

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.

He Jielin, Li Yanlan, Cai Yuexing, et al. New progress in the study of regional climate change in Guangxi [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(4): 56–61.

广西区域气候变化的研究新进展

何洁琳, 李艳兰, 蔡悦幸, 陆芊芊

(广西壮族自治区气候中心, 广西 南宁 530022)

摘要: 近二十年来广西区域气候变化的研究取得了丰富的成果,文中从广西气候变化的科学事实研究,气候变化与大气环流、海温关系,气候变化对行业领域影响研究等三方面论述了广西气候变化研究的最新进展,总结了广西从明清时期到近代百年及近六十年气候变化的主要科学事实,气候变化对农业、水资源和能源、生态、城市化等方面的影响,并提出今后研究应加强多源资料处理应用、气候变化归因、影响评估机理、预估和适应技术等。

关键词: 广西;气候变化;进展;展望

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.4.09

OSID:



引言

气候变化是 20 世纪 80 年代开始发展起来的一门新兴学科,研究内容从基本规律认识发展到人类社会与气候系统相互影响的研究^[1]。自从 1992 年联合国大会通过《联合国气候变化框架公约》,气候变化成为全球热点关注问题,开展气候变化研究得到了科学家的持续关注。近二十年来,关于广西的气候变化也是科技工作者的关注点之一,开展了诸多的研究。本文主要从广西气候变化事实的研究、大气环流和海温归因研究及气候变化对行业影响研究三方面对近二十年的研究成果进行综述,并展望进一步研究的方向。

1 气候变化的科学事实研究

1.1 从明清时期至今的气候变化

由于在古代时期没有有效的长期科学观测资料,对于气候的记载仅能通过方志等历史文献记载的异常气候事件、物候分布进行推测回算。比较深入的研究是关于近 600a 的明清时代的气候,前人基于历史文献及近代的观测资料重建具有代表性的华南

地区的气温、降水(干/湿)等状况气候序列的,认为华南地区在 1400—1900 年的明清时期为小冰期的气候特征,位于岭南的广西在气候上也经历了一个渐趋转寒的过程^[2-3]。黄增明等^[4]的研究认为在 15 世纪后期到 20 世纪 80 年代后期的近五百年,华南冷暖、旱涝有 10~12a 到 120~140a 等多个主要周期;经历了 4 次冷暖期的交替,旱涝方面则有 3 次早期、4 次涝期,并且指出 1954 年冬以后属于第 4 次冷期,这次冷期可能要持续到本世纪末或下世纪初。从历史文献对广西龙眼种植物候分布的描述,目前广西的温暖程度仍未达到宋元时期,即仍处于明清小冰期的后期。

1.2 近代气候变化

近代有气象观测记录以来,广西气候变化事实研究的时空分辨率、准确性、研究内容丰富度等较古代气候变化研究有了飞跃的提高。基于广西少数站点的 19 世纪末到 21 世纪初的气温和降水气候序列研究,认为近百年广西平均气温以 $0.05^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的趋势上升,其中 1884—1946 年的上升速率为 $0.15^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$;百年降水的变化趋势不显著,主要为年代际周期变化^[5-6]。新中国成立后气象观测制度

收稿日期: 2020-11-26

基金项目: 广西自然科学基金“广西北部湾城市群气候承载力定量评价和预估研究”

