

气候容量: 适应气候变化的测度指标

潘家华^{1,2} 郑艳^{1,2} 王建武³ 谢欣露¹

(1. 中国社会科学院城市发展与环境研究所, 北京 100028; 2. 中国社会科学院可持续发展研究中心, 北京 100028;
3. 中国土地矿产法律事务中心, 北京 100034)

摘要 本文提出将“气候容量”概念作为适应气候变化的核心测度,并论述了与此相关的气候资源承载力、生态承载力、水资源承载力、土地承载力、人口承载力等概念。气候容量是针对全球气候和环境变化背景下提出的概念,从根本上讲,中国适应气候变化是气候容量问题,即一个地区特定气候资源所能够承载的自然生态系统和人类社会经济活动的数量、强度和规模。气候容量包括天然容量和衍生容量,天然容量包括温度、光照、降水、极端气候事件等因子,衍生容量包括水资源、土地资源、生态资源、气候灾害风险等要素。气候容量可以借助工程、技术、制度等适应措施进行改善和转移,但是必须遵循经济理性、生态完整性、风险防护、公平分配等原则。对气候容量及其阈值的评估能够与气候变化风险评估相结合,测算出不同气候变化情景下的最优人口容量和社会经济发展规模,为社会经济发展战略和适应规划提供决策支持。在气候容量充裕的地区,适应气候变化是与人口和经济发展相伴生的问题;而在气候容量严重受限地区,不合理的发展可能进一步恶化气候环境。作者以气候容量充裕的长三角地区和气候容量严重短缺的西部地区为例,分析了气候容量的政策含义,并针对容量限制型的适应问题与发展驱动型的适应问题提出了具体建议。气候容量不仅可以作为气候变化经济学的概念分析工具,而且可以结合气候变化影响和风险评估,为制定地区适应与发展规划提供研究支持。

关键词 气候变化; 气候容量; 适应; 发展; 气候变化经济学

中图分类号 F011; F069; X22 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2014)02-0001-08 doi: 10.3969/j.issn.1002-2104.2014.02.001

气候变化经济学是近年来快速发展起来的一门环境经济学分支学科,涉及到气候科学、生态科学、经济学等学科的交叉研究领域,作为新兴学科需要理论创新与方法学探索^[1]。适应气候变化是发展中国家现实而迫切的需求,国家十二五规划首次设立了专门章节,将适应气候变化作为重要的工作内容。中国作为全球人口最多的发展中国家,一方面面临着“发展赤字”和“适应赤字”的双重挑战,另一方面,人口增长与社会经济发展受到地理、气候环境和土地等自然资源的很大约束。针对这一基本国情,有必要对适应气候变化进行一些深层思考,探索适用于中国现实情况和特殊问题的概念、理论与方法。为了进一步厘清适应与发展的关系,推动国内的气候变化经济学研究,本文提出了“气候容量”概念,对其内涵、研究方法、理论基础和政策含义进行了剖析,以便为国内的适应政策和行动提供概念分析框架和方法学支持。

1 气候容量的相关概念及其内涵

1.1 气候容量的相关概念

容量或承载力这一概念在人口-资源-环境经济学及可持续发展分析中被广为应用,强调人类活动不能超出特定生态环境系统所能承载的范围,其本质在于给人类可持续发展确定一个长期的合理的度。承载力是一个与资源禀赋、技术手段、社会选择和价值观念等密切相关的、具有相对极限内涵和伦理特征的概念。承载力研究有两个主要的视角,一是基于生态学的生物承载力,如土地承载力、水资源承载力、生态承载力、环境容量等;二是基于人口与环境的关系,探讨生态环境和自然资源对人类发展的约束,多采用人口承载力的表述^[2-3]。例如,承载力是在特定地域、特定时空范围内,多层次生物圈和环境过程下,一个拥有有限资源的栖息地或生态系统可容纳的最大人

收稿日期: 2013-09-20

作者简介: 潘家华, 博士, 研究员, 博导, 主要研究方向为气候变化政策与国际气候制度。

通讯作者: 郑艳, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为环境经济学、适应气候变化政策。

基金项目: 中-英-瑞士“中国适应气候变化项目”; 国家自然科学基金重点项目“长三角城市密集区气候变化适应性管理对策研究”(编号: 70933005); 国家自然科学基金青年项目“适应气候变化治理机制: 东西部案例比较研究”(编号: 71203231); IRDR-CHINA项目“气候变化、干旱与移民: 动力机制与风险评估”。

口容量^[4-5]。由于学科视角和分析方法的局限性,许多研究忽视了生态环境与人口承载力之间的复杂互动关系^[6]。可持续发展概念将社会-经济-生态环境纳入一个整体分析框架,探讨全球人口承载力和发展阈值的问题^[7]。“适度规模的人口承载力”不仅取决于资源、环境等要素的制约,更与人类活动对资源环境的影响有关,取决于发展模式、生产与消费的方式^[8-9]。对此,国内外学界设计和改进了综合环境评估模型,以反映环境系统与社会经济系统的关联性和相互作用,例如 Berck et al^[10] 在全球环境和人口承载力的评估模型中,考虑了环境的人口承载能力及人类对环境的影响两方面因素。然而,国内的承载力研究还较少考虑气候变化的影响,以及人类活动与气候和环境的互动作用。传统的人口与资源环境承载力研究主要将气候和地理要素作为一个外生变量,认为一个地区的气候地理环境是相对稳定的,因而正常状态下的生态承载力和人口承载力也是比较恒定的。然而在气候变化背景下,各种气候要素的变率增加,不确定性加大,使得人类-生态系统的复杂性加剧。这种情形下,有必要提出气候容量的概念,以便区别于传统的承载力研究。

