

李妍君,何洁琳,秦川,等. 变暖背景下南宁市气候承载力定量评价[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):52–57.

Li Yanjun, He Jielin, Qin Chuan, et al. Quantitative evaluation of Nanning climate carrying capacity under the background of global warming[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(2): 52–57.

变暖背景下南宁市气候承载力定量评价

李妍君, 何洁琳, 秦 川, 周秀华

(广西壮族自治区气候中心, 广西 南宁 530022)

摘要: 利用 2000—2019 年南宁市气象数据及社会统计资料, 构建包含 4 个准则层和 27 个指标的南宁市气候承载力定量评价体系, 开展南宁市气候承载力评价研究。结果表明, 近 20a 南宁市气候承载力呈波动下降的趋势, 气候承载空间不容乐观; 天然气候容量和极端气候事件压力指数年际波动明显, 城市气候压力和城市协调发展能力指数均呈显著上升趋势, 但前者上升幅度显著大于后者。南宁市气候系统脆弱性较大, 极易受到大风和极端暴雨的影响, 城市气候协调发展能力的增长无法抵消城市经济发展及气候不稳定性对气候系统造成的负面压力。南宁市的气候承载力提升需要降低城市气候系统压力, 提升防御自然灾害能力, 大力发展绿色经济, 减少气候变暖背景下气候异常波动的负面影响。

关键词: 气候承载力; 气候天然容量; 极端气候事件压力; 城市气候压力; 南宁

中图分类号: P463

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.2.09

引言

近年来, 由于全球变暖对气候系统和人类生活都产生不可忽视的影响^[1-3], 如何在经济发展的前提下进一步应对气候变化, 成为一个必要的议题。为实现我国“双碳”目标, 把碳达峰和碳中和纳入经济社会发展和生态文明建设整体布局势在必行^[4-7]。要建立健全绿色低碳循环发展的经济体系, 推动经济社会发展全面绿色转型, 这对城市的经济建设发展方式和城市气候生态系统提出了更高的要求^[8]。而气候承载力作为评价城市社会经济发展和气候系统互馈关系的指标, 能够定量评估目前气候资源对社会发展的负荷能力^[9-12], 对其开展深入研究有利于为实现“双碳”目标打下坚实的基础。南宁作为广西政治、经济、文化、交通中心, 北部湾经济区核心城市, 中国东盟博览会永久举办地, 面对发生愈加频繁的极端天气气候事件^[13-15], 对南宁市进行气候承载力研究有其必要性和紧迫性。本文基于闫胜军等^[10]的气候承载力定量评价体系, 结合之前对广西山地城市百

色的研究基础上改进评价指标^[16-17], 对南宁市开展了变暖背景下城市气候压力的定量评价, 希望可以为南宁市经济社会发展绿色转型提供应对气候变化方面的科学决策依据。

1 资料和方法

1.1 资料来源及处理

所用资料有: (1)《广西统计年鉴》2000—2019 年南宁市的社会经济、人口、资源利用等统计资料。(2)南宁国家气象观测站 2000—2019 年逐日气象观测资料以及 1981—2010 年气候整编资料。其中, 高温日数指日最高气温大于或等于 35℃ 的日数, 低温日数指日最低气温小于或等于 5℃ 的日数, 日降水量达到或超过 50mm 和 100mm 的日数分别为暴雨日数和大暴雨日数; 取 1981—2010 年的平均值为气候平均值。

1.2 指标体系构建和计算

构建的南宁城市气候承载力的定量评价体系主要参考沿用了闫胜军等^[10]和李妍君等^[16]的构建方

收稿日期: 2022-04-10

基金项目: 广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA297121)

作者简介: 李妍君(1994—), 女, 广西南宁人, 硕士, 工程师, 主要研究气候及气候变化影响评估。E-mail: cnliyj@163.com

法,有 4 个评价指数,共包含 27 个指标(表 1)。

构建的气候承载力(CCI)函数如下:

$$CCI=\frac{CDA}{CNC\cdot ECI\cdot CCP}$$

(1)

负向指数包括气候天然容量(CNC)、极端气候事件压力(ECI)和城市气候压力(CCP)三项,均与气候承载力成反比。气候天然容量和极端气候事件压力分别表示气候状态波动造成的负面影响和极端气候事件发生对气候系统造成的压力,城市气候压力则评价人为活动对气候变化的消极作用,降低这些负向指标值有利于气候承载力的增长。正向指数为城市协调发展能力(CDA),与气候承载力成正比,综合评价城市适应气候变化的能力。各指数的计算采