作者简介: 何洁琳(1972—),正研级高工,博士,主要从事气候与气候变化影响评估研究。E-mail: hjlchinese@163.com

稳定,且随着全球气候变暖引起的社会关注,2000年后较多研究集中于1951年和1961年以来的气候变化^[7-10]。这些研究所使用的资料基本为广西有最长建站史的国家气象观测站,站点遍布全区,数量多,资料的均一性较好。研究一致表明,在全球变暖背景下,广西近50/60年来的气温呈上升趋势,大部地区高温日数增多,低温日数减少。广西平均降水的变化趋势不显著,主要呈年际和年代际变化;雨日减少,极端强降水频率和降雨强度增大,尤其是桂北和桂西南地区^[9,11-14]。近50多年广西近海及海岛的变化以气温升高和降水量增多为主要特征,海岛的气候变化真实地反映了气候要素对全球气候变暖的响应^[15-16]。影响广西的热带气旋年频数呈减少变化趋势^[10,17],但7—9月登陆华南的热带气旋频数有微弱的上升趋势^[18]。1961—2005年广西大部分地区总云量变化呈不显著的减少趋势,而低云量大部地区为显著增加趋势,可能与气温升高和降水增强有关^[19]。近50多年,广西生物多样性优先地区的气候变化特征总体朝暖干化发展^[20]。2017年,由广西壮族自治区气候中心编著的《广西气候变化监测报告(1961—2015年)》^[10],首次应用长序列历史资料全面客观分析了55a间广西气候变化状况,包括大气、海洋、陆面、生态等方面,其中大气方面包括了广西近地层的光、温、湿、风、降水及对流层低层温度等的变化特征分析,陆面主要为温度变化,生态方面为物候和石漠化地区植被变化,海洋方面有北部湾海表温度和广西沿海海平面高度变化的分析。报告指出近60a广西平均升温速率为 $0.15^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,低于中国平均同期升温率,北部湾海表温度平均每10a上升 0.9°C ,广西沿海海平面高度比常年偏高。研究结论与华南沿海近20a来海温升高、海平面高度持续偏高的结论一致^[21]。

气候变暖背景下,广西的旱涝、台风、低温寒害等各类气象灾害也呈现出不同的变化特征。对应汛期极端降水频次增加^[11-13,22],广西暴雨洪涝灾害造成的损失日趋严重,受灾面积、受灾人口等灾害损失呈上升趋势^[23-24]。而广西干旱在1961年来主要呈现年代际波动变化,进入本世纪后轻旱缓慢增多,重旱和特旱显著减少^[9-10,25]。这与华南地区气候变化与旱涝关系响应研究结论相符,即华南地区在1993年气温突变后雨涝增多,干旱减少^[26]。而随着气候变暖,广西冬季的冷冻害也呈现减少变化^[27-29]。影响广西的台风个数虽然呈减少趋势,但强度有所增强,近10a

来登陆华南的强台风有明显增加的趋势^[17-18]。

对未来气候变化的预估研究也有涉及。利用中等温室气体排放情景下的预估产品进行分析表明,广西未来到2100年的气温仍会上升,夏季降水量在 22°N 以北区域增加,在以南区域减少;冬季降水则表现为减少^[30]。

2 气候变化与大气环流、海温关系的研究

人类活动造成的持续温室气体排放是近百年气候变暖的主要人为原因,除了人类活动,海温和大气环流是影响气候变化的主要自然影响因素^[31-32]。一些研究表明,广西气候变化与大气环流存在直接关系。广西冬季降水量与大气平流层纬向风具有正相关关系,当平流层处于西风期时,广西冬季降水量偏多的可能性较大^[34]。近60a来,广西霜日数和冬寒日数减少的变化,与500hPa位势高度场存在一定的相关关系^[35-36]。7—9月登陆华南的热带气旋频数增多及近10a来登陆华南的强台风增加趋势,可能与 110°E 以东的低纬西太平洋东风异常偏多有关^[18]。

发生在热带海洋上的大尺度海温异常变化,通过海气耦合相互作用,使得大气环流产生异常,从而影响了气候的变化。广西各季气温气候变化与同期北太平洋海温场具有较好的相关性,厄尔尼诺次年6月广西东部气温偏低可能性较高^[37-38]。海温异常对广西降水量也有明显的影响。厄尔尼诺次年6月,广西北部地区降水量可能偏多,西江流域发生洪涝的频率较高^[37];厄尔尼诺次年华南前汛期极端降水偏强,拉尼娜次年则降水偏弱^[39]。

3 气候变化对行业领域影响研究

3.1 对农业的影响

农业是受气候变化影响的敏感领域。近60年来,气候变暖导致华南各地积温明显增加^[10,40-42],Dai Sheng Pei等^[40]的研究表明,从积温变化看,热带和亚热带边界向北移动了约 $0.2\sim 0.5$ 个纬度,这对农作物生长和农业种植活动造成了影响。广西大部分地区的早稻秧苗期和晚稻生育期都明显缩短^[43,44]。玉米、甘蔗、龙眼等广西主要经济作物的生长活动受到气温升高,日照减少、干旱频率和强度加强、强降雨加强等气候变化的影响,一方面要加强防涝抗旱,一方面,面临着种植适宜性变化的风险^[45-47]。匡昭敏等^[48]的研究认为,龙眼、荔枝、香蕉等广西经济林果