气候容量是在全球气候变化背景下提出的新概念。从广义的范围来看,气候容量本质上是探讨气候变化背景下全球和区域可持续发展的容量问题,理论上可以兼具减缓和适应领域。从全球温室气体减排方面来看,有人认为气候容量是地球以不损害基本气候条件稳定的方式吸收温室气体能力^[11]。这个概念对环境容量比较接近,类似于地球大气系统和生态环境的自净能力,其政策含义在于温室气体排放权的分配,以及容量约束下的国际经济政治格局。然而,本文所界定的气候容量与此不同,更接近于气象学领域的“气候生产潜力”、“气候资源承载力”等概念。气候生产潜力是指在最优的技术、管理和投入条件下,由光温水等气候资源共同决定的最大限度的生态系统生产力,也称为净第一性生产力或初级生产力^[12-14]。气候资源承载力是在气候生产潜力确定的基础上,理论上单位面积土地最大可能承载的人口量^[15-16]。

研究表明,气候变化对水资源、生态系统、社会经济发展都造成了显著影响^[17]。气候变化通过影响气温、降水等气候资源以及水资源、生态系统,从而对农业、林业、渔业、人口承载力、社会经济发展潜力带来相应的影响。例如 Batchelder & Kashiwai^[18] 从气候-生态系统耦合角度评估了气候变化对太平洋环极地地区的渔业资源的影响。降水、温度及其均值变化(变率)是影响特定地区长期植被覆盖的最重要因素,高志强等^[19] 对中国北方地区20年的气象和遥感数据分析表明,该地区生态系统的初级生产力由于温度升高、降水减少而显著降低,其中气候变化对

于初级生产力下降的贡献为90%,土地利用变化的影响只占到10%。公延明等^[20] 基于长期气候指标测算了高寒地区的初级生产力及草地载畜量,指出西北干旱区气候向暖湿化转变的趋势将有助于该区畜牧业的发展。周广胜等^[21] 分析了东北地区森林、农田、草地和湿地的生产力及其粮食产量动态变化,根据未来100年的气候预估资料,预测了东北地区在宽裕型、小康型和富裕型几种消费水平下的人口承载力。张吉生等^[22] 根据不同的气候变化情景,对宁夏红寺堡区2020年的人口承载力进行了预测。

本文提出的气候容量概念是对上述概念及方法的整合与拓展。首先,气候容量的内涵或基础不仅包括了温度、光照、降水、蒸发量等等气候资源要素,还应当包括气候风险,如干旱、暴雨、台风等极端气候事件,海平面上升等,因为气候风险也是影响特定地区综合承载力的重要因素之一;其次,气候容量的承载对象不仅局限于土地、水资源、生态系统及人口承载力,还包括特定产业(如农业)、或特定地区的社会经济系统。

1.2 气候容量的内涵

1.2.1 气候容量

地球是岩石圈、大气圈、水圈、冰冻圈和生物圈五大圈层构成的有机系统,这些圈层的相互作用形成了气候系统并决定了气候的自然变化^[23],全球气候和环境变化是人类活动与气候系统共同作用的结果,是典型的人类-生态复杂系统问题,具有复杂性、动态性、不确定性等特征^[24]。气候容量反映人类系统与生态系统之间的有机联系,可对全球气候和环境变化带来的影响、脆弱性和风险进行分析。

从长期来看,气候容量是一个特定地区能够承载一定的自然资源、人口和社会经济发展的气候本底条件。气候容量的核心因子是气候要素的天然水平,为一个特定地区各种关键气候要素及其组合与变异而形成的总的量级水平。在某一地区,气候容量各种要素中可以由一个或几个起主导或决定作用,例如,光照、温度和降水。气候要素的变异主要为季节和年际变化。由于地形、地貌、土壤和植被状况,气候容量出现空间分化,有些地方成为容量输出地区而出现天然容量缩减,有些地区则成为容量输入地区而出现天然增容。气候变暖导致中国西部地区干旱加剧,引发水土流失,显然是一种容量缩减,而高山融雪增加了湖泊和下游河流的水量和径流,则为天然扩容的例证。

气候容量的天然安全阈值受限于天然低限值,如最早年份的降水量。因为如果年际波动或变率大,采用多年平均值会存在风险。底线容量是指在最极端的(气候变化)情况下,确保自然和社会经济系统不致崩溃的最基本的保障性容量(安全的容量范围)。例如,对于某城市而言,如



果低于 300 mm 年降水量将导致不可逆的或者城市供水安全问题, 则这一阈值就是一个最低可接受的底线容量。

1.2.2 气候衍生容量

气候衍生容量是指在给定的气候容量范围内的生态承载力、水资源承载力、土地承载力和环境承载力。衍生容量在很大程度上受到气候要素的影响, 诸如技术进步和科学管理等人为的技术、经济和社会活动可以使一定气候容量下的生态系统、水资源、土地、环境对人口和社会经济系统的承载力得以提升。气候衍生容量主要包括:

(1) 生态承载力: 基于人工生态系统的植树造林、种植草场、建造湿地、引水工程等所形成的人工生态系统的承载力, 指标包括生物量、载畜量、初级生产力等。

(2) 水资源承载力: 某地区降水、地表水、地下水的多年累积所形成的水资源总量(包括理论总量, 或者在一定的技术条件下的现实可利用量)。

(3) 土地承载力(或单位土地面积的生物产量): 作物在全生育期内通过光合作用和吸收作用, 即通过物质和能量的转化所生产和累积的各种有机物的总量。例如, 单位面积农产品产量, 如水稻亩产、棉花亩产等。

(4) 环境容量或环境承载力: 指一定区域内满足一定环境标准的环境恢复、自净能力。例如水体的化学需氧量 COD 或氨氮的自净能力, 大气二氧化硫或粉尘的最大容许排放量而不超标。

1.3 气候容量与人口承载力

人口承载力受到自然因素与社会经济因素的共同作用。中国的自然环境对于中国人口分布和社会经济发展的总体格局具有深刻的影响, 气候变化是导致中国 2000 年来人口分布格局及历史上几次人口大变动的关键因素^[25-27]。胡焕庸等^[28]发现自黑龙江黑河至云南腾冲有一条人口数量和密度的分界线, 即“黑河-腾冲线”。这条分界线既是中国人口分布的界限, 也是与 400 mm 等降水量线几乎重合的自然地理界限, 也是区分我国半湿润区和半干旱区的分界线。从气象和地理因素上来看, 中国西干东湿、南低北高的地貌趋势, 以及大气环流带来的季风影响, 是形成中国人口东密西疏格局的大背景^[25-29]。与气候地理环境高度相关的中国人口地域分布模式表现出高度的稳定性。根据 2000 年第五次人口普查结果, 这条界线东南、西北两部分的人口比例分别为 94%、5.9%^[30]。方瑜等^[29]分析了中国人口分布与自然要素之间的关系, 发现气候、地形和水系为影响人口分布的主要自然因素, 其中气候因素主要受到年均温度、年均降水量、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温、降水量变异、净初级生产力、温暖指数、日照时数、相对湿度等指标的很大影响。在这些自然因素的影响下, 中国人口集聚地区均位于沿海、沿江、平原等自然环境相对较好、

资源环境承载力相对较强的地区; 而人口稀疏地区则主要分布在高原、高山、沙漠等自然条件差、资源环境承载力相对较弱、经济发展相对落后地区^[31]。可见, 中国几千年形成的区域格局实际上体现了人口分布与社会经济发展受到了气候容量本底条件的制约, 这也是中国适应气候变化必须考虑的基本前提。

1.4 气候容量的阈值及其应用

气候容量的测算可以采用不同的阈值指标, 例如农作物产量、草地载畜量指标可以评估未来气候变化下特定地区农业、畜牧业的生产力和经济产出变化; 水资源承载力或土地承载力指标可以测算某干旱地区未来时期的最大承载人口; 海平面上升或台风、洪涝等风险指标可以用来测算未来时期沿海地区最优的人口、产业和基础设施布局。表 1 列出了可以作为气候容量阈值的一些参考指标。

表 1 气候容量的阈值及参考指标
Tab. 1 Thresholds and indicators of climate capacity

气候及其衍生容量阈值 Threshold	阈值要素 Determinant	参考指标 (参考阈值) Indicator	容量提升或稳定的政策途径 Policies and measures for improving
天然容量阈值	温度	积温	
	降水	年平均降水量	
	极端事件 ^[32-33]	极端天气或气候灾害发生的频率、强度及其变化(多年平均水平)	
衍生容量: 生态阈值	水资源承载力	人均可利用水资源(如不小于 500 m ³)	借助工程措施改变时空格局
	生态承载力	初级生产力(如载畜量)生物多样性指数(高中低)	借助技术措施改变需求或提高效率
衍生容量: 气候风险阈值	土地承载力	人均可利用土地资源人均土地产出量	工程加技术措施
	气候风险(气候灾害海平面上升等)指数	如气候灾害影响人口占总人口 30% 以上; 或灾害经济损失占 GDP 的 5% - 10% 以上 ^[33] (多年平均水平)则视为高风险地区, 需要实施移民、控制人口和开发活动	工程、技术、制度措施

需要指出的是, 气候风险因子也是气候容量的重要阈值。一些地区可能具有较好的天然气候容量, 但是未必适宜居住, 人口承载力及社会经济发展规划需要考虑气候变化导致的灾害风险对宜居性、人口和社会经济安全的影响。例如陕西省已经启动了一项涉及陕南贫困山区 240 多万人的大规模生态移民计划^[35], 该区位于秦岭以南, 具

有丰富的温光水气候条件,但是常年遭受暴雨洪涝、泥石流和滑坡等气象灾害影响,巨大的救灾投入收效甚微,使得迁移成为减小灾害风险、发展经济和脱贫的理性选择。

1.5 气候容量的特点

(1) 刚性约束性: 气候容量在特定的时间、空间范围内,是一个较为稳定的自然现象,人为活动在短期难以改变这种气候和地理条件导致的刚性约束。

(2) 波动性: 受到气候系统及其变化的影响,气候容量具有季节和年际波动特性。

(3) 区域性: 气候容量体现为区域差异性,例如中国不同流域的水资源分布就存在较大差异。

(4) 传导性/转移性: 受到地形、地貌、水资源等要素的影响,一个地区的气候容量常常与临近地区的容量相关联,例如跨流域的不同地区,存在着水资源气候容量的外部输入和输出现象。此外,通过人工活动如跨地域调水工程,则可以导致容量的时间和空间转移。

