

我国西部地区城市气候变化适应能力评价

刘霞飞¹, 曲建升^{1,2}, 刘莉娜², 李恒吉^{1,2}, 裴惠娟², 曾静静^{1,2}

(1. 兰州大学 资源环境学院/西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院 兰州文献情报中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 我国西部地区城市自然气候系统敏感且脆弱, 主动适应能力处于落后阶段, 应对气候变化风险阻力大。文章以西部地区适应型试点城市和个别省会城市作为主要研究对象, 参考“压力—状态—响应”(PSR)环境指标框架构建评价指标体系, 利用综合评价法即层次分析法和逼近理想解排序法建立评价模型, 根据综合指数评价结果将城市的适应能力划分为 I 级低水平、II 级中等水平和 III 级高水平。结果表明: 西部地区城市气候变化适应能力整体为 II 级中等水平, 城市化进程相对稳定, 城市状态指数基本分布在中等水平, 压力层的适应能力指数相对状态指数的变化具有时间上的差异, 响应指数变化具有滞后性; 相对于西北地区, 西南地区城市所面临的气候变化压力更具有不稳定性, 而响应能力较好; 根据适应能力指数等级将城市适应能力类型分为“初阶型”“中阶型”和“高阶型”。

关键词: 气候变化; 适应能力; 城市; PSR 框架; 综合评价法; 指标体系

中图分类号: X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2019)04-104-07

Research on the Assessment of Urban Climate Change Adaptation Capability in Western China

LIU Xiafei¹, QU Jiansheng^{1,2}, LIU Lina², LI Hengji^{1,2}, PEI Huijuan², ZENG Jingjing^{1,2}

(1. College of Earth Environmental Sciences/Key Laboratory of Western China's Environment Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Literature and Information Center, Chinese Academy of Science, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Comparing with the urban climate change adaptive capacity in China's eastern and central areas, it was relatively low in Western China owing to its eco-environment vulnerability and sensibility of natural system. This study chose the adaptive pilot cities and individual provincial capital cities in Western China as the main research object. 16 indicators were selected to build the Evaluation Index System, which was referred by the "Press-State-Response" (PSR) framework. Evaluation model was built by using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the expert scoring method as well as Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS). According to results of the Adaptation Capability Index, it was divided into three levels, namely, Level I, Level II and Level III. The urban climate change adaptability in Western China concluded as follow: The urban climate change adaptation capability was generally Level II in Western China, in which the process of urbanization was relatively stable and the urban status index was basically distributed at the medium level. Compared with the status index, the pressure index had a temporal difference, while, the response index had a hysteresis. Compared with the climate change pressures faced by cities in Northwest China, it was more unstable in Southwest China. However, the response capability was better in Southwest China. There were three stages of urban climate change adaptation capability in Western China, namely, the primary stage, the middle stage and the advanced stage.

Key words: climate change; adaptation capability; city; PSR framework; comprehensive evaluation; index system

气候变化导致一系列极端气候事件发生, 适应气候变化以及由此引发的风险是国内外研究的焦点。全球范围的旱涝、热浪愈发严重且发生频次变大, 严重影响了居民的生存生态环境, 在一定程度上限制了经济发展。城市在气候变化过程中, 既是重要的压力源之一, 也是采取适应措施的关键^[1], 而人类活动是造成气候变暖的重要原

因^[2]。气候问题日益严重, 适应并减缓气候变化风险是城市社会经济发展和人类生存环境可持续发展的必然选择。

适应研究的目的是评价气候变化的影响和对比不同的适应选择所产生的差异效果^[3], 适应性选择对改善系统应对能力具有潜在贡献^[4]。IPCC 报告中指出适应在气候变化领域中既是影响评估的一部分, 也是政策响应

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFA0602803); “甘肃省气候适应型城市建设探索”项目

第一作者简介: 刘霞飞(1993—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向为气候变化风险及适应。E-mail: 18394666254@163.com

通讯作者简介: 曲建升(1973—), 男, 山东莱阳人, 博士, 研究员, 研究方向为气候政策分析与温室气体排放评估。E-mail: jsqu@lzb.ac.cn

的一部分^[5]。第二专家工作组第四次评估中将资本基础、创新性、制度权力、知识信息、决策与管理五大层次的指标作为 ACCRA 适应能力指标框架^[6]。联合国发展计划署(UNDP)针对气候变化适应设计了一套综合的监测和评价框架,可适用于各个研究尺度^[7]; Pelling 等^[8]根据风险管理和气候变化适应与发展之间的关系,提出气候变化适应路径需要过渡和转变; Brink 等^[9]对城市生态系统适应(EBA)进行了系统研究并提出分析框架。

