论是国外还是国内主要是采用的一段时期的碳累计排放量来考虑, 但是笔者认为: 不同的区域有不同的地域面积、不同的土地利用类型、不同的人口数量、不同的经济发展水平、不同的环境承载力, 如果只考虑累计碳排放量一个指标作为公平研究标准的话对区域公平碳排放研究有一定局限性。因为有些区域虽然碳排放总量大, 但是当地的植被碳汇能力也较强, 所以在很大程度上可以减少排向大气的 CO₂。受文献^[11]的启发笔者尝试着从生态承载力、区域公平性和社会碳排放效率 3 个方面构建基于生态、公平、效率(Ecology-Equity-Efficiency) 的 3E 模型来探讨碳排放公平性研究, 即:

$$Y_{3E} = \sum_{i=1}^{i=3} r_i \times I_i \quad (1)$$

式中 Y_{3E} 为运用特尔斐法综合考虑的表征生态、公平、效率 3 个指标转化而来的可度量指标; I_i 为 3 个指数即生态承载指数(Ecological Support Index, 即 *ESI*)、公平分配指数(Equitable Distribution Index, 即 *EDI*)和经济效率指数(Economy Efficient Index, 即 *EEI*), r_i 为每个指标的权重, 主要是通过特尔斐法确定。调查问卷中说明了本文模型构建的初衷, 考虑到区域碳排放与该区经济发展关系紧密、但森林对碳的吸收能力也很强的特点, 然后选择了碳排放研究领域的包括科学院、高等院校和发展与改革委员会等部门在内的 10 名专家, 分别对 3 个指数的重要性进行权重赋予, 因为第一轮统计结果各位专家的意见就比较一致, 所以对各个指标权重取了算术平均, 即 *ESI*、*EDI*、*EEI* 分别为 0.4、0.2、0.4, 以此为权重做相关的计算分析。

3.1 生态承载指数(ESI)

生态承载力是指区域生态系统可承受各种自然与人为活动的的能力, 它可以评价一个区域可持续发展的能力^[17]。一个区域碳排放量的增加会加速大气中温室气体含量的增加, 从而导致全球气温的

变暖,进而威胁到生态系统的承载能力。但是考虑到森林是一个巨大的碳汇,如果该地区有足够的森林、草地,那么该区域强大的碳汇能力定会大大减少进入大气中的CO₂,减少温室气体的增加趋势,从而使区域生态系统实现稳定、有良好承载性。所以本文设计的碳排放生态承载指数就是借鉴了传统生态学中的生态承载力概念并对之进行延伸,主要考虑区域的生态碳汇功能对其碳排放的承载能力,以各个行政单元主要碳汇对碳的吸收量为参照,对比排放一定比例的碳需要贡献相应比例的碳吸收量^[12]来设计生态承载指数,生态承载指数(ESI)等于区域主要碳汇对碳的吸收量的比率/碳排放的比率,若某一区域碳排放的比率大于其主要碳汇对碳吸收量的贡献率,则其侵害了其它区域的利益,要使其它区域为其承担过量碳排放带来的生态环境影响;反之,则其属于有相对较高的生态容量,该地区对减轻碳排放对生态环境的压力有重要贡献。生态承载指数ESI表示公式为:

$$ESI = (A_i/A) / (Y_i/Y) \quad (2)$$

式中 A_i , A 为各区域和全国的主要碳汇对碳的吸收量; Y_i , Y 为各区域和全国的CO₂排放量。其中 A 鉴于目前国内的研究现状^[18-20],本文主要选取林地和草地为主要碳汇(碳的吸收源)进行相关计算研究,估算公式为:

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} T_i \times s_i \quad (3)$$

式中 A 为不同土地利用方式碳的吸收总量; T_i 为第 i 种土地利用方式的面积,包括林地面积和草地; s_i 为第 i 种土地利用方式的碳的吸收系数,林地和草地的碳汇系数来源于方精云等的研究成果,林地碳汇(吸收)系数为 $5.77 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,草地碳汇(吸收)系数为 $0.002 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^[21]。

3.2 公平分配指数(EDI)