(5) 互动性/反馈性: 从全球范围来看,人类社会经济系统与气候容量之间能够相互影响,人类活动可以改变气候容量,如温室气体排放能够导致升温效应,引起全球气候变暖,导致一些地区原有的气候容量发生改变;反之,气候容量的变化也可以改变人类行为,例如气候变化导致的长期干旱、洪涝、台风或海平面上升等极端事件,会引发人口迁移,推动地方采取适应政策和行动。

1.6 改善气候容量的方法及原则

气候容量是基于气候变化的自然容量,其自然生产力所能支持的自然和社会经济发展水平是一定的,如果不考虑技术进步和人力资本的作用,也是一定的。随着人口增加和生活品质提高的需求,气候容量(包括天然容量和衍生容量)越来越不能满足经济社会的需求,两者的差距逐渐加大,此时可能引发气候安全问题,不仅仅是水安全、粮食安全、经济安全,还有社会稳定和国家安全的内涵。对此,需要采取工程、技术、制度等措施进行改善。

气候容量不仅是一个自然要素的综合集成,依靠技术进步、科学管理、水利工程等人为活动也可以加以改变。人类历史上将自然生态环境改造为适宜人类居住的地区,或者通过生产和贸易活动实现生态足迹的时空转移,就是一种人工增加气候容量的措施。前一种主要是工程技术性措施,包括:人工影响天气,调水工程,水利设施,生态保护等等。后一种包括粮食、木材、高耗能产品的进出口等等,实际上是内涵能源、内涵水资源在不同时间和空间上的转移。工业时代高度依赖的化石能源,实际上来自久远地质年代生物体储存下来的太阳能资源,也是一种气候容量的跨时空利用。但是,必须注意到,人为调整气候容量只能是局部的、有限规模的,并且存在一定的风险。例如,

在干旱地区修建水坝或抽取地下水资源,会加剧当地自然系统和社会经济系统的脆弱性。

如果要通过人类活动改进(增加)某个地区的气候容量,需要遵循以下几个原则:

(1) 经济理性原则: 改变某个地区气候容量的举措需要考虑投入的经济成本和效益,比如,引渤海水入内蒙,截断喜马拉雅山脉,都是一种概念设想,缺乏技术和经济的可行性。

(2) 生态环境完整性原则: 改变气候容量需要考虑相关举措对于地区和更大层面的生态环境的影响,确保生态系统及其服务功能的健康和完整。

(3) 气候防护性原则: 从气候安全和防护性需求出发,适应措施应当优先考虑那些基本生存条件恶劣、生命财产易于受到气候灾害影响的地区和群体,例如海平面上升引起淹没的地区、气候灾害高发地区,应该实施移民。

(4) 公平分配原则: 气候容量的改变和转移会实际上是一种气候资源的再分配,需要优先考虑最脆弱和需求最迫切的群体,确保资源的公平分配和利益共享,例如南水北调、三峡工程等特大型水利工程,都会导致气候容量在不同地区的时空变化,需要进行补偿和惠益共享。

针对不同情况,上述原则可以有不同的优先次序。例如,因为海平面上升、气候灾害导致人员财产伤亡,需要迁移、救助的,就必须优先选择气候防护性原则,而不能考虑成本问题。

2 气候容量的案例分析

发展经济、消除贫困是提高适应气候变化能力的主要手段。但是,我国西北和华北等地区的开发型扶贫等政策实践的效果并不理想。适应气候变化与发展有关,但在某些特定情况下,经济发展可能并不是应对气候变化的最为有效的途径。为了解气候容量的政策含义,选择位于中国人口地理分界线两边的宁夏和上海两个案例,从气候容量的角度分析这两个地区面临的气候风险及其应对策略。

2.1 气候容量限制与宁夏生态移民

宁夏位于我国西部干旱地区,自1980年代以来,宁夏分阶段实施了60多万人的移民,“十二五”期间,还规划迁移35万人^[22]。宁夏的移民政策出发点是为了扶贫、发展和生态保护,从表面来看,移民是由于生态环境恶化和贫困引发的,但是人口压力-生态退化-贫困这一恶性循环背后的驱动因素却是气候和环境变化,本质上是受到了气候容量的限制,无法提供充足的物产,人口承载力非常有限,不得不迁移出超过气候容量的部分人口。通过分析西海固移民迁出地区,红寺堡移民迁入地区两个具体案例,可以从气候容量的视角来分析适应与发展的关系问题。

2.1.1 “一方水土养不了一方人”: 气候容量限制下的西海固地区

号称“苦甲天下”的宁夏西海固地区是国家重点扶贫地区之一,包括宁夏中南部的9个国家扶贫重点县(区),面积占宁夏的60%左右,人口约200万人,占宁夏人口的1/3。这一地区生态脆弱,干旱少雨,土地瘠薄,资源贫乏,自然灾害频繁,水土流失严重;年均降水量200-650 mm,人均水资源占有量仅为136.5 m³,为全国最干旱缺水的地区之一。按照国家1350元的贫困线标准,目前还有贫困人口近100万人,其中有35万人居住在交通偏远、信息闭塞、外出务工不便、生态失衡、干旱缺水、自然条件极为严酷的干旱山区^[36],生计来源深受气候和环境条件的影响,渴望搬迁的愿望非常强烈。对此,常规的发展过程或者扶贫式发展难以解决根本问题,发展(如更多的基础设施投资、水资源开发、发展现代工业和城市化)只会进一步恶化生态环境,不能增强该地区的气候容量和气候适应能力。