我国对适应能力的研究开始于对脆弱性的认识, AS25 项目^[10]系统评估了中国西部地区的生态环境脆弱性; 谢欣露等^[11]构建了长江三角洲城市脆弱性的评价指标。关于适应气候变化问题的研究, 潘家华和郑艳^[12]提出了基本分析框架, 而适应性在时空性方面的研究目前还处于薄弱环节^[13]。目前, 我国已开展的主要研究包括: 区域性气候系统的适应度评价^[14]、不同区域的城市应对气候变化的能力^[15]、适应能力指数空间分布^[16]、黄土高原适应能力的评估^[17]、水资源适应气候变化的能力^[18]等。

大量实证研究表明, 城市与气候变化密切相关, 是成功适应气候变化的关键点^[1]。Carter 等^[19]认为城市之所以能在适应议程中占有核心地位, 最关键的因素是气候变化对城市带来的威胁。2016 年, 我国发布《城市适应气候变化行动方案》^[20-21], 并提出 2020 年目标, 即适应气候变化指标与城市建设规划相融合, 以典型城市试点示范, 积累科学经验, 提高治理水平, 争取到 2030 年, 适应意识明显提高, 适应能力全面改善。2017 年, 气候适应型城市建设试点工作正式提上议程, 根据中西部地区不同城市气候压力、城市发展规模和类型及其功能模式, 选择了 28 个典型城市和试点区域。

我国西部地区属于自然气候系统敏感区, 气候变暖条件下, 干旱、降水等极端气候事件强度和频率超出了正常范围, 气候变化风险暴露度变大, 潜在风险大, 相对于东中部城市, 城市主动适应能力处于落后阶段。本文以西部地区适应型试点城市作为主要研究区域并构建定量评价指标体系, 一方面可以直接为建设气候适应型城市提供案例参考, 另一方面可以反映出生态环境脆弱区、欠发达地区的城市所面临的压力和适应潜力。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究的指标数据为城市市辖区统计数据, 主要来源于 2003—2015 年的《中国城市统计年鉴》和《中国城市建设统计年鉴》, 对于部分未统计到的原始数据则由地方统计年鉴补充。指标数据类型主要为相对值、绝对值和增量,

其中部分相对值经由绝对指标变换而成, 不影响评价结果。

1.2 评价对象

受统计数据限制, 西部地区的部分气候适应型试点城市不作为本次的研究对象, 为确保评价结果的有效性和可参考性, 选取部分替代城市以及个别省会城市作为新的研究对象, 共 11 个案例城市, 见表 1。

表1 案例城市

城市分布	城市名称
西北地区	商洛、咸阳、西峰、银川、白银、西宁、乌鲁木齐、克拉玛依
西南地区	广元、六盘水、昆明

1.3 评价方法

1.3.1 评价指标体系的构建

城市的气候适应能力可以概括为社会系统和自然系统相互作用下, 基于已有的压力和潜在压力, 城市发展水平和采取的举措所表现出的成效。人类活动作用下, 城市建设与环境之间存在因果循环关系, 即“发生了什么—为什么发生—如何应对”^[22]。参考环境指标模型“压力—状态—响应”框架(简称 PSR 模型), 基于指标数据的可获取性、代表性、可量化性、简易性与整体性原则, 本研究将评价指标体系的层次设置为目标层、准则层、系统层和指标层, 目标层即为本文研究目标, 准则层对应的是概念框架中的压力层、状态层、响应层, 系统层在逻辑上解释了城市适应气候变化的必要性、基础及其响应能力, 最终选取了 16 个指标构成评价体系(表 2)。

表2 城市气候变化适应能力评价指标体系

准则层	系统层	指标层	方向性
压力 (A ₁)	城市人口(B ₁)	城市人口密度/(人/平方千米)(C ₁)	负
		人口自然增长率/%(C ₂)	负
	环境与资源(B ₂)	人均绿地面积/(平方米/人)(C ₃)	正
		建成区绿化覆盖率/%(C ₄)	正
状态 (A ₂)	经济水平(B ₃)	万元 GDP 用水量/立方米(C ₅)	负
		第三产业占 GDP 的比重/%(C ₆)	正
		人均地区生产总值/元(C ₇)	正
	社会发展(B ₄)	地区生产总值增长率/%(C ₈)	正
		人均城市道路面积/平方米(C ₉)	正
		城市建设用地占市辖区面积比重/%(C ₁₀)	负
响应 (A ₃)	科技与教育(B ₅)	卫生、社会保险和社会福利业从业人员数/万人(C ₁₁)	正
		每万人在校大学生数/人(C ₁₂)	正
	环境管理(B ₆)	科学教育支出/万元(C ₁₃)	正
		科技、教育与技术领域从业人员数/万人(C ₁₄)	正
		建成区排水管道密度/(千米/平方千米)(C ₁₅)	正
		水利、环境和公共设施管理业从业人员数/万人(C ₁₆)	正