用不同方法。

气候天然容量指数将各指标与 30a(1981—2010 年)平均气候基准值相减后与标准差相比,根据各指标偏离基准值的综合程度客观评估该地区的气候本底资源逐年变化。气候天然容量指数(CNC)计算公式如下:

$$CNC=\frac{\sum_{i=1}^n|f_{ij}|}{n}$$

(2)

其中 f_{ij} 为第 j 年第 i 项指标的标准化值 ($i=1,2,3,\cdots,n,n$ 为评价指标总数; $j=1,2,3,\cdots,m,m$ 为年份数)。

极端气候事件压力指数的指标标准化方法选用最大最小值法,各指标权重的计算使用基于熵权的

表 1 南宁市气候承载力定量评价指标

指数层	指标层	单位
气候天然容量 (CNC)	年平均降雨量	mm
	年平均风速	m·s ⁻¹
	年日照时数	h
	年平均气温	℃
极端气候事件压力 (ECI)	年高温日数	d
	年低温日数	d
	年暴雨日数	d
	年大暴雨日数	d
	年最长连续无雨日数	d
	年无雨日数	d
	年大风日数	d
城市气候压力 (CCP)	城镇人均住房面积	m ² ·人 ⁻¹
	城市现状建设用地面积	km ²
	公路里程	km
	城市人口密度	万人·km ⁻²
	民用车辆拥有量	万辆
	人均日综合生活用水量	t·人 ⁻¹
	人均 GDP	元
	单位生产总能耗	Tce·万元 ⁻¹
	能源消费弹性系数	
	工业总产值	万元
	城市居民家庭恩格尔系数	%
	全社会用电量	亿千瓦时·万人 ⁻¹
城市协调发展能力 (CDA)	环境保护投资/地区生产总值	
	科技经费支出/地区生产总值	
	人均绿地面积	hm ² ·万人 ⁻¹
	第三产业比重	%

综合评判法^[18-19],该方法中,指标的离散程度与权重成正比。极端气候事件压力综合评价指数(ECI)计算公式如下:

$$ECI = \sum_{i=1}^n f_i W_i \quad (3)$$

其中 f_i 为第 j 年指标标准化值, W_i 为评价指标 i 的权重。

城市气候压力、城市协调发展能力综合评价指数均使用公式(3)计算,二者的标准化方法选用比值法,将各年份指标值与作为基准值的2000年值相比。

2 结果与分析

2.1 气候天然容量

2000—2019年,南宁的CNC值年际变化明显,波动幅度较大,表明南宁的整体气候状态不平稳(图1)。CNC值越大,表明各要素偏离正常值越多,气候系统稳定性越差。CNC最大值出现在2001年,最小值出现在2006年。2001、2017年的CNC值超过1.3,是由于降水量和平均风速分别出现明显异常。2006、2014年CNC值低于0.5,是由于各指标偏离常年值均较小,说明当年的气候状况良好。从各要素具体变化来看,年降雨量和年日照时数在2010年以后波动幅度显著减小,年平均气温在2008—2012年波动幅度较大,年平均风速在2016年以后增大明显,说明不同年份各指标对CNC的影响程度不同,也说明对于南宁市来说各类气候因素都存在着变化幅度增大的风险。

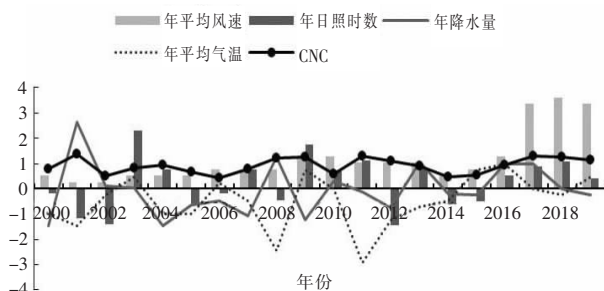


图1 南宁市2000—2019年气候天然容量指数(CNC)及各项指标标准值变化

2.2 极端气候事件压力

2000—2019年,南宁的ECI值年际变化明显,长期变化趋势不显著(图2)。ECI越大,表明当年极端气候事件发生越多,气候状况越差。ECI最高值出现在2016年,2016年的大风日数、高温日数、大暴

雨日数都为20a来的最高值,暴雨日数为第2高值。ECI最低出现在2002年,当年的大暴雨日数、连续最长无雨日数为20a间最小值,其余各项指标也均处于低位。分析各指标的相关性发现,年大风日数(相关系数0.68)、年大暴雨日数(相关系数0.67)、年暴雨日数(相关系数0.56)三个指标的相关系数最大,对ECI的影响也最大;而年最长连续无雨日数的相关系数仅为0.12,对ECI的影响最小。通过以上分析可以发现,南宁市的ECI值受大风和极端暴雨事件影响最大。