2.1.2 “荒滩变绿洲”: 人工增容的红寺堡移民区

宁夏实施的移民搬迁,由于水土资源的限制,只有少部分搬迁到气候容量较好、人口容量较大的北部引黄灌区。为了解决大量的迁移人口需求,宁夏利用黄河水将荒漠改造为农业绿洲,在中部扬黄灌区建成了拥有19万人口的红寺堡移民聚居区^[23]。红寺堡是依靠人工措施增加气候容量的典型成功案例,然而,从长远来看,依然是一个气候容量脆弱而不稳定的地区。实际上,移民示范效应和人口集聚效应,在给地方政府带来发展机遇的同时,也让他们意识到了红寺堡这个新兴城镇面临的水资源和环境制约。一旦气候变化对于未来黄河径流量造成较大的波动,红寺堡这个“沙漠绿洲”面临的人口和发展压力将会加剧,甚至面临生存的威胁。

2.2 沿海城市的气候风险

中国东部沿海地区是容易遭受到台风、风暴潮等气象灾害袭击的高风险地区。人口与财富的密集分布是导致这一地区潜在在高风险的主要原因。上海市位于区位优势、自然资源丰富、经济文化发达的长江三角洲沿海地区,作为长三角经济圈的龙头城市,2010年的人均GDP已经超过1万美元,达到中等发达国家水平,人口超过2300万,城市化率超过80%,居全国之首。由于身处长三角冲积平原,背靠江南鱼米之乡,气候容量充裕,根据测算,上海所承载的人口密度是宁夏的30多倍,土地面积只有宁夏的1/10,单位土地的GDP产出却是宁夏的106倍。为了进一步发挥上海市的综合发展优势,克服土地资源的瓶颈,上海投入400亿元建设了133 km²“临港新城”,其中45%的陆地是“填海”而来的。围海造田的做法有助于改善上海市区的人口和城市压力,但是未来气候变化导

致海平面持续上升,也会增加相应的气候灾害风险,包括台风侵袭、风暴、海啸,以及海水入侵和淹没导致的再度搬迁。对此,有必要进行气候容量评估,并在城市发展规划中考虑潜在的气候风险与适应问题。

从宁夏西海固和上海的案例来看,气候容量直接决定了某个地区适宜或不适宜人类发展,这是一个根本的前提,受到气候、土地、生态、水资源、灾害风险等气候容量阈值的限制。不论是发展还是适应战略,都必须在这一前提下制定政策和行动。加强对东部高人口密度区的气候变化和生态环境监测,避免因人口增长导致生态环境恶化;同时,加强对中西部生态脆弱地区的生态环境保育,提升这些地区的气候容量和人口承载能力。

3 气候容量的政策含义

气候容量概念不但具有坚实的科学基础,也具有鲜明的政策含义。气候容量概念较之于生态承载力、人口承载力等相关概念,添加了气候变化这一动态变量,对于在气候变化背景下,因地制宜地制定适应策略,具有鲜明的政策含义。首先,容量限制型的适应问题,主要是由于自然环境和气候等本底资源较差,需要充分尊重自然规律,限制人口总量、经济发展的速度和规模,避免生态环境系统崩溃威胁到人类自身的安危。其次,发展驱动型的适应问题,风险的增加是伴随着人口、经济的快速发展而产生的,需要在发展过程中,一方面通过发展提升适应能力,一方面加强气候防护及适应治理的技术、资金、人力资本投入,合理进行人口和产业布局,降低气候脆弱性,减小气候风险。

气候容量能够反映人类系统与生态系统的相互作用,可以在气候科学研究的基础上开展影响评估、脆弱性评估和风险评估。同时,气候容量秉承了生态经济学的理念与方法,可以研究气候容量限制下的最优人口容量和社会经济发展规模,这是气候容量的经济学含义。对气候容量及其阈值的评估能够为社会经济发展和适应行动提供决策支持,步骤如下:

第一步,基于未来气候变化情景进行气候容量基本要素的评估,首先找出地区气候变化风险的关键因子,根据气候模式预估,测算出不同气候情景下特定地区的气温、降水、极端气候事件等天然容量阈值水平,作为气候风险评估的核心指标。

第二步,分析不同气候变化情景下的地区水资源、生态资源、土地资源、大气资源、气候灾害风险等衍生容量因子的时空分布变化。

第三步,设计不同的人口和社会经济发展情景,估算特定资源(如水资源、草地生物量、气候风险等)制约下的

人口、产业或社会经济系统的最大潜力。

第四步,基于气候容量评估结果,如特定地区某种气候变化情景下的最大发展潜力(如人口、经济),或最小的(人口/社会财富)风险暴露水平,从而制定相应的中长期发展规划或适应政策,例如政府主导的移民工程、气候防护基础设施投资、提高建筑的气候风险防护标准、适应技术研发等。