1.3.2 评价指标权重的确定

本研究采取层次分析法^[23-24]和专家打分法^[25]相结合的方式, 定性与定量评价来确定权重值, 根据多份专家打分表, 对其进行均值计算, 并对各层指标构建比较矩阵, 利用 MATLAB 归一化处理单层次指标数值, 对照随机一

致性指标值进行一致性检验, 判断各指标不一致程度是否均在容许范围之内, 若检验通过则继续单层次排序, 并将其结果与上层次权重值加权, 计算层次总排序的权重值结果(图 1)。权重值的大小与排序结果成正相关, 数值越大, 对适应能力的综合指数评价结果的影响越大, 反之则越小。

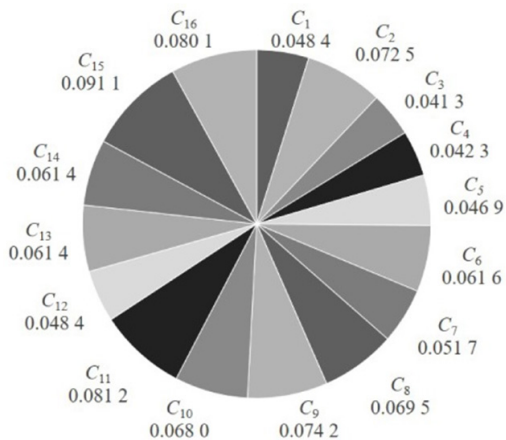


图1 城市气候变化适应能力指标权重值

1.3.3 评价模型的建立

在多准则决策问题中, 逼近理想解排序法(TOPSIS)通过计算评价对象与评价目标之间的贴近度即相对接近程度定量评估研究对象, 其中与评价目标距离最近的为正理想解, 反之则为负理想解^[26-28]。适应性定量评价研究中, 将两种及其以上的综合评价方法集成组合新的方法是研究者经常采用的方式。本文结合 TOPSIS 和 AHP 法, 选择 Excel 作为操作平台, 建立初始数据的评价矩阵。由于各指标原始数据自身具有不同量纲, 不存在可比性, 故而首先利用极值差法对统计数据进行无量纲化处理, 同时考虑各指标性质与适应能力之间具有方向性, 即正相关关系的为正向指标, 反之则为负向指标。标准化处理公式为:

$$\text{正向指标: } \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

公式(1)和公式(2)中: $\max(x_j)$ 为该指标最大值, $\min(x_j)$ 为该指标最小值。指标正向化表示该指标值越大, 城市气候适应能力越大, 反之则越小。基于标准化后的指标集, 与层次总排序权重值进行加权计算, 从而进行贴近度分析。贴近度 C_i^+ 计算公式为:

$$C_i^+ = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (3)$$

公式(3)中: $0 \leq C_i^+ \leq 1$, 当 $C_i^+ = 0$ 时, 说明该评价对象为负理想解, 距离目标值最远, 与评价目标的相对接近程度最小; 当 $C_i^+ = 1$ 时, 说明该评价对象为正理想解, 距离目标值最近, 与评价目标的相对接近程度最大。

根据 TOPSIS 法构建适应能力指数(ACI)模型, 即将 AHP 各准则层层次的权重 W 与由公式(3)组成的贴近度的判断矩阵 C 进行加权, 计算公式为:

$$ACI = \sum_{j=1}^3 W_j \times C \quad (4)$$

公式(4)中: ACI 的分布范围为 $0.0 \sim 1.0$, 根据指数评价结果, 将适应能力划分为 3 个等级, 即 $[0, 0.33)$ 为 I 级低水平, $[0.33, 0.67)$ 为 II 级中等水平, $[0.67, 1)$ 为 III 级高水平。

2 结果与分析

2.1 评价结果

基于 TOPSIS 计算方法, 将其运用到案例城市进行数据处理, 按步骤分别计算每年各城市与正理想解的贴近度, 即分别计算压力层的适应能力指数、状态层的适应能力指数和响应层的适应能力指数, 再通过加权计算城市气候变化适应能力综合指数, 结果见表 3。

西部地区城市整体的气候变化适应能力处于 II 级中等水平, 各城市综合指数呈现波动变化, 整体为上升趋势。广元市由 I 级低水平适应逐渐提高到 II 级中等适应水平, 其中两者的过渡点为 2007 年; 六盘水市在 2009 年之前的年份, 一直稳定在 II 级中等适应水平, 而 2009 年以后出现了大幅度上升, 并于 2013 年提高到 III 级高水平适应, 至今一直保持在高水平适应能力范围内; 昆明市变化幅度相对较小, 基本处于 II 级中等水平, 2010 年之后上升幅度变大, 2014 年时达到了 0.702 4; 咸阳