社会发展除了要考虑以生态规模为代表的地球环境接纳CO₂温室气体的能力外,还要考虑人民平等的碳排放权利和福利的合理配置。20世纪90年代起,作为发展中国家代表,中国学者开始关注国际气候制度中的公平问题,人均CO₂排放量作为较早出现的碳排放公平分配指标具有现实意义^[11],目前在国际上也得到一定认可。同时笔者认为不

同面积的区域在面临相同数量的碳排放时,其大气中CO₂增加浓度是不同的,所以本文在构建公平分配指数(EDI)时主要是基于公平分配的人均年CO₂排放量和碳排放密度两个指标展开。考虑到人均年碳排放量的国际认可度及我国胡焕庸线——东部适宜人类生存的地区人口集聚、人口密度本身容易大、碳排放容易高的特点,研究组将人均年碳排放量和碳排放密度两个指标分别赋予了70%与30%、60%与40%、50%与50%三种权重方案,同 Y_{3E} 计算公式的权重一同委托专家权衡。结果80%的专家同意第一种方案,故本文对人均年碳排放量和碳排放密度两个指标分别赋予0.7、0.3的权重进行EDI的计算。若某区域的人均碳排放高于全国的平均水平,那么按照公平性原则,则该区域的人均排放量部分占用了其他区域的人均排放空间,同样的道理适用于区域的碳排放密度。为了将公平分配指数纳入到构建的3E模型中,使其与其他两个指数的意义对应、均与 Y_{3E} 的结果呈正相关关系,即用EDI值越大来表征碳排放区域公平性越好的结果,本文在上述计算的基础上取了倒数,具体公式为:

$$EDI = \frac{1}{0.7 \times \frac{\bar{Y}_p}{\bar{Y}_p} + 0.3 \times \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_s}} \quad (4)$$

式中 \bar{Y}_p, \bar{Y}_{pi} 分别为某年全国和各省的人均CO₂排放量,人均年CO₂排放量即为区域一定年份的CO₂排放量与对应该年份的统计人口的比值; \bar{Y}_s, \bar{Y}_{si} 分别为某年全国和各省的地均CO₂排放量,即碳排放密度,碳排放密度等于对应年限的CO₂排放量与统计区域面积的直接比值。

3.3 经济效率指数(EEI)

实践证明,区域CO₂排放量的快速增加与其社会经济的发展是密切相关的,而社会经济的发展需要考虑效率因素,为此本文设计的经济效率指数(EEI)主要以中国各省行政单元的GDP为参照来对比排放一定比例的CO₂需要贡献的相应比例的GDP,即经济效率指数(EEI)等于经济贡献率/碳排放占全国的比率,具体计算见公式(5)。若某一区域的碳排放的比例大于GDP的贡献率,则其属于经济效率较为低下,其CO₂的排放侵占了其他区域的利益;反之,区域则经济效率较高,对其它区域有重要贡献。即:

2014年5月

$$EEI = (G_i/G) / (Y_i/Y) \quad (5)$$

式中 G_i 、 G 分别为各区域和全国的 GDP； Y_i 、 Y 分别为各区域和全国的 CO_2 排放量。

4 计算结果与分析

4.1 2010年中国各省碳排放数量差异分析

按照 2.2 章节的计算方法求得中国各省份的 CO_2 排放量(图 1)。从中可以看出:山东、河北、江苏、山西、辽宁、河南、内蒙古和广东的碳排放总量最大,分别是 12.06、9.11、7.72、7.29、7.25、6.92、6.66、6.48 亿 t,而北京、宁夏、海南和青海的总排放量最小,分别为 1.48、1.41、0.61、0.53 亿 t。其他省份的碳排放量在 1.5~4.96 亿 t 之间各不相同。