第五步,适应政策效果评估,根据适应政策实施前后,该地区气候容量指标的变化,作为评价适应政策效果的客观依据。

可见,气候容量可以作为制定或评估发展政策和适应行动的决策依据,假如地区人口和经济发展恶化了当地的气候容量(例如干旱地区的过度城市化),则说明该政策是不可持续的,或适应不良的;假如某个政策有助于在长期改进地区气候容量(例如退耕还林),则是可持续的,适应良好的。

气候容量概念有助于将减排、适应、灾害风险管理、可持续发展等领域有机结合在一起。对于制定生态保护、气候变化与贸易、防灾减灾等领域的政策,具有借鉴意义。首先,从全球尺度来看,所有应对气候变化的减排和适应行动,长远来看都可视为一种维持和增加全球气候容量的举措,都是为了使得全球人口与气候阈值保持平衡,让人类社会得以可持续的生存和发展。其次,从地区层面来看,某个地区气候容量的增加很可能会影响到其他地区的容量发生变化,比如短期的人工降雨措施,或者在河流上修建水坝,对受益地区而言可能是符合成本效益的举措,但是从更大尺度的时间和空间来看,会涉及到气候资源的公平、可持续利用问题。理论上,在一定的气候变化情景下,在确保每一个地球个体的基本人文发展需求的前提下,水资源、土地、生态系统等基本要素所对应的人口容量是有限的。在充分利用了现有气候容量的理想状态下,全球总的气候容量类似一种帕累托最优的状态,即任何一个国家或地区气候容量的增加,必须以其他国家(或地区)气候容量的减少作为代价。不过,随着技术进步,气候容量可以发生帕累托改进。开放经济条件下,气候容量可以在不同的国家、区域和时间尺度上进行(有偿或无偿的)转移。例如,碳税、减排政策、粮食贸易、生态补偿政策等等都可以实现气候容量的再分配。可见,在气候资源日益受到各国重视的今天,一国的比较优势不仅仅体现为资金、技术、人力资本,那些拥有丰富的风力资源、太阳能资源、土地资源、水资源、可再生能源等自然禀赋的国家,有可能随着未来的技术进步具有不可比拟的发展潜力和贸易优势。

• 6 •

4 结 论

适应与发展目标的协同实现,就是要在制定具体政策时,综合考虑多个社会发展目标,气候容量概念具有科学的、经验的基础,能够反映人类发展与自然环境之间的交互影响关系,可以成为人口资源与环境经济学的分析工具,开展气候变化风险评估及适应政策研究。

中国是典型的农业大国,人口资源约束是发展的基本特征。从根本上来讲,中国适应气候变化是气候容量问题。即一个地区特定气候资源所能够承载的自然生态系统和人类社会经济活动的数量、强度和规模。在气候容量充裕的地区,适应气候变化常常是一个发展引发的问题;而在气候容量严重受限地区,发展可能恶化气候环境。本文认为,中国地理空间广阔且发展不平衡,因此适应气候变化应针对不同适应类型的地区设计差异化的政策,将适应气候变化与当地的气候容量相适应,与发展相协同,并且对适应进行成本收益分析,做到无悔、公平和效率。由于气候容量存在较大的区域差异,需要跨越部门和行政区划的限制采取适应对策。《国家适应气候变化战略》即将出台,从国家到地方层面的适应政策和行动,既需要有宏观战略的指导,也需要进行科学的、因地制宜的评估和规划。气候容量概念可以作为开展适应区划研究的科学基础,测算气候变化背景下特定地区的水资源平衡、生态承载力,从而制定科学合理的人口与发展规划。

致谢:宁夏发改委、宁夏经济研究中心、上海市气象局等部门为调研提供了支持和协助,中国社会科学院可持续发展研究中心陈迎研究员等专家对本文提出了建议和贡献,在此一并致谢。

(编辑:李 琪)

参考文献(References)

- [1]郑艳,潘家华,庄贵阳,等.气候变化经济学[G].//中国社会科学院经济学部.中国经济学年鉴2010.北京:中国社会科学出版社,2011:117-132. [Zheng Yan, Pan Jiahua, Zhuang Guiyang, et al. Review on Climate Change Economics [G]. //Economics Department of CASS. CASS Economics Annals 2011. Beijing: Chinese Social Sciences Literatures Press, 2011: 117-132.]
- [2]高鹭,张宏业.生态承载力的国内外研究进展[J].中国人口·资源与环境,2007,(2):19-26. [Gao Lu, Zhang Hongye. Progress in Research of Ecological Carrying Capacity [J]. China Population, Resource and Environment, 2007,(2):19-26.]
- [3]董玉芬.人口承载力研究的演进、问题与展望[J].人口研究,2012,36(5):28-36. [Tong Yufen. Research on Population Carrying Capacity: Evolution, Problems and Prospect [J]. Population Research, 2012, 36(5): 28-36.]
- [4]Kessler J J. Usefulness of the Human Carrying Capacity Concept in Assessing Ecological Sustainability of Land-use in Semi-arid Regions