低温寒害在近 60a 呈减少趋势,但极端寒害事件在 21 世纪初增加,稳定商业种植区仍集中分布在蒙山、来宾、百色以南地区。傅东平和王鑫^[49]采用数学包络法分析了 2006—2014 年广西农业生产效率与气候变化关系,结果表明,气温和降水的剧烈变化对农业生产效率有负面影响。廖雪萍等^[50]利用区域气候模式、作物产量模型和气候生产力模型对 21 世纪广西的冬季作物气候生产潜力的变化特征进行估算,指出降水量是影响广西冬季农业气候生产潜力的关键因子。未来广西的冬季热量资源良好,但受降水减少的影响,广西冬季作物生产潜力下降,造成广西冬季农业气候生产潜力显著下降。总体而言,气候变化使近 60a 来广西农业气候资源的时空分布发生改变^[42,51],从而造成农业布局、种植制度的改变,极端气象灾害频发和病虫害加剧直接威胁农业生产,农业生产不稳定性增加,进而影响广西粮食安全^[44]。未来气候变化情景预估不利于农业生产的稳定性。

3.2 对水资源的影响

地方水资源与当地的降水关系密切,降水和气温变化影响水资源分布格局。气候变暖背景下,由于强降水频率增加,广西各主要江河 20 世纪 90 年代降雨量比 80 年代增加 10%~30%,其中桂江、柳江分别增加 25%和 34%^[52]。21 世纪以来,广西地表水资源总体呈现上升趋势^[53-54],但广西的水资源使用总量——水足迹总量也呈现上升的趋势,农业生产水足迹占比较大^[55]。1997—2014 年,广西人均水资源生态足迹和水资源生态承载力总体均呈下降态势,其原因除了降水的年际变化外,广西城镇化和工业化的快速发展明显增加了对水资源的耗用^[56]。杨明智等^[57]利用水文模式预估不同气候变化情景下南流江流域水资源变化,认为当降水不变时,气温每上升 1℃,年均蒸散发量增加 9.1mm,年均径流量减少 9.2mm;当气温不变时,降水量每增加 10%,年均蒸散发量增加 5.1mm,年均径流量增加 159.3mm。预计本世纪南流江流域年均径流变化幅度在不同情景下,可从减少 30%到增多 30%幅度变化,不确定性较大。气候变化给江河流域水资源利用和管理带来极大挑战。

3.3 对物候和生态的影响

广西物候对气候变暖也产生了显著响应,桂北的青蛙、家燕、蟋蟀等动物的始鸣(见)期提前,绝鸣(见)期推迟,繁殖活动期延长^[58-59]。李耀先等^[60]的研

究表明,广西木棉物候对气候变暖产生了响应,木棉的花叶生长活动期延长,影响最大的气象因子是气温,日照和降水量次之。Chen Yanli 等^[61]利用卫星遥感数据分析得到的最新研究结果表明,91.45%的广西典型石漠化地区植被覆盖率在 2000—2018 年间是增长的,温度、湿度、气压等气象条件对喀斯特生态脆弱区石漠化具有重要影响。何洁琳等^[20]利用定义指数和趋势分析方法定量评估了广西生物多样性优先保护区的气候变化风险,指出岩溶地区气候变化风险最高,沿海和海岛地区次之,原始森林山地风险最低。

3.4 其他影响的研究

气候变化对广西能源、人体健康、旅游以及社会活动对的区域气候反馈影响也有一些研究。李艳兰等^[62-63]就华南地区 1961—2008 年的气候变化对能源需求、太阳能资源分布变化等开展研究表明,气候变暖背景下,广西对能源的需求,尤其是降温能源的需求是增加的。广西大部地区年太阳总辐射呈现减少趋势,阶段性变化特征较明显。气候变暖对各地的人体健康、旅游气候舒适度影响不同,西江流域广西北部多数地区和南部山区的年舒适日数呈显著增加趋势,而南宁、桂林等城市的年舒适日数呈减少趋势^[64]。