4.2 基于 3E 模型的中国碳排放省域差异性分析

4.2.1 生态承载指数(ESI)差异分析 根据 3.1 章节中的研究方法,本文利用 ArcGIS10.0 提取的中国 2010 年中国土地利用分省数据库中的林地和草地数据及相关系数分别计算了中国各个区域的 ESI 值,从整体来看,中国各省的 ESI 平均值在 2010 年为 1.26。各省的 ESI 分布见图 2a,看出我国东部省份如上海、江苏、天津、山东等以及中部的宁夏和西部的新疆等省份的 ESI 值最小,其 ESI 值均小于 0.50,表明其具有相对较低的碳的生态容量,即这些区域的碳排放与其生态承载是及其不相适应的,这些区域的碳汇对碳的吸收的贡献率远远小于碳排放的贡献率。由于碳排放带来的温室效应具有外部性的特征、碳排放造成的生态环境影响需要其他区域为之共同承担,所以这些省份侵害了其他省份的碳排放利益。而中部、西部大部分省份的 ESI 都

高于 1,表明这些区域的生态植被拥有较高的碳汇能力,可以在很大程度上吸收进入该区域大气的 CO_2 ,其碳排放量在其生态承载范围内,经济发展带来的碳排放能同该区域生态环境协调发展。尤其是云南、广西的值均在 4.00 以上,表明两个省份承担其他区域的碳排放,并还有很大的碳排放空间。

4.2.2 公平分配指数(EDI)差异分析 利用 3.2 章节中的公式分别计算中国各省的 EDI 值后,将计算结果在空间上赋予相应省份,得到 2010 年的 EDI 空间分布图如图 2b。整体来看中国 EDI 值自东向西呈现出明显的条带状,其中东部各省份的 EDI 普遍偏小,尤其是环渤海区域 EDI 值均小于 0.50,说明这些省份的人均碳排放量和碳排放密度都比较大,均远远高于全国平均水平,从碳排放公平的角度来说,这些省份的人均排放量和碳排放密度都占用其他区域的碳排放空间,侵占了其他省份的权益;而西部区域 EDI 普遍偏大,如青海、广西、云南、四川等省的 EDI 值均大于 1,说明这些省份的人均碳排放量和碳排放密度都低于全国碳排放平均水平,按照碳排放公平性原则,说明其未来具有相对较高的碳排放空间。

4.2.3 经济效率指数(EEI)差异分析 2010 年的中国各省的 EEI 空间分布如图 2c,从图中可以看出我国 EEI 分布整体上有明显自南向北的带状分布。 EEI 值最高的绿色区域主要集中在北京、天津和东南沿海省市如上海、广东等省,图上浅绿色区域也就是我国南部四川、湖北、湖南、江西、广西、江苏和浙江等省份的 EEI 值也均高于 1,表明这些区域的