表3 城市气候变化适应能力指数

城市	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
广元市	0.24	0.24	0.30	0.30	0.38	0.36	0.48	0.54	0.41	0.43	0.54	0.49	0.55
六盘水市	0.36	0.37	0.40	0.36	0.39	0.40	0.36	0.42	0.45	0.48	0.69	0.68	0.74
昆明市	0.39	0.43	0.35	0.41	0.41	0.38	0.42	0.42	0.48	0.59	0.57	0.70	0.60
咸阳市	0.41	0.42	0.44	0.49	0.49	0.39	0.43	0.48	0.46	0.49	0.55	0.52	0.42
商洛市	0.32	0.32	0.37	0.40	0.41	0.46	0.57	0.64	0.58	0.57	0.49	0.48	0.49
白银市	0.42	0.41	0.47	0.36	0.35	0.36	0.38	0.41	0.41	0.52	0.51	0.51	0.52
庆阳市	0.38	0.42	0.41	0.28	0.35	0.44	0.45	0.54	0.58	0.51	0.50	0.47	0.55
西宁市	0.29	0.15	0.24	0.36	0.30	0.33	0.46	0.55	0.40	0.64	0.52	0.57	0.59
银川市	0.33	0.29	0.32	0.34	0.40	0.57	0.50	0.48	0.42	0.44	0.48	0.49	0.56
乌鲁木齐市	0.43	0.49	0.45	0.31	0.44	0.37	0.34	0.38	0.47	0.47	0.51	0.47	0.59
克拉玛依市	0.28	0.32	0.34	0.33	0.37	0.34	0.31	0.43	0.36	0.40	0.47	0.53	0.66

市适应能力指数变化稳定，一直分布在Ⅱ级中等水平范围内，2013年以后适应能力有所下降；商洛市的指数变化显著，2010年之前由0.3164大幅度上升到0.6379，之后开始缓慢下降并保持在Ⅱ级中等水平范围内；白银市适应能力指数变化不明显，小幅度上升且维持在Ⅱ级中等水平范围内；庆阳市呈波动上升状态，相对不稳定，目前基本属于Ⅱ级中等水平，其中2006年跌至Ⅰ级低水平，适应能力指数仅为0.2775；西宁市与庆阳市的变化规律类似，且波动更加明显，2008年以前基本属于Ⅰ级低水平范围，之后年份一直保持在Ⅱ级中等水平；银川市以2008年作为较明显分界点趋于两极变化，变化速率较小，变化规律与咸阳市类似，主要分布在Ⅱ级水平范围内；乌鲁木齐市的指数分布范围较稳定，波动幅度较小，除却2006年为Ⅰ级低水平，其他年份基本在Ⅱ级中等水平范围内；克拉玛依市与乌鲁木齐市指数分布类似，2009年以后的适应能力指数波动变化明显。各城市每年适应能力指数等级范围见表4。

2.2 结果分析

适应能力综合指数由压力层的适应能力指数(P-ACI)、状态层的适应能力指数(S-ACI)和响应层的适应能力指数(R-ACI)构成，其中P-ACI与实际压力呈反比，即ACI越高，实际面临的不利影响则越低；S-ACI和R-ACI与ACI呈正比，指数越高，城市发展状态越合理，响应能力越高。大部分城市的ACI增长趋势与S-ACI的变化趋势基本相一致，而白银市和银川市的ACI则明显与P-ACI变化趋势相一致。各城市S-ACI基本处于中等水平，说明城市化发展模式较良好，人口压力目前仍在城市人口承载力弹性范围内，生态环境与资源安全的受破坏程度还处于可控制状态。

从整体角度而言，西部地区城市的气候变化适应能力差异相对较小；从区域角度而言，西南地区的城市气候变化适应能力水平相对优于西北地区。根据2017年最新的全国城市的分级名单，昆明市和乌鲁木齐市属于“二线城市”，银川市、咸阳市和西宁市属于“三线城市”，克

拉玛依市、广元市、六盘水市、白银市、庆阳市和商洛市属于“五线城市”，评价对象中没有“四线城市”。二线城市综合实力较强，政治、经济地位较高，城市化水平高；三线城市具有一定的经济辐射范围，正处于快速发展阶段；五线城市在经济基础、交通网络、城市规模等明显处于劣势，城市化进程缓慢。而城市的适应能力水平与城市的分级之间不完全重合。根据适应能力的综合指数和变化幅度(图2)，可以将各城市的气候变化适应能力水平分为3类，即“初阶”型(a)、“中阶”型(b)和“高阶”型(c)。