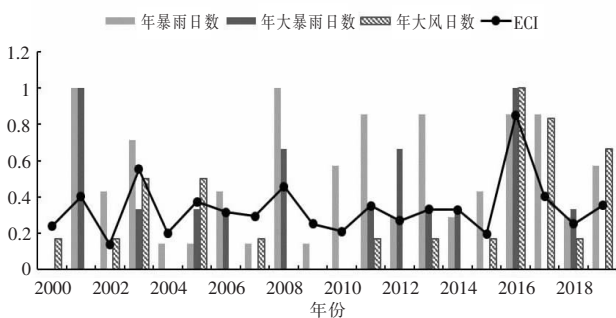


图2 南宁市2000—2019年极端气候事件压力指数(ECI)及大风日数、暴雨日数、大暴雨日数标准值变化

2.3 城市气候压力

2000—2019年,南宁市的CCP连年上升,2019年CCP值是2000年的28.4倍,指数增长的长期变化趋势显著(图3)。CCP越大,表明城市发展和人类活动对气候造成的负面影响越大。工业总产值和民用车辆拥有量是20a增长最快的两项指标,2019年相比于2000年分别增长了45倍和37倍,对CCP的增长起到了主要贡献作用。人均GDP、城市现状建设用地面积、人均用电量、人均住房面积20a增长了2~3倍,直观反映出城市经济建设发展和人民生活水平提高对气候造成的压力。而南宁市的单位生产总能耗逐年下降,2019年较2000年减少了66%,对降低CCP起到了积极作用,说明南宁的城市建设

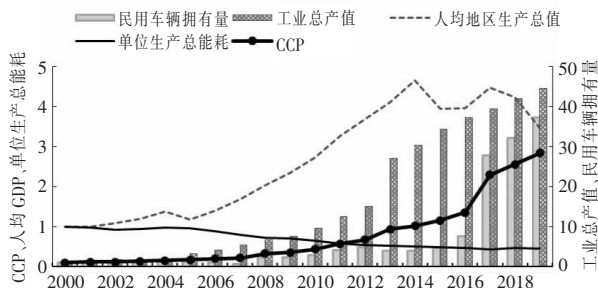


图3 南宁市2000—2019年城市气候压力指数(CCP)及主要指标标准值变化图

正逐渐向低碳高效模式发展。大部分指标与 CCP 的相关系数在 0.75~1 之间,说明这些指标对 CCP 值都有相当重要的影响。由于城市的发展,这些指标成倍增长导致了南宁市的城市气候压力显著提升,强有力的节能减排和合理的产业布局及城市建设规划,是减轻城市气候压力的积极举措。

2.4 城市协调发展能力

2000—2019 年,南宁市 CDA 整体波动上升,2019 年 CDA 值比 2000 年增长了 2.4 倍(图 4)。CDA 越大,表明该城市适应气候变化的能力越强。2008 年南宁市环保投资和人均绿地面积均处于高位,因此 CDA 达到最高值。20a 来,科技支出有了显著的提升,2019 年比 2000 年增长了 8.4 倍,环保投资也增长了 1.9 倍,对 CDA 的增长起主要贡献作用,表明加大科技研发和施行强有力的环保政策对提升城市应对气候变化能力十分有效。南宁市的人均绿地面积在 2019 年显著下降,城市建筑急剧增加侵占了绿地面积,虽然目前来看并未对 CDA 值造成巨大的影响,但长此以往发展下去,必定会影响到城市生态系统的平衡,因此南宁市的城市建设规划需要更多地考虑建筑与自然环境的平衡。南宁市第三产业比重几乎没有变化,为了使气候在未来的很长一段时间有更多弹性的承载空间,南宁市需要持续优化产业布局,实现持续绿色低碳经济转型。

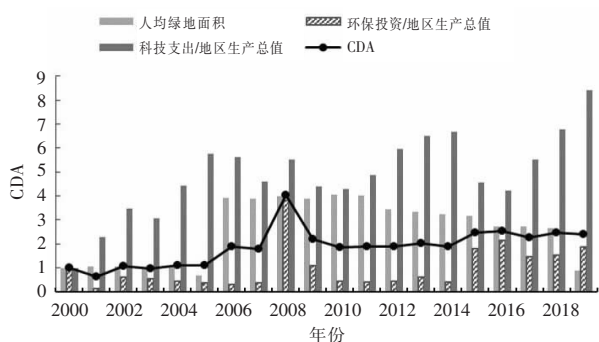


图4 南宁市2000—2019年城市协调发展能力指数(CDA)及主要指标标准化值变化

2.5 气候承载力

2000—2019 年,南宁市的气候承载力波动较大,并呈下降的趋势,说明南宁市城市建设和发展受到气候变化的一定挑战(图 5)。CCI 的值越高,表明南宁市的气候承载力越大,可容纳更多的城市发展压力。CCI 于 2002 年达到最高值,2017 年达最低值,两者相差 68 倍;仅有 2002 年和 2006 年的 CCI