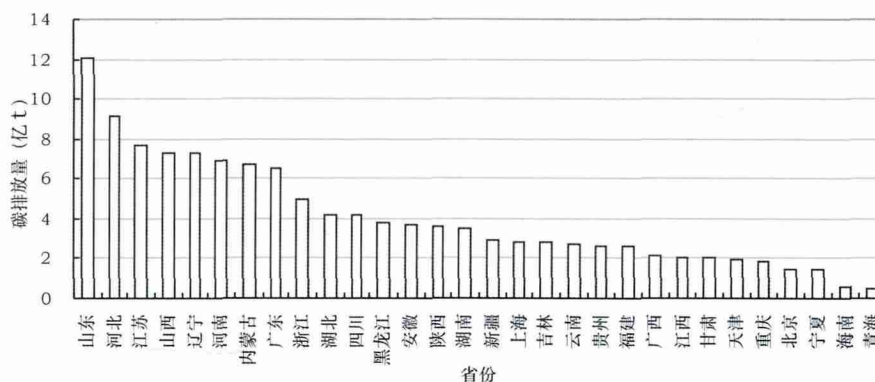


图 1 2010年中国各省 CO_2 排放量排序

Fig.1 Sequence diagram of CO_2 emissions for Chinese provinces in 2010

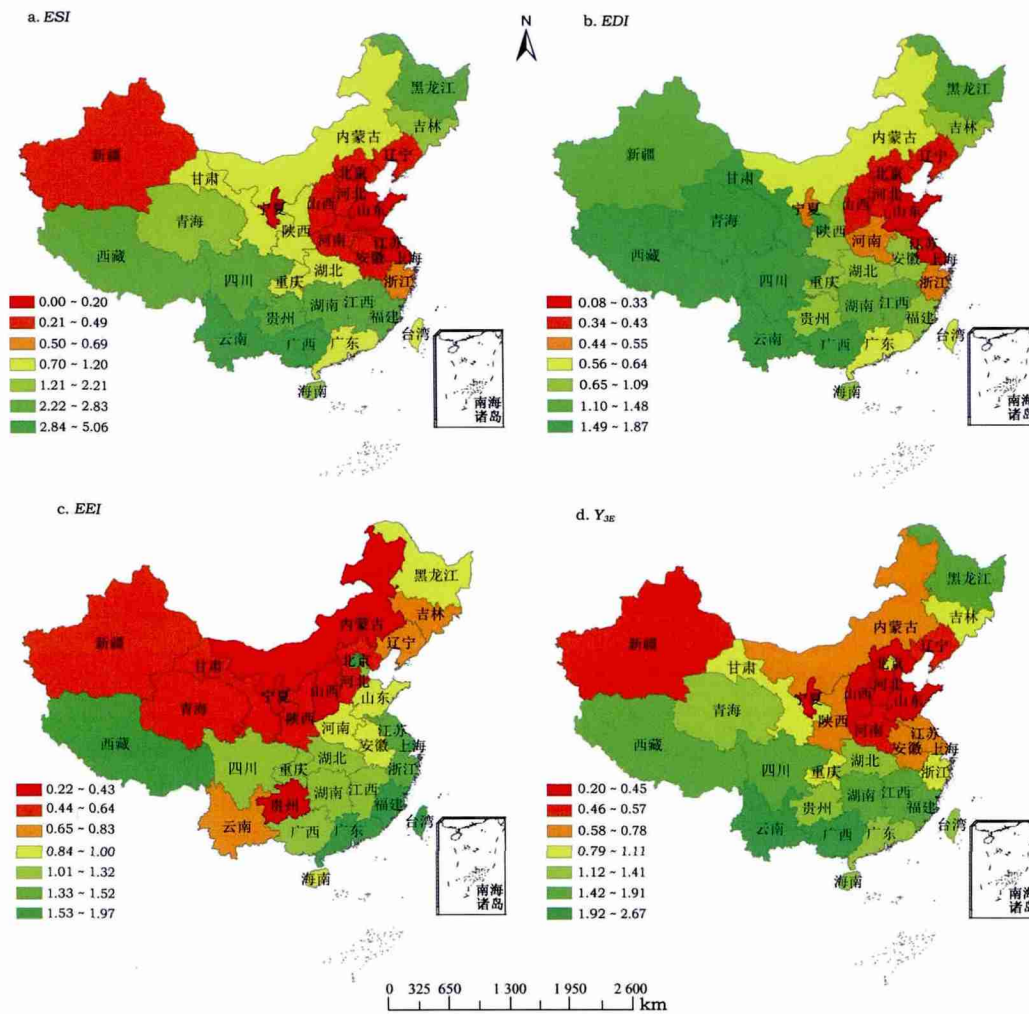


图2 中国各省2010年 ESI、SDI、EEI、 Y_{3E} 分布

Fig.2 The distribution of China's ESI, SDI, EEI, Y_{3E} in 2010

经济贡献率大于其碳排放的贡献率,说明其具有较高的经济效率和能源利用效率,而西北区域的 EEI 值普遍小于 1,尤其是山西、内蒙、贵州、宁夏等省的 EEI 值均小于 0.50,位于中国后四位,则表明这些区域经济贡献率小于能源消费碳排放的贡献率,说明其具有相对较低的经济效率和能源利用效率,从公平的角度来看是侵害了其他区域的利益。

4.2.4 基于 3E 模型的中国碳排放省域差异分析 根据公式(1)计算得出中国各省域 2010 年基于 3E 模型的 Y_{3E} 值,形成为中国 2010 年的 Y_{3E} 分布图 2d。从图 2d 中可以看出,中国有一半省市的碳排放是处在生态系统承载性良好、碳排放公平和经济效率较高的状态下,尤其是云南省和广西壮族自治区,相对