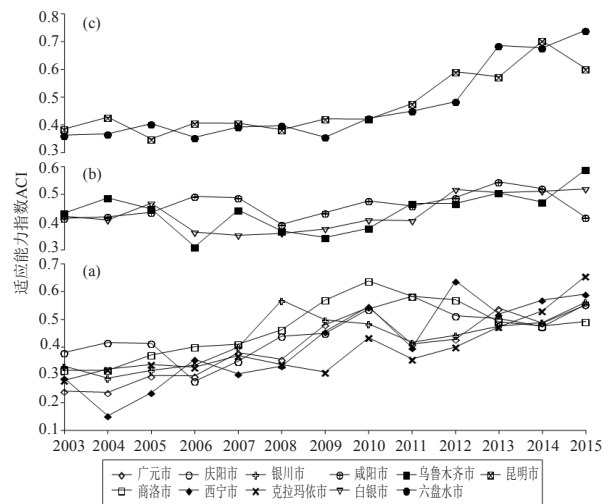


图2 城市气候变化适应能力指数历年变化趋势

(1) “初阶”型适应能力。初阶型城市包括五线城市的广元市、商洛市、庆阳市和克拉玛依市，三线城市的西宁市和银川市，其适应能力水平的变化特点为：ACI基数低，发展速度快，已具备适应意识，而人力、物力和财力的投入相对落后。除广元市属于西南地区之外，初阶型城市主要分布在西北地区，所承受的极端天气压力较低，目前所面临的压力来源于经济实力和环境管理能力。图3反映出初阶型城市的发展压力较大，S-ACI整体偏中下水平，气候变化适应能力低于城市化水平，说明城市弹性在下降，经济模式正经历着转型。

广元市的ACI变化趋势反映出P-ACI对目标层的作用最大，其次为R-ACI；商洛市的经济水平居于末尾，

表4 城市气候变化适应能力指数等级

城市	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
广元市	I	I	I	I	II	II	II	II	I	II	II	II	II
六盘水市	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	III	III	III
昆明市	II	II	I	II	II	II	II	II	II	II	II	III	II
咸阳市	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
商洛市	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
白银市	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
庆阳市	II	II	II	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II
西宁市	I	I	I	II	I	I	II	II	II	II	II	II	II
银川市	I	I	I	II	I	I	II	II	II	II	II	II	II
乌鲁木齐市	II	II	II	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II
克拉玛依市	I	I	II	I	II	II	I	II	II	II	II	II	II

在很大程度上限制了响应能力；庆阳市和克拉玛依市属于资源依赖型城市，产业结构的发展矛盾较大，而两者在经济水平上存在差异，克拉玛依市的适应压力相对较低；西宁市和银川市均属于西部省会城市，在各准则层指数中，两者的 R-ACI 均最弱。

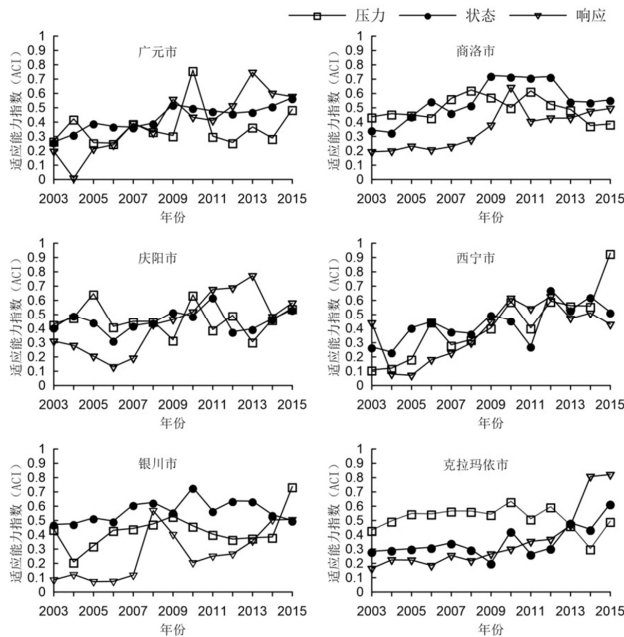


图3 初阶型城市2003—2015年适应能力准则层指数变化趋势

(2) “中阶”型适应能力。中阶型城市包括二线城市乌鲁木齐市、三线城市咸阳市和五线城市白银市，其适应能力水平的变化特征为 ACI 基数中等，发展速度缓慢。3 个城市均分布在西北地区，虽然属于不同的级别城市，但城市间的差异在逐渐缩小。图 4 可以反映出 ACI 与 S-ACI 发展趋势相一致，而 P-ACI 和 R-ACI 相对不稳定。P-ACI 较低的城市，在 S-ACI 和 R-ACI 共同作用下，ACI 分布范围基本在中等水平上下波动；P-ACI 较高的城市，亦能保持其稳定性，说明社会经济发展模式转型已得到自下而上的实际实施。

乌鲁木齐市 P-ACI 变化范围较大，说明城市人口流动性较大，人类系统对城市气候的干扰力较大，而城市化进程的速度与质量不成正相关；2008 年是咸阳市的一个分界点，R-ACI 跨等级下降，早于第二年 P-ACI 的变化，符合主动适应的举措，提前规划预期风险；白银市是 3 个城市中整体最为稳定的，各指数基本保持同步。