值高于基准年(2000 年),2011—2019 年 CCI 值处于较低水平,总体来说,20a 来城市气候承载力朝着降低的方向发展。分析各项指标发现,2002 年 CCI 最大主要是由于 ECI 最低,且 CNC 和 CCP 均处于低位,即 2002 年极端气候事件发生少,气候状况稳定,且城市气候压力小,因此出现气候承载能力的最大值;2016 年以后 CCI 值不足 0.4,主要是因为 CCP 值迅猛增长,CNC 处于高位,而 CDA 并无明显增长,即城市气候压力过大、当年气候状况差,城市适应气候变化能力的增长速度仍无法超过气候压力增大的速度,导致气候承载力小。CCI 受 CNC 和 CCP 影响最大(相关系数分别为-0.59 和-0.51),表明南宁市 CCI 受气候平均状态影响很大,当年气候波动异常会导致 CCI 明显下降;连年迅速上升的 CCP 也对 CCI 造成了巨大的负面影响。因此改善南宁市的气候承载力要从降低城市气候系统的压力入手,调整发展政策,实现绿色经济转型,尽量减少人为因素对气候的负面影响,同时提升城市对极端天气灾害的防御能力。

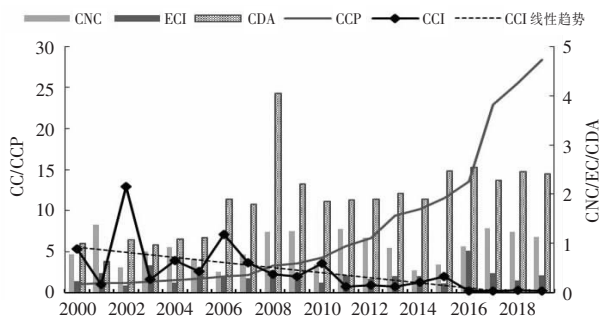


图5 南宁市2000—2019年CCI及CNC、ECI、CCP、CDA变化图

3 结论与讨论

利用城市气候承载力评价指标体系和南宁市气象和社会经济发展资料,对南宁市2000—2019年的气候承载力情况进行定量评价。结果表明,2000—2019年,南宁市的气候承载力呈现波动下降的趋势,气候承载空间不容乐观。气候天然容量和城市气候压力对南宁的气候承载力的影响最大,表明自然气候因子和人为影响因子都对南宁市的气候承载力有重要影响。南宁市的气候系统的脆弱性较大,气候状态不稳定,大风和极端暴雨是南宁市气候系统稳定的主要威胁因子;城市社会经济快速发展带来的城市气候压力进一步压缩了气候承载空间,对城市

气候系统造成了日益增长的压力,虽然城市协调发展能力有上升的趋势,但仍不足以平衡城市建设和经济社会发展带来的负面影响。

与使用相同评价体系对上海、百色的评价结果^[10,16]比较发现,南宁市的城市气候承载力与上海一样呈现下降趋势,而百色的气候承载力则呈现上升趋势,反映大城市在快速的社会经济发展中面临的气候压力影响加大,城市气候承载力在气候异常和极端气候事件的影响下更加脆弱。气候自然影响因子中,南宁对 CNC 和 ECI 都较为敏感,而由于气候状态较为稳定,百色仅对 ECI 敏感,表明南宁的气候脆弱性更明显。总体而言,气候自然影响因子对三地的影响都比较显著,证明当地气候状态的稳定和极端气候事件发生的频率对各地 CCI 有决定性作用。相对而言,CCP 对南宁、上海的影响较大,这说明在经济较为发达的城市,城市扩张和人类活动的负面影响累积较多,因此人为影响因子的作用逐渐增大。此外,城市协调能力 CDA 对上海、南宁的影响均不显著,说明在较为发达的城市,虽然可持续发展水平逐渐提高,但由于气候压力增大的速率很快,人类政策管理的影响十分有限。而对于百色这样欠发达的城市,在 CCP 值还处于较低水平的时候,CDA 的及时提升能对 CCI 的增加起到明显作用。相较于气候承载力处于增长趋势的百色市,南宁和上海的气候承载力提升需要在减小城市气候压力和提高城市协调力同时下功夫。