关于华南地区城市化对区域气候的影响研究表明,城市化对当地的气候的反馈影响表现为高温热浪增加,降雨强度增强,而气温日较差减小,相对湿度、风速、日照时数均呈现减少趋势^[65]。根据卫星遥感监测数据的分析表明,进入 21 世纪以来的 10 多年间,广西防城港、钦州等沿海地区由于城市扩张、人工填海等造成热岛在增强,而城市绿地和水体对城市热岛效应具有明显的降温作用^[66-67]。

碳足迹分析法是定量核算人类活动引起碳排放的一种新方法,可以反映人类活动的程度,对气候变化减排的需求做出策略分析。赵晶等^[68]测算评估了 1996—2012 年广西能源活动和水泥生产过程中的碳足迹和植被固碳量,表明广西碳足迹在逐年增加,能源和水泥的碳足迹增幅远大于植被固碳量的增速,说明广西经济以耗能高的粗放形式发展,解决途径应在碳减排和植树造林固碳方面双管齐下。

4 结论和展望

4.1 结论

(1) 近二十年来的研究对广西近 60a 的气候变化特征有了明确的认识。广西气温明显升高,高温和

强降水事件增加,低温寒害事件减少,暴雨洪涝、台风、干旱等灾害影响有加强趋势;但从更长的时间尺度看,广西目前的气候仍处于明清小冰期的后期。研究内容不仅包括大气内部、还涉及到了海洋、陆面、植被等。研究使用资料逐渐由单一来源向多源转变,研究对象越来越广泛,研究方法趋向多元化和模型化。

(2) 气候变化对广西各行业领域影响研究涉及较广,取得一定的认识。气候变化对广西农业、水资源、物候、能源、城市环境等领域均造成了不同程度的影响,其中农业、物候的变暖响应显著,各行业领域均面临着极端天气气候事件加强带来的灾害频发影响,气候变化带来不确定性增加,行业管理风险加大。

(3) 关于广西气候变化归因研究有了初步的探讨。研究集中于广西气温、降水、台风的变化与大气环流型、ENSO 等海气相互作用的联系等。

以上的研究成果为广西气候变化研究向深入发展奠定了基础。

4.2 展望

广西区域气候变化研究已取得丰富的成果,但各方面的研究也存在一些不足及未来需要进一步加强,主要方向有:

(1) 进一步完善和丰富广西气候变化事实研究的资料、方法和内容。尽管对广西近代气候变化事实的研究较丰富,但研究资料和方法都较单一,主要应用气象观测站资料和线性趋势分析、周期分析等统计方法,对降水和气温气象要素进行研究,缺乏对多源融合资料的研究;其次,广西平均状况的研究已经较全面,但对广西各区域的气候变化研究还未有系统的研究。广西地形地貌复杂,存在着区域变化不同的事实,需要精细化的研究。最后,观测资料和数据再分析产品是研究气候变化的重要基础^[69],需要研究和获取均一化、规范化、多源化的资料,在此基础上深入研究分析大气、海洋、陆面、生态等方面的气候变化事实,尤其需加强在除大气外其他领域的气候变化事实研究。

(2) 加强开展广西气候变化归因机理研究。虽然研究已经表明人类活动影响是造成 20 世纪中叶以来气候变暖的主要原因^[33],影响广西的大气环流和海温等的气候变化特征如何? 广西气候变化特征是否与这些环流与海温的变化有关等问题值得探讨;其次,利用模式开展区域气候变化归因研究较少,关

于最新全球模式产品在广西的应用、温室气体影响的归因机理研究也有待探讨。

(3) 加强开展气候变化行业影响评估的定量客观研究和机理研究。气候变化对广西各行业影响的研究已经掀起了一个热潮,涉及面较广,气候变化对广西各行业的影响主要在农业、水资源方面开展了较专业和深入的研究;限于行业观测资料,获取和共享的客观情况,大部分的行业研究主要停留在大气常规观测资料使用和零散文献的查阅,缺乏行业直接影响的系统性资料,尤其是长期的历史资料的分析;气候变化对行业或领域影响的机理研究涉及更少,缺乏客观定量化评估模型等。