于全国的平均水平来讲具有最高的生态承载性和效率性。而大部分东部沿海省份(除了福建和广东省)的 Y_{3E} 值都小于 1,尤其是宁夏、山西、河北、山东和河南等省 Y_{3E} 值最小;另外天津、辽宁、江苏、安徽、上海、新疆、内蒙和陕西等省 Y_{3E} 值都在 0.80 以下。从这些结果可以推测出这些省份的经济发展在很大程度上是依赖高碳排,单位碳排放的效率较低,也就是说其碳排放超出这些区域的生态承载范围。北京、浙江和甘肃省的 Y_{3E} 值在 2010 年是都接近 1,显示出其正朝着低碳、生态和高效方向发展。

5 讨论与展望

(1) 本文尝试构建的 3E 模型,充分考虑了生态-公平-效率这 3 个原则,并且把全国各省份的

2014年5月

碳排放在一个公平水平上进行研究,对于横向研究我国某一年份的碳排放区域差异有很强的针对性和可比性,并且做到了量化分级,可为今后全国各省份碳排放权的合理分配提供一定参考。如通过对比新建模型与传统方法对我国碳排放省域差异的描述结果可以看出:尽管2010年山东、河北、内蒙古、江苏、山西、辽宁、河南、浙江、广东、湖北、四川、黑龙江和安徽的碳排放总量都比较大,但在考虑碳排放权分配时这些省份不能一概而论。其中广东、湖北、四川和黑龙江的 Y_{3E} 值均大于1,说明这些区域的碳排放无论从生态、公平还是从效率的角度来说都是在其省域的生态承载范畴之内的高效发展,在决策其碳排放权分配时可适度放宽;而山东、江苏、山西和河北的 Y_{3E} 值比较小,是今后要大力发展低碳经济的重要省份,所以决策时可以考虑减少相应的碳排放权或者增大其减排额,从而使得其碳排放与生态、公平和效率相适应。

(2)本模型的构建除了基于生态-公平-效率3原则之外,主要是课题组根据专家经验确定的基于全国层面上的 ESI 、 EDI 和 EPI 的权重,将来随着研究区域的细化各省市县级层面的指标权重可根据其具体情况适当调整。

(3)我国不同省市资源禀赋、工业化水平存在较大差异,使得其产生的 CO_2 排放量也存在较大差异。这些差异存在的同时,在空间地域上也具有一定的相关性,并且这种相关性是非线性的。但在建立3E模型时,很少考虑省域碳排放之间的相互作用关系,如东部省份强大的生产能力也会给西部提供巨量的商品服务,这些服务中实际上隐含了相当可观的间接碳排放,今后有能力的话可以进一步深入探索。

(4)本文在对2010年中国各省的碳排放绝对差异分析的基础上,也用尝试构建的3E模型对其相对差异做了详细的分析,结果证明基于公平的3E模型是研究碳排放区域差异的有益补充。另外研究组认为在中国省域碳排放动态变化的研究中,除了用绝对数量进行分析外,也可用3E模型来进行辅助分析,分析区域碳排放生态、公平和效率大背景下的变化趋势。鉴于生态系统对碳排放的响应的周期一般为20年左右^[22],今后有条件的话研究的

时间尺度可适度延长,并用3E模型来辅助判断中国各省市碳排放的变化情况,如 Y_{3E} 指标不断变大则说明区域的碳排放与其经济发展和生态环境相适应并且没有侵犯其他区域的碳排放权利。

致谢:本文能最终成稿发表,要感谢导师的细心指导以及中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)、国家自然科学基金(41071278)、人才引进基金和135项目(Y254021031, Y355031061)项目的大力支持,感谢项目组成员的大力配合,尤其还要感谢论文评审过程中各位专家及编委中肯的意见和建议。感谢!