(3) “高阶”型适应能力。高阶型城市包括二线城市的昆明市和五线城市的六盘水市，其适应能力水平的变化特征为：ACI 基数中等，发展速度快，已具有主动适应意识，即人类社会系统中有意识的适应，还包括以时序性为基准的规划性适应，自上而下的政策实施与自下而上

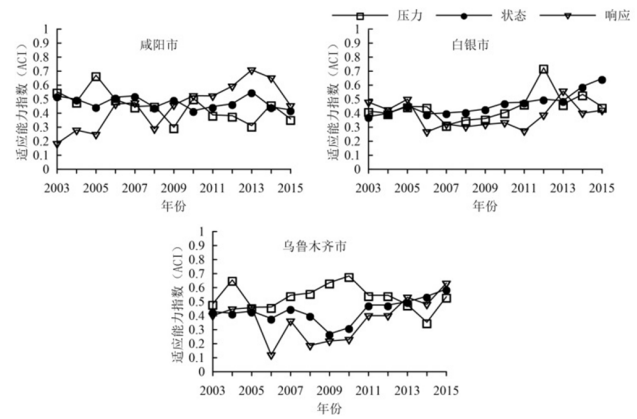


图4 中阶型城市2003—2015年适应能力准则层指数变化趋势

的执行相结合，缓解了城市人口和气候变化的不利影响，注重教育、科研和资源环境管理方面的投资，如响应技术所配套的适应意识与推广平台。高阶型的两个城市均属于西南地区，与西北地区的中阶型城市所面临的风险存在差异，但 P-ACI 基本属于同种范围。西南地区气候条件相对优于西北地区，从 P-ACI 和 S-ACI 的变化可以看出城市所面临的风险不稳定性较大，高强度的极端气候事件加大了城市基础设施的抗压级数和监测预警技术服务的挑战。图 5 反映出省会城市昆明市的 P-ACI 高于六盘水市，而 S-ACI 却与之相反，整体的综合指数变化较小，而 2013 年，昆明市受 P-ACI 和 R-ACI 的影响，ACI 的不稳定性变大；六盘水市则主要是受 P-ACI 和 S-ACI 的影响，大幅度提高了 ACI，并一直保持在Ⅲ级高水平范围。

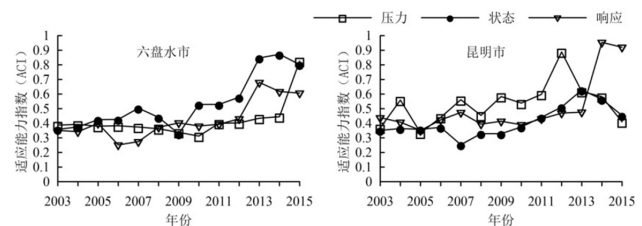


图5 高阶型城市2003—2015年适应能力准则层指数变化趋势

3 结论与建议

3.1 结果讨论

本文研究了西部地区 11 个案例城市，对其 2003—2015 年的气候变化适应能力进行综合评价。基于城市生态环境所面临的压力、目前发展状态以及响应气候变化的能力，选取 16 个具有西部常态化特征的代表性指标，综合主观与客观方法进行定量评价，得出如下结论：

(1) 西部地区城市气候变化适应能力整体为Ⅱ级中等水平。在西部地区脆弱的生态环境条件下，城市之间的整体水平差异性较小，指标要素之间差异性明显，主要表现在指数大小和变化趋势。西部地区城市化进程相

对稳定，城市状态指数基本分布在中等水平，与适应能力综合指数的变化趋势整体保持一致。各城市的经济增长速度基本维持在上下 10 个百分点范围内，人均生活水平在不断提升，城市市政基础设施建设在短期内难以有较大突破。压力指数相对状态指数的变化具有时间上的差异，响应指数变化具有滞后性。人类系统对城市气候的反作用力颇为复杂，而在极端气候事件影响所造成的健康、经济损失时，受灾统计存在滞后性，通常会在次年的发展过程中得以体现。

(2) 西南地区城市相对于西北地区所面临的气候变化压力更具有不稳定性，而响应能力相对优于西北地区。西南地区的城市人口自然增长率相对不稳定，部分年份的指数变化幅度明显，如广元市和六盘水市，城市人口的流动性与压力指数变化呈正相关；城市资源禀赋条件影响着能耗效率与经济效益。

(3) 西部地区城市适应能力水平主要分为三种类型，分别为：①初阶型：包括五线城市的广元市、商洛市、庆阳市和克拉玛依市，三线城市的西宁市和银川市，其适应能力水平的变化特征为：综合指数基数低，发展速度快，已具备适应意识，而人力、物力和财力的投入相对落后；②中阶型：包括二线城市乌鲁木齐市、三线城市咸阳市和五线城市白银市，其适应能力水平的变化特征为：综合指数基数中等，发展速度缓慢；③高阶型：包括二线城市的昆明市和五线城市的六盘水市，其适应能力水平的变化特征为：综合指数基数中等，发展速度快，已具有主动适应意识。