(4) 加强开展气候变化预估和适应技术研究。利用最新的高时空分辨率的多模式气候预估产品,结合行业影响机理分析,对广西未来气候变化特征及其影响预估和适应技术研究内容较少。

限于作者水平和文章查阅的数量和范围,本文不能概括完全关于广西气候变化研究的所有最新成果,如大气环境方面的研究未能在本文涉及,关于林业、人体健康、旅游、交通等其他行业的影响评估也尚未能介绍,文中涉及的方面也可能存在深入度不够或总结不到位问题,需要就某方面单独开展综述。

总之,气候变化在当前及未来仍是社会关注的热点,广西面临着应对气候变化的挑战,继续多角度深入开展气候变化事实、归因及行业影响研究,是提高科学认识,从而提出科学应对气候变化策略的必经途径。

参考文献:

- [1] 丁一汇,孙颖.国际气候变化研究新进展[J].气候变化研究进展,2006,2(4):161-167.
- [2] 丁玲玲,郑景云,傅辉.基于历史文献的华南地区气候变化研究进展[J].热带地理,2015,35(6):890-894.
- [3] 郑维宽.15-21 近六百年来广西气候变化研究[J].社会科学战线,2005(6):155-160.
- [4] 黄增明,梁建茵,刘宗锦.华南近五百年气候变化特征[J].热带地理,1990,6(4):332-339.
- [5] 黄雪松,况雪源,覃峥嵘,等.广西近百年气温和降水序列的多时间尺度分析[J].气候变化研究进展,2007,3(6):362-367.
- [6] 涂方旭,李耀先,覃峥嵘,等.广西降水量序列的气候变化模型[J].广西气象,2000,21(3):25-28.
- [7] 王莹,苏永秀,李政.1961—2010 年广西气温变化对全球变暖的响应[J].自然资源学报,2013(10):1707-1717.
- [8] 覃卫坚,李耀先,覃志年.广西气温气候变化特征研究