在全球变暖的背景下,城市气候系统的脆弱性加大已无法避免。要提升气候承载力,南宁市需要实现产业结构转型,大力发展绿色经济,实施强有力的节能减排措施,提升城市绿地面积,维持生态环境与城市建设之间的平衡;同时考虑规划防灾减灾的设施,尤其是解决如何应对极端暴雨等极端天气灾害的问题,提升防御气象灾害风险的能力。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [2] 何洁琳,李艳兰,蔡悦幸,等.广西区域气候变化的研究新进展[J].气象研究与应用,2020,41(4):56-61.
- [3] 罗红磊,何洁琳,李艳兰,等.气候变化背景下影响广西的主要气象灾害及变化特征[J].气象研究与应用,2016,37(1):10-14.
- [4] 习近平总书记关于“碳达峰、碳中和”系列倡议[J].国家电网,2021(3):8.
- [5] 潘小海,伍勇旭,李东.双碳发展对我国的影响及应对策略[J].技术经济,2021,40(9):172-180.
- [6] 戴铁军,周宏春.构建人类命运共同体、应对气候变化与生态文明建设[J].中国人口·资源与环境,2022,32(1):1-8.
- [7] 陈迎.全球应对气候变化的中国方案与中国贡献[J].当代世界,2021(5):4-9.
- [8] 劳燕玲.我国低碳经济发展的机遇、挑战及策略研究——基于国际气候合作的背景[J].湖北社会科学,2017(8):90-95.
- [9] 於琰,卢燕宇,黄玮,等.气候承载力评估的意义及基本方法[M].北京:中国社会科学文献出版社,2015:268-280.
- [10] 闫胜军,何霄嘉,王烜,等.城市气候承载力量化评价方法初探[J].气候变化研究进展,2016,12(6):476-483.
- [11] 岳溪柳,於琰,黄玫,等.人类活动影响下的北京地区气候承载力初步评估[J].气候变化研究进展,2017,13(6):517-525.
- [12] 赵茂崧,李卫朋,游泳,等.南充市城市气候承载力及障碍因子分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2021,46(4):105-113.
- [13] 李妍君,陆虹,覃卫坚,等.2019年广西异常暖冬的气候成因分析[J].气象研究与应用,2020,41(1):75-78.
- [14] 赖晟,陈思蓉,陆甲,等.2021年6-9月广西异常高温成因分析[J].气象研究与应用,2021,42(4):111-117.
- [15] 何洁琳,谢敏,黄卓,等.广西气候变化事实[J].气象研究与应用,2016,37(3):11-15.
- [16] 李妍君,何洁琳,秦川,等.2000-2017年山地城市百色气候承载力定量评价[J].气象与环境学报,2021,37(5):100-106.
- [17] 何洁琳,陆甲,李艳兰,等.百色气候变化特征及城市适应策略建议[J].气象研究与应用,2019,40(1):34-37.
- [18] 倪九派,李萍,魏朝富,等.基于 AHP 和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J].农业工程学报,2009,25(5):202-209.
- [19] 邹志红,孙靖南,任广平.模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J].环境科学学报,2005,25(4):552-556.

Quantitative evaluation of Nanning climate carrying capacity under the background of global warming

Li Yanjun, He Jieli, Qin Chuan, Zhou Xiuhua
(Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the meteorological data and social statistics of Nanning from 2000 to 2019, a quantitative evaluation system of Nanning climate carrying capacity including 4 criteria layers and 27 indicators was constructed to carry out the evaluation research. The results show that in the past 20 years, the climate carrying capacity of Nanning has shown a fluctuating and declining trend, and the situation of climate carrying space is not optimistic. The climate natural capacity (CNC) and extreme climate event (ECI) indexes fluctuate significantly between years. The city climate pressure (CCP) and city coordinated ability (CDA) indexes show a significant upward trend, but the increase range of the former is significantly greater than that of the latter. Nanning's climate system is highly vulnerable to gales and extreme rainstorms. The growth of city climate coordinated ability cannot offset the negative pressure on the climate system caused by city economic development and climate instability. To improve the climate carrying capacity of Nanning, it is necessary to reduce the city climate pressure, improve the ability to defend against natural disasters, and vigorously develop a green economy to reduce the negative impacts of abnormal climate fluctuations under the background of global warming.

Key words: climate carrying capacity; natural climate capacity; extreme climate event pressure; city climate pressure; Nanning