3.2 政策建议

基于研究结果，对我国现行的适应气候变化相关政策现状提出如下建议。

(1) 基于城市压力层的适应能力指数，将城市化发展战略与气候变化适应政策进一步结合。城市化发展加大了生态环境压力和人口压力，城市人口政策不仅要考虑城市人口容量，还应考虑生态环境承载力，相关部门可以通过建立合作研究小组，将所对应的衡量指标进行各层次交叉对比。

(2) 基于城市发展状态层的适应能力指数，重点解决落后省份的短板问题。对于还未形成体系化的适应规划与落实方案的省份，应加大科研与技术方面的投入，借鉴成功省份的经验，进行跨区域合作；对于欠发达地区，将短板部分划分多个模块，分别给予针对性的帮扶，实现一对一目标。

(3) 基于城市响应层的适应能力指数，加强与气候变化相关的社会经济系统的研究，以补充科学理论基础，

明确风险与适应之间的因果关系。完善专业化的适应政策及监管部门，在执行部门中扩充专业研究人员的数量，在政策制定中量化决策者管理能力。

(4) 基于区域差异现状，增加风险预测的投入，并充分考虑极端气候事件的强度与常态化的自然灾害，避免科技和基础设施资源分配不均匀。如西部地区旱涝灾害加重，生态功能下降，中部地区农业和水资源灾害严重，东部地区生物物种种类减少，沿海地区生态质量变差，对于不同区域不同脆弱性表现，重点制定针对性适应方案。[2]

参考文献：

- [1]张波，曲建升. 城市对气候变化的影响、脆弱性与应对措施研究[J]. 开发研究, 2011(5): 93-97.
- [2]IPCC. Climate change 2007: The physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3]Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability [J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 282-292.
- [4]Yohe G, Tol R S J. Indicators for social and economic coping capacity—Moving toward a working definition of adaptive capacity [J]. Global Environmental Change, 2002, 12(1): 25-40.
- [5]Smit B, Burton I, Klein R J T, et al. The science of adaptation: A framework for assessment [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1999(4): 199-213.
- [6]Parry M L. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability: Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [7]UNDP. Monitoring and evaluation framework for adaptation to climate change [M]. New York City: United Nations Development Programme, 2007.
- [8]Pelling M, Abeling T, Garschagen M. Emergence and transition in London's climate change adaptation pathways [J]. Journal of Extreme Events, 2016(3): 1-25.
- [9]Brink E, Aalders T, Adam D, et al. Cascades of green: A review of ecosystem-based adaptation in urban areas [J]. Global Environmental Change, 2016, 36(1): 111-123.
- [10]殷永元. 气候变化对中国西部地区影响的脆弱性和适应性综合评价[J]. 世界环境, 2004(3): 25-27.
- [11]谢欣露, 郑艳, 潘家华, 等. 气候变化下的城市脆弱性及适应——以长三角城市为例[J]. 城市与环境研究, 2013(1): 43-62.
- [12]潘家华, 郑艳. 适应气候变化的分析框架及政策涵义[J]. 中国人口·资源与环境, 2010(10): 1-5.
- [13]刘燕华, 钱凤魁, 王文涛, 等. 应对气候变化的适应技术框架研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013(5): 1-6.
- [14]陈太根, 董婕, 延军平, 等. 区域气候变化适应度评价——以咸阳市为例[J]. 地理科学进展, 2011(3): 319-324.
- [15]金桃. 中国城市应对气候变化能力评估[D]. 上海: 上海师范大学, 2012.