- [J].安徽农业科学,2010,38(32):18315-18318.
- [9] 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.
- [10] 广西壮族自治区气候中心.广西气候变化监测报告(1961—2015年)[M].南宁:广西科学技术出版社,2017:1-57.
- [11] 伍红雨,杜尧东,陈桢华,等.华南雨日、雨强的气候变化[J].热带气象学报,2011,27(6):877-888.
- [12] 陆虹,陈思蓉,郭媛,等.近50年华南地区极端强降水频次的时空变化特征[J].热带气象学报,2012,28(2):219-227.
- [13] 张维,林少冰,杜尧东,等.华南地区1961—2008年暴雨事件的气候变化特征[J].气象与环境科学,2011,34(2):20-24.
- [14] 李建鸿,蒙歆媛,翟禄新,等.1951—2006年广西极端连续降水的时空变化分析[J].广西师范大学学报(自然科学版),2016,34(1):187-196.
- [15] 何如,黄梅丽,李艳兰,等.近50年来广西近岸及海岛的气候特征与气候变化规律[J].气象研究与应用,2010,31(2):12-15.
- [16] 谭宗琨,欧钊荣,何鹏.原生态环境下广西涠洲岛近50年气候变率的分析[J].自然资源学报,2008,23(4):589-599.
- [17] 李艳兰,欧艺,唐炳莉,等.近50年影响广西的热带气旋变化特征[J].气象研究与应用,2009,30(2):1-3,45.
- [18] 姚才,罗小莉,张成扬,等.7-9月登陆华南台风气候变化特征及大尺度环流系统分析[J].气象研究与应用,2019,40(1):1-6,10.
- [19] 覃卫坚,容军,何慧.近45年广西云量气候变化特征分析[J].热带地理,2009,29(6):520-525.
- [20] 何洁琳,黄卓,谢敏,等.广西生物多样性优先保护区的气候变化风险评估[J].生态学杂志,2017,36(9):2581-2591.
- [21] 程泽梅,汤超莲,蔡兵,等.1960—2013年华南沿海海洋站SST变化其影响因子[J].热带地理,2016,36(6):906-914.
- [22] 陆虹,何慧,陈思蓉.华南地区1961—2008年夏季极端降水频次的时空变化[J].生态学杂志,2010,29(6):1213-1220.
- [23] 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.
- [24] 黎琮炜,覃卫坚,高安宁.1961—2013年广西洪涝灾害时空分布特征及成因[J].气象研究与应用,2015,36(1):80-85.
- [25] 陈少勇,贺红梅,吴芳蓉,等.中国西南和华南地区春旱的气候变化特征[J].干旱区资源与环境,2015,29(9):138-143.
- [26] 王文静,延军平,刘永林,等.华南地区气候变化与旱涝灾害响应关系[J].华东师范大学学报(自然科学版),2016(2):81-89.
- [27] 李秀存,易燕明,苏志.广西冬季冻害气候变化的多尺度特征[J].热带地理,2003,23(2):123-133.
- [28] 李英梅,丘平珠,王海英,等.广西雨淞气候变化分析及其减灾防御措施[J].气象研究与应用,2008,29(S):49-50.
- [29] 徐圣璇,余锦华,覃卫坚,等.广西霜日气候变化特征[J].气象研究与应用,2013,34(2):47-50.
- [30] 黄晓莹,温之平,杜尧东,等.华南地区未来地面温度和降水变化的情景分析[J].热带气象学报,2008,24(1):254-258.
- [31] IPCC. Climate change 2014: impact, adaptation, and vulnerability [M/OL]. Cambridge University Press, in press, 2014.
- [32] 白爱娟,翟盘茂.中国近百年气候变化的自然原因讨论[J].气象科学,2007(5):584-590.
- [33] 黄建平,陈文,温之平,等.新中国成立70年以来的中国大气科学研究:气候与气候变化篇[J].中国科学:地球科学,2019,49(10):1607-1640.
- [34] 李耀先,涂方旭,李秀存,等.QBO的变化特征及其与广西气候变化的关系[J].气象,2000(12):29-30,61.
- [35] 谢少凤,涂方旭,李雄.广西冬寒日数的气候变化特征及其与500hpa高度场的关系[J].广西气象,2000(S1):58-60.
- [36] 涂方旭,董蕙青,李雄.广西霜日的气候变化特征及其与500hPa位势高度的关系[J].广西气象,2000(1):15-17.
- [37] 涂方旭,董蕙青,李雄.厄尔尼诺对广西气候变化的影响[J].广西科学院学报,1999(3):3-5.
- [38] 蒋国兴.广西四季温度气候变化与同期海温场异常的关系及预测[J].海洋预报,2007(2):67-73.
- [39] 章开美,李丽平,项连东,等.华南前汛期极端降水气候变化特征及其与太平洋海温相关关系研究[J].气象与减灾研究,2015,38(1):1-7.
- [40] Dai Shengpei, Li Hailiang, Luo Hongxia, et al. Changes of annual accumulated temperature over Southern China during 1960—2011[J]. J.Geogr.Sci, 2015, 25(10):1155-1172.
- [41] 黄梅丽,林振敏,丘平珠,等.广西气候变暖及其对农业的影响[J].山地农业生物学报,2008,27(3):200-206.
- [42] 周绍毅,徐圣璇,黄飞,等.广西农业气候资源的长期变化特征[J].中国农学通报,2011(27):168-173.
- [43] 黄桂珍,李莉,匡昭敏.气候变化背景下广西水稻发育期变化特征分析[J].现代农业科技,2018(11):5-13.
- [44] 廖雪萍,黄梅丽,李耀先,等.基于气候变化视觉下广西粮食安全生产的思考[J].气象研究与应用,2017,38(1):87-91.