参考文献(References):

- [1] Böhringer C, Balistreri E J, Rutherford T F. The role of border carbon adjustment in unilateral climate policy: Overview of an energy modeling forum study (EMF 29) [J]. *Energy Economics*, 2012, 34(S2): S97-S110.
- [2] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [3] 张德英, 张丽霞. 碳源排碳量估算办法研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2005 (1): 20-23.
- [4] IPCC, OECD, IEA. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. Paris: OECD, 1996.
- [5] 齐中英. 描述 CO_2 排放量的数学模型与影响因素的分解分析[J]. 技术经济, 1998 (3): 42-45.
- [6] 刘明明. 全球气候变化背景下碳排放空间的公平分配—以德班会议《公平获取可持续发展》的基本政治立场为分析进路[J]. 法学评论, 2012 (4): 78-84.
- [7] 祁悦, 谢高地. 碳排放空间分配及其对中国区域功能的影响[J]. 资源科学, 2009 (4): 590-597.
- [8] 聂锐, 张涛, 王迪. 基于IPAT模型的江苏省能源消费与碳排放情景研究[J]. 自然资源学报, 2010 (9): 1557-1564.
- [9] Duro J A. International mobility in carbon dioxide emissions[J]. *Energy Policy*, 2013, 55: 208-216.
- [10] 李惠民, 齐晔. 中国2050年碳排放情景比较[J]. 气候变化研究进展, 2011 (4): 271-280.
- [11] 陈华, 诸大建, 邹丽. 全球主要国家的 CO_2 排放空间研究—基于生态、公平、效率模型[J]. 东北大学学报(社会科学版), 2012, 14(2): 120-124.
- [12] 卢俊宇, 黄贤金, 戴靓, 等. 基于时空尺度的中国省级区域能源消费碳排放公平性分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12):

- 2006–2017.
- [13] 黄蓓佳, 杨海真. 中国碳减排承诺解读及碳交易发展研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 12(12): 11–13.
- [14] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] Leemans R, Eickhout B, Strengers B, et al. The consequences of uncertainties in land use, climate and vegetation responses on the terrestrial carbon[J]. *Science In China Series C Life Sciences (English Edition)*, 2002, 45(SUPP): 126–141.
- [16] 曾贤刚, 庞含霜. 我国各省区 CO₂ 排放状况、趋势及其减排对策[J]. 中国软科学, 2009, (S1): 64–70.
- [17] 高吉喜. 可持续发展理论探索—生态承载力理论、方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] 张秀梅, 李升峰, 黄贤金, 等. 江苏省 1996 年至 2007 年碳排放效应及时空格局分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 768–775.
- [19] 张兴榆, 黄贤金, 赵小凤, 等. 环太湖地区土地利用变化对植被碳储量的影响[J]. 自然资源学报, 2009, (8): 1343–1353.
- [20] Tsuruta H, Mosier A. Estimate of CH₄ emissions from year-round flooded rice fields during rice growing season in China[J]. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 66–71.
- [21] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981–2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D辑 地球科学), 2007, 37(6): 804–812.
- [22] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[M]. 南京: 南京大学出版社, 2011.

Model Building Discussions on the Provincial Differences of Carbon Emissions in China Based on Fairness for 2010

WANG Qiuxian^{1, 2, 3}, GAO Zhiqiang¹, NING Jicai¹

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of geography and planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract :Along with different development levels amongst China's provinces, there are also huge spatial differences in carbon dioxide emissions. These regional differences in carbon dioxide emissions should not only be embodied in absolute quantity, but also reflect compatibilities with their society, economy and ecology. Here, we calculated the absolute quantity of carbon dioxide emissions in China's provinces in 2010 using IPCC2006 methods and then analyzed spatial differences between provinces. Then we attempted to build a 3E-model which includes the three main indicators of ecology, equity and efficiency, and explored the spatial difference distribution of Y_{3E} values for China's carbon emissions in 2010. The results show that although the absolute quantities of carbon emissions in Guangdong, Hubei, Sichuan and Heilongjiang were large, their Y_{3E} values calculated by the 3E-model were greater than 1, indicating that their capacities as carbon sinks were strong no matter their ecology, equity or efficiency. That is to say, though their carbon emissions were huge in terms of absolute quantity, they were still within their provincial ecological carrying capacity. The 3E-model applied here is a beneficial supplement for analyzing regional differences in provincial carbon emissions in China and will provide a new way to study regional spatial differences in carbon emissions.

Key words :carbon emissions ;provincial difference ;model building ;fairness ;China