- [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1994, (48): 273 - 84.
- [5] Del Monte-Luna P, Brook B W, Zetina-Rejón M J, et al. The Carrying Capacity of Ecosystems [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, (13): 485 - 95.
- [6] Rees W E. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics [J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121 - 130.
- [7] 赫利曼·戴利. 超越增长: 可持续发展的经济学[M]. 诸大建, 胡圣, 译. 上海: 上海译文出版社, 2001. [Daly H E. *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development* [M]. Zhu Dajian, Hu Sheng, Translated. Shanghai: Shanghai Translation Publishing House, 2001.]
- [8] Cohen J E. Population, Economics, Environment and Culture: Introduction to Human Carrying Capacity [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1997, (34): 1325 - 1333.
- [9] 潘家华. 持续发展途径的经济学分析[M]. 北京: 经济科学出版社, 1997. [Pan Jiahua. *Economic Analysis on Sustainable Development* [M]. Beijing: Economic Science Press, 1997.]
- [10] Berek P, Levy A, Chowdhury K. An Analysis of the World's Environment and Population Dynamics with Varying Carrying Capacity, Concerns and Skepticism [J]. *Ecological Economics*, 2012, 73: 103 - 112.
- [11] 龚向前. 全球气候容量的财产权属性及其分配原理[J]. 武大国际法评论, 2010, (13): 297 - 312. [Gong Xiangqian. On the Legal Attributes and Distribution Principles of Global Climate Capacity [J]. *Wuda International Law Review*, 2010, (13): 297 - 312.]
- [12] 陈明荣, 龙斯玉. 中国气候生产潜力区划的探讨[J]. 自然资源, 1984, (3): 72 - 79. [Chen Mingrong, Long Siyu. Discussion on China's Climatic Potential Productivity Zoning [J]. *Natural Resources*, 1984, (3): 72 - 79.]
- [13] 侯西勇. 1951 - 2000 年中国气候生产潜力时空动态特征[J]. 干旱区地理, 2007, 31(5): 723 - 730. [Hou Xiyong. Temporal and Spatial Dynamics of Climatic Potential Productivity in China from 1951 - 2000 [J]. *Arid Land Geography*, 2007, 31(5): 723 - 730.]
- [14] 孙卫国. 气候资源学[M]. 北京: 气象出版社, 2008. [Sun Weiguo. *Climate Resources* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008.]
- [15] 李艳春. 宁夏干旱区气候承载力分布特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 96 - 99. [Li Yanchun. Climate Capacity Distributis Characteristics in Ningxia Arid Area [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment* Aug. 2010, 24(8): 96 - 99.]
- [16] 白美兰, 郝润全, 高建国, 等. 内蒙古地区气候资源生产潜力及其人口承载力分析评估[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 253 - 257. [Bai Meilan, Hao Runquan, Gao Jianguo, et al. Climate Resources Poteritl Productivity and Its Population Capacity Evaluation in Inner Mongolia [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(6): 253 - 257.]
- [17] IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability* [R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 982.
- [18] Batchelder H P, Kashiwai M. Ecosystem Modeling with Nemuro within the Pices Climate Change and Carrying Capacity Program [J]. *Ecological Modelling* 2007, 202: 7 - 11.
- [19] 高志强, 刘纪远, 曹明奎, 等. 土地利用和气候变化对区域初级生产力的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 581 - 591. [Gao Zhiqiang, Liu Jiyuan, Cao Mingkui, et al. Impacts of Land Use and Climate Change on Regional Net Primary Productivity [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 581 - 591.]
- [20] 公延明, 胡玉昆, 阿德力·麦地, 等. 高寒草原对气候生产力模型的适用性分析[J]. 草业学报, 2010, 19(2): 1 - 7. [Gong Yanming, Hu Yukun, Adeli M D, et al. Analysis of Adaptation of A Climate Productivity Model on Alpine Grassland [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(2): 1 - 7.]
- [21] 周广胜, 袁文平, 周莉等. 东北地区陆地生态系统生产力及其人口承载力分析[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 65 - 72. [Zhou Guangsheng, Yuan Wenping, Zhou Li, et al. Terrestrial Ecosystem Productivity and Carrying Capacity in Northeast China [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 65 - 72.]
- [22] 张吉生. 适应气候变化: 宁夏生态移民研究报告[G]. // 马忠玉. 宁夏应对全球气候变化战略研究. 银川: 阳光出版社, 2012: 230 - 370. [Zhang Jisheng. *Adaptation to Climate Change: Research Report on Ecological Migration in Ningxia* [G]. // Ma Zhongyu. *A Study of Strategic Solutions to Global Climate Change in Ningxia*. Yinchuan: Sunshine Press. 2012: 230 - 370.]
- [23] 张人禾. 气候观测系统及其相关的关键问题[J]. 应用气象学, 2006, 17(6): 705 - 710. [Zhang Renhe. Climate Observing System and Related Crucial Issues [J]. 2006, 17(6): 705 - 710.]
- [24] Folke C, Hahn T, Olsson P, et al. Adaptive Governance of Social-Ecological System [J]. *Annual Review of Environmental Resource*, 2005, (30): 441 - 73.
- [25] 王桂新. 中国人口的地域分布及其变动[J]. 人口研究, 1998, 22(6): 41 - 46. [Wang Guixin. Regional Distribution and Change of China's Population [J]. *Population Research*, 1998, 22(6): 41 - 46.]
- [26] 李伯重. 气候变化与中国历史上人口的几次大起大落[J]. 人口研究, 1999, 23(1): 15 - 19. [Li Bozhong. The Influence of Climate Change on China's Historical Population Fluctuation [J]. *Population Research*, 1999, 23(1): 15 - 19.]
- [27] 吴静, 王铮. 2000 年来中国人口地理演变的 Agent 模拟分析[J]. 地理学报, 2008, 63(2): 185 - 194. [Wu Jing, Wang Zheng. Agent-based Simulation on the Evolution of Population Geography of China during the Past 2000 Years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(2): 185 - 194.]
- [28] 胡焕庸. 中国人口的分布、区划和展望[J]. 地理学报, 1990, (2): 139 - 145. [Hu Huanyong. The Distribution, Regionalization and Prospect of China's Population [J]. *Acta Geographica Sinica*,