- [45] 许文龙, 莫权芳, 黄春华, 等. 气候因子变化对广西上思县甘蔗产量影响分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(12): 2146–2152.
- [46] 卢小凤, 匡昭敏, 李莉, 等. 气候变化背景下广西甘蔗秋旱演变特征分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(2): 217–222.
- [47] 段海来, 千怀遂, 俞芬, 等. 华南地区龙眼的温度适宜性及其变化趋势[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5303–5313.
- [48] 匡昭敏, 潘学标, 李莉, 等. 1961–2008 年广西经济林果寒害演变特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(S): 201–209.
- [49] 傅东平, 王鑫. 农业生产效率、收敛性与气候变化[J]. 生态经济, 2017, 33(5): 155–159.
- [50] 廖雪萍, 刘一江, 李耀先, 等. 未来气候情景下广西冬季农业气候生产潜力的变化特征[J]. 西南农业学报, 2017, 30(2): 438–443.
- [51] 李勇, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 I. 华南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2605–2614.
- [52] 徐国琼. 气候变化对广西水资源的影响及其保护对策研究[J]. 水文, 2009, 29(S1): 31–33, 127.
- [53] 王硕, 钱建平, 裴晓宇, 等. 广西水资源的时空分布及利用现状和保护建议[J]. 广西水利水电, 2019(1): 39–45.
- [54] 廖春贵, 胡宝清, 陈月连. 2009–2016 年广西水资源时空分布特征及影响因素 [J]. 农村经济与科技, 2018, 29(12): 4–5.
- [55] 杨洋, 丁镭, 曾克峰. 基于 LMDI 模型的广西水足迹驱动力分析[J]. 自然灾害学报, 2017, 34(2): 20–29.
- [56] 张义, 邹永福, 李丰生, 等. 基于灰色神经网络模型的水资源生态足迹预测——以广西为例[J]. 人民长江, 2017, 48(1): 37–42.
- [57] 杨明智, 肖伟华, 鲁帆, 等. 气候变化对我国华南沿海地区水资源的影响——以南流江流域为例[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 42(5): 1951–1959.
- [58] 黄梅丽, 李耀先, 廖雪萍, 等. 桂林动物物候对气候变化的响应分析[J]. 安徽农业科学. 2011, 39(17): 10436–10438.
- [59] 李世忠, 谭宗琨, 夏小曼, 等. 桂北动物物候气候变暖响应[J]. 气象科技, 2010, 38(3): 377–382.
- [60] 李耀先, 莫建飞, 黄梅丽, 等. 广西木棉物候与气候变化关系的分析研究[J]. 中国科技成果, 2016, 21(16): 15–19.
- [61] Chen Yanli, Mo Weihua, Huang Yonglin, et al. Changes of vegetation and assessment of meteorological condition in Karst ecologically fragile areas [J]. Meteor. Res. 2020, Updated online 2020–10–15.
- [62] 李艳兰, 何如, 杜尧东, 等. 华南区域降温度日和采暖度日的时空变化特征[J]. 热带地理, 2011, 31(1): 14–20.
- [63] 李艳兰, 何如, 杜尧东. 华南区域太阳总辐射的时空变化特征[J]. 可再生能源, 2012, 30(1): 13–16.
- [64] 李艳兰, 周美丽. 西江流域旅游气候舒适度的时空变化特征分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(3): 65–70.
- [65] 吴婕, 徐影, 师宇. 2015. 华南地区城市化对区域气候变化的影响 [J]. 气候与环境研究, 2015, 20(6): 654–662.
- [66] 孙明, 谢敏, 丁美花, 等. 2001–2015 年间广西壮族防城区防城港市热岛效应时空变化研究[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 135–143.
- [67] 胡毅佳, 廖永生, 陆菊月. 广西沿海区域填海及其城市热岛效应研究[J]. 地理空间信息, 2019, 17(6): 26–28.
- [68] 赵晶, 马彩虹, 程世娇. 广西壮族自治区碳足迹动态分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 98–103.
- [69] 吴国雄, 林海, 邹晓蕾, 等. 全球气候变化研究与科学数据[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 15–22.

New progress in the study of regional climate change in Guangxi

He Jieli, Li Yanlan, Cai Yuexing, Lu Qianqian
(Guangxi Climate Center, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: In the past 20 years, the research on regional climate change in Guangxi has made a lot of achievements. This paper discussed the latest progress of climate change research in Guangxi from three aspects: the scientific facts of climate change in Guangxi, the relationship between climate change and atmospheric circulation and sea surface temperature, as well as the impact of climate change on industry. The development trend of climate change in Guangxi from Ming and Qing Dynasties to modern century and nearly 60 years were summarized. The impacts of climate change on agriculture, water resources and energy, ecology, and urbanization were reviewed. In conclusion, the application of multi-source data processing, attribution of climate change, impact assessment mechanism, prediction and adaptation technology should be strengthened in the future.

Key words: Guangxi; climate change; progress; prospect