- [16]Chen M P, Sun F, Berry P, et al. Integrated assessment of China's adaptive capacity to climate change with a capital approach [J]. *Climate Change*, 2014, 128(3-4): 367-380.
- [17]Li M P, Huo X X, Peng C H, et al. Complementary livelihood capital as a means to enhance adaptive capacity: A case of the Loess Plateau, China [J]. *Global Environmental Change*, 2017, 47: 143-152.
- [18]张君枝, 刘云帆, 马文林, 等. 城市水资源适应气候变化能力评估方法研究——以北京市为例[J]. *北京建筑大学学报*, 2015 (2): 43-48.
- [19]Carter J G, Cavan G, Connelly A, et al. Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation [J]. *Progress in Planning*, 2015, 95: 1-66.
- [20]国家发展改革委, 住房城乡建设部. 城市适应气候变化行动方案[EB/OL]. (2016-02-04). http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201602/t20160216_774721.html.
- [21]宗边. 城市适应气候变化方案发布: 30个城市将试点气候适应型城市建设[EB/OL]. (2016-02-29). http://www.mohurd.gov.cn/zxydt/201602/t20160229_226770.html.
- [22]李莉, 吴洁, 岳超源. 城市可持续发展指标体系及综合评价研究(一)[J]. *土木工程与管理学报*, 2000 (2): 30-35.
- [23]田瑾. 多指标综合评价分析方法综述[J]. *时代金融*, 2008 (2): 25-27.
- [24]虞晓芬, 傅玳. 多指标综合评价方法综述[J]. *知识丛林*, 2004 (11): 119-121.
- [25]吴春林. 采用专家打分法对债权价值进行分析的探讨[J]. *中国资产评估*, 2007 (5): 18-20.
- [26]Wang Y M, Elhag T M S. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment [J]. *Expert Systems with Applications*, 2006, 31(2): 309-319.
- [27]张洪青, 赵艳丽. 多指标常用综合评价方法比较研究[J]. *现代商贸工业*, 2014 (7): 20.
- [28]龚剑, 胡乃联, 崔翔, 等. 基于AHP-TOPSIS评价模型的岩爆倾向性预测[J]. *岩石力学与工程学报*, 2014 (7): 1442-1448.

(责任编辑: 国怀亮)

(上接85页)

的新型城镇化水平较低并呈现集聚现象。最后, 整体而言, 我国新型城镇化水平的时空变化呈现出稳定的态势, 但是局部地区发生了明显的变化, 如东北地区新型城镇化水平在全国排名中逐步靠后, 并逐步形成冷点、次冷区域, 西北地区在全国排名中逐步上升, 并迈向更上一层水平。■

参考文献:

- [1]杨利富, 胡守庚, 叶菁, 等. 中部地区新型城镇化发展协调度时空变化及形成机制[J]. *经济地理*, 2014 (11): 23-29.
- [2]国家统计局. 中华人民共和国2017年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2018-02-28). http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201802/t20180228_1585631.html.
- [3]崔功豪, 魏清泉, 陈宗兴. 区域分析与规划[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [4]Ochoa J J, Tan Y T, Qian Q K, et al. Learning from best practices in sustainable urbanization [J]. *Habitat International*, 2018, 78: 83-95.
- [5]Adams S, Klobodu E K M. Urbanization, democracy, bureaucratic quality, and environmental degradation [J]. *Journal of Policy Modeling*, 2017, 39(6): 1035-1051.
- [6]鲍超, 陈小杰. 中国城市体系的空间格局研究评述与展望[J]. *地理科学进展*, 2014 (10): 1300-1311.
- [7]王怡睿, 黄煌, 石培基. 中国城镇化质量时空演变研究[J]. *经济地理*, 2017 (1): 90-97.
- [8]张飞, 孔伟. 我国土地城镇化的时空特征及机理研究[J]. *地域研究与开发*, 2014 (5): 144-148.
- [9]李文, 庄亚明. 中国西部新型城镇化建设综合测度及金融支持研究[J]. *经济问题探索*, 2017 (1): 72-81.
- [10]甘静, 郭付友, 陈才, 等. 2000年以来东北地区城市化空间分异的时空演变分析[J]. *地理科学*, 2015 (5): 565-574.
- [11]杨璐璐. 中部六省城镇化质量空间格局演变及驱动因素——基于地级及以上城市的分析[J]. *经济地理*, 2015 (1): 68-75.
- [12]张荣天, 焦华富. 长江三角洲地区城镇化效率测度及空间关联格局分析[J]. *地理科学*, 2015 (4): 433-439.
- [13]王新越, 宋颺, 宋斐红, 等. 山东省新型城镇化的测度与空间分异研究[J]. *地理科学*, 2014 (9): 1069-1076.
- [14]卓德雄, 曾献君. 福建省新型城镇化质量评价及测度——基于Topsis改进的因子分析模型[J]. *中国农业资源与区划*, 2018 (2): 221-229.
- [15]王海英. 河南省城镇化时空格局及驱动力分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2018 (3): 104-109.
- [16]赵志威, 王冬艳, 李红, 等. 吉林省城镇化时空差异及协调发展研究[J]. *地域研究与开发*, 2017 (1): 60-65.
- [17]吴红霞, 张雪茹, 洪永胜, 等. 安徽省城镇化质量测度与时空分异研究[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2017 (3): 389-396.
- [18]涂建军, 何海林. 重庆市新型城镇化测度及其时空格局演变特征[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014 (6): 128-134.
- [19]陈忠暖, 高权, 王帅. 中国省际城镇化综合水平及其空间分异[J]. *经济地理*, 2014 (6): 54-59.
- [20]熊湘辉, 徐璋勇. 中国新型城镇化水平及动力因素测度研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018 (2): 44-63.

(责任编辑: 保文秀)