- 1990 ,(2) : 139 - 145.]
- [29]方瑜 欧阳志云 郑华 等. 中国人口分布的自然成因[J]. 应用生态学报 2012 ,23(12) : 3488 - 3495. [Fang Yu ,Ouyang Zhiyun , Zheng Hua , et al. Natural Forming Causes of China Population Distribution [J]. Chinese Journal of Applied Ecology , 2012 23(12) : 3488 - 3495.]
- [30]葛美玲 封志明. 人口流迁: 基于 GIS 的中国 2000 年人口之分布格局研究: 兼与胡焕庸 1935 年之研究对比[J]. 人口研究 , 2008 ,32(1) : 51 - 57. [Ge Meiling , Feng Zhiming. Research on Distribution Pattern of Population of China in 2000 based on GIS: Compared with Hu Huanyong's Research in 1935 [J]. Population Research , 2008 ,32(1) : 51 - 57.]
- [31]刘睿文 封志明 杨艳昭 等. 基于人口集聚度的中国人口集聚格局[J]. 地理科学进展 , 2010 ,29(10) : 1171 - 1177. [Liu Ruiwen , Feng Zhiming , Yang Yanzhao , et al. Research on the Spatial Pattern of Population Agglomeration and Dispersion in China [J]. Progress in Geography , 2010 ,29(10) : 1171 - 1177.]
- [32]秦大河 ,丁永建 ,穆穆. 中国气候与环境演变: 2012(综合卷) [M]. 北京: 气象出版社 2013. [Qin Dahe , Ding Yongjian , Mu Mu. China's Climate and Environmental Change: 2012(Synthesis) [M]. Beijing: China Meteorological Press , 2012.]
- [33]IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [R]. Cambridge , UK: Cambridge University Press , 2012: 582.
- [34]王雷 汪恕诚 仇保兴 等. 水的忧患: 关注我们的水环境[J]. 城乡建设 2005 (8) : 40 - 47. [Wang Lei , Wang Shucheng , Qiu Baoxing , et al. Worry about Water: Pay Attention to Our Water Environment [J]. Urban and Rural Development , 2005 (8) : 40 - 47.]
- [35]人民网. 陕西启动大规模生态移民工程 [N/OL]. (2011 - 02 - 22) . <http://unn.people.com.cn/GB/13970849.html>. [Renming Net. Shaanxi Launched Large Scale Ecological Migration Projects [N/OL]. (2011 - 02 - 22) . <http://unn.people.com.cn/GB/13970849.html>.]
- [36]宁夏发改委. 宁夏“十二五”中南部地区生态移民规划[R]. 银川: 2012. [Ningxia Development and Reform Committee. Ningxia 12th Five Year Plan on Ecological Migration in the Middle and Southern Region [R]. Yinchuan: 2012.]

Climate Capacity: A Measurement for Adapting to Climate Chang

PAN Jia-hua^{1 2} ZHENG Yan^{1 2} WANG Jian-wu³ XIE Xin-lu¹

- (1. Institute of Urban & Environmental Studies , Chinese Academy of Social Sciences , Beijing 100028 , China;
2. Research Centre for Sustainable Development , Chinese Academy of Social Sciences , Beijing 100028 , China;
3. China's Land and Mineral Resources Legal Affairs Centre , Beijing 100034 , China)

Abstract This paper proposes a concept of “Climate Capacity” in dealing with climate disasters and risks , focusing on related carrying capacities , such as climatic resources carrying capacity , water resources carrying capacity , ecological carrying capacity , land carrying capacity and environmental capacity. From a perspective of global climate and environmental change , this paper argued that adaptation to climate change in China should consider as constraints of climate capacity. Climate capacity is the total potential productivity of ecological system and volume of socio-economic activities which can be carried by the specific climatic resources in a region during a period. Climate capacity is comprised of two components; one is the natural determinants including temperature , precipitation , sunshine , and extreme climatic events , etc. The other is the derived capacity , including determinants of water , land , ecosystem , and climatic disaster risks. Taken consideration of principles of cost-benefits , ecological integrity , social justice and climate proofing into adaptive policies and measures , climate capacity can be enlarged or shrinked , as well transferred between regions and periods , by engineering , technical , and institutional interventions. This concept can be used in climate change risk assessment so as to evaluate the thresholds of climate capacity for population planning and socio-economic development. Taking examples from east and west regions with different climate capacities in China , the authors declared that irrational development in those regions with very limited climate capacity would deteriorate ecological environment; on the contrary , in those regions with rich climate capacity , climate risks are driven by increasing exposure of population and assets , which can be defined as development-driven adaptation and climate capacity limited adaptation. A conclusion is drawn that climate capacity can not only be a methodology for climate change economics research , but must be taken as a key indicator for climate adaptation planning.

Key words climate change; climate capacity; adaptation; development; climate change economics