

文章编号:1673-8411 (2016) 02-0001-07

近 55 年海南岛气候要素时空分布与变化趋势

孙瑞, 吴志祥, 陈帮乾, 祁栋灵, 杨川

(中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南 儋州 571737)

摘要:采用海南岛 7 个气象站观测的气温、降水、平均风速、相对湿度、日照时数和蒸发量等气候要素资料,分析了 1959–2013 年海南岛各气候要素的时空分布特征和变化趋势。结果表明:(1)海南岛多年平均降水量和相对湿度在中部山区多、西部沿海少,气温、平均风速、日照时数和蒸发量的空间分布则正好相反。(2)近 55 年海南岛年均气温和降水量均呈增长趋势,平均风速、相对湿度、日照时数和蒸发量降低趋势显著。其中,气温、降水量、相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量分别在 1980、2007、1991、1983、1995 和 1992 年前后发生突变。(3)气温增温率在海南岛中部山区琼中附近最高,降水量增长率在南部三亚附近最高;相对湿度、平均风速、日照时数、蒸发量降低率则分别在海南岛东北部区域、东部琼海附近、北部海口附近、中部山区最大。(4)气温、降水量、日照时数和蒸发量年内分布不均,而相对湿度和平均风速年内变化相对较小;各月气温和蒸发量年际变率相对较小,相对湿度、平均风速、日照时数、以及 5–10 月降水量年际变率相对较大。

关键词:气候要素;时空分布;变化趋势;突变;海南岛

中图分类号:P467

文献标识码:A

Spatio-temporal patterns of climatic changes in Hainan Island in recent 55 years

SUN Rui, WU Zhixiang, CHEN Bangqian, QI Dongling, YANG Chuan

(Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Danzhou 573717, China)

Abstract: Based on the observation data of major climatic variables (i.e., daily mean temperature, precipitation, average wind speed, relative humidity, sunshine duration and pan evaporation) in seven meteorological stations from 1959 to 2013, the spatio-temporal patterns of climatic changes in Hainan Island were analyzed. The results revealed that (1) the spatial variation of major climatic variables was obvious in Hainan Island, e.g., the average annual precipitation and relative humidity were the most in the central mountainous area and the least in the west of the island, whereas the spatial distribution of the rest four climatic variables was the opposite. (2) The annual mean temperature and precipitation of the island displayed a significant increasing trend while the rest four climatic variables exhibited a significantly decreasing trend during the last 55 years. According to the Mann-Kendall method, the abrupt changes of the temperature and average wind speed mainly occurred in the early 1980s, the precipitation jump mostly occurred in 2007 around, and the abrupt changes of the relative humidity, sunshine duration and pan evaporation primarily took place in the early 1990s. (3) The warming rate was the fastest in the central mountainous area and the increase rate of precipitation was the highest in the south of the island. And the dropping rates of relative humidity, average wind speed, sunshine duration and pan evaporation were the largest in the northeast, east, north and central mountainous area

收稿日期:2015-12-08

基金项目:中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费专项(1630022015012);海南省自然科学基金项目(20164172)资助

作者简介:孙瑞(1985-),女,陕西榆林人,助理研究员,博士,主要从事气候变化及其影响研究

of the island respectively. (4) The intra-annual distribution were uneven for temperature, precipitation, sunshine duration and pan evaporation while the intra-annual variations of relative humidity and average wind speed were relative small. In addition, the inter-annual variability was relative small for monthly temperature and pan evaporation and relative large for monthly average wind speed, relative humidity, sunshine duration as well as precipitation from May to October.

Key words: climatic variables; spatio-temporal patterns; change trend; jump; Hainan Island

全球气候变化是当今各国政府和科学界广泛关注的热点问题,气候变化对人类的生存环境及农业生产等有直接和间接的影响^[1-2]。从2001年起,全球变化研究的第二个阶段强调的重点之一就是在关键地区进行关键问题的研究,以揭示全球气候环境变化的耦合过程与机制^[3]。地处热带北缘的海南岛,具有独特的热带山地雨林和热带季雨林生态系统,生物种类数量繁多,是中国热带森林生物多样性十分丰富的地区^[4]。然而,由于海陆相互作用,海南岛生态环境比较脆弱,对气候变化抵抗力以及受损生态恢复力均较弱^[5]。因此,揭示海南岛气候要素的时空变化特征,对指导当地农林业发展以及制定应对区域气候变化的战略和行动计划具有重要的理论和实践意义。

近年来,国内一些学者对海南岛气候变化开展了相关研究^[6-17]。结果表明,1961年以来海南岛季和年平均气温、平均最高气温、平均最低气温增温趋势显著^[6-9];各气候区平均气温总体呈上升趋势,且东北区及西南区气温上升最明显^[10]。就降水而言,冬季全岛平均降雨量增加趋势明显,其余各季和年的降雨量增加趋势微弱^[6];全岛早期雨量、汛期雨量、年大雨日数和暴雨日数均呈增加趋势^[11-13];各气候区年平均降水量在年际尺度上波动较大^[10]。根据区域气候模式 RegCM4.0 和全球气候模式 BCC_CSM1.1 输出结果,吴胜安和刘少军^[14]认为21世纪海南岛总体呈变暖、变湿趋势。通过对相关文献分析发现,现有研究多集中在气温和降水等2个气候要素时空变化特征方面,缺乏对多个气候要素时空分布与变化趋势的整体讨论,因此有必要进行这方面的研究。鉴于以上原因,本文采用1959–2013年海南岛7个气象台站的气温、降水、平均风速、相对湿度、日照时数和蒸发量等6个气候要素的观测资料,分析近55年来各气候要素的时空分布特征和变化趋势,并基于Mann-Kendall法检验各气候要素的突变性,以定量描述海南岛气候变化现象。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

海南岛(18°09′~20°11′N, 108°37′~111°03′E)位于北回归线以南,东亚大陆东南端,气候类型属典型的海洋性热带季风气候,全年温暖湿润。地势中间高、四周低,由山地、台地、平原和阶地顺次组成环绕中央山地的穹隆状层圈地貌。河流呈放射状,由中心流向周围,属于放射状水系(图1)。

1.2 数据来源与分析方法

依据资料的连续性及最长时段性等标准,共选取海南岛7个气象站点(图1,见彩页)1959–2013年逐日平均气温、降水量、平均风速、相对湿度、日照时数、蒸发量观测资料。地面气象站的气候要素资料由国家气象信息中心提供,并且经过了较为严格的质量控制,包括极值检验、时间一致性检验和均一化检验。其中,1959–2001年蒸发量资料为小型蒸发器(20cm口径蒸发皿)观测,2002–2013年蒸发量资料为大型蒸发器(20m²蒸发池)观测。鉴于各气象站先后于1991年起至2001年同时使用小型蒸发器和大型蒸发器观测蒸发量,本文对同时期的两种蒸发器观测数据构建线性回归方程,最终获得各气象站1959–2013年小型蒸发器观测的蒸发量序列。

变化趋势为以气候要素为因变量、时间为自变量的一元线性方程系数,方程中的系数用最小二乘法确定。气候要素的突变点基于Mann-Kendall检验法^[18-19]诊断。在进行气候要素空间分布计算时,采用目前应用较为广泛、精度较高的反距离权重插值法(IDW)进行插值并绘制空间分布图。此外,海南岛逐月平均气温、降水量、平均风速、相对湿度、日照时数、蒸发量序列通过平均计算7个气象站各气候要素观测值得到。

2 海南岛气候要素年内分布和年际变化

2.1 年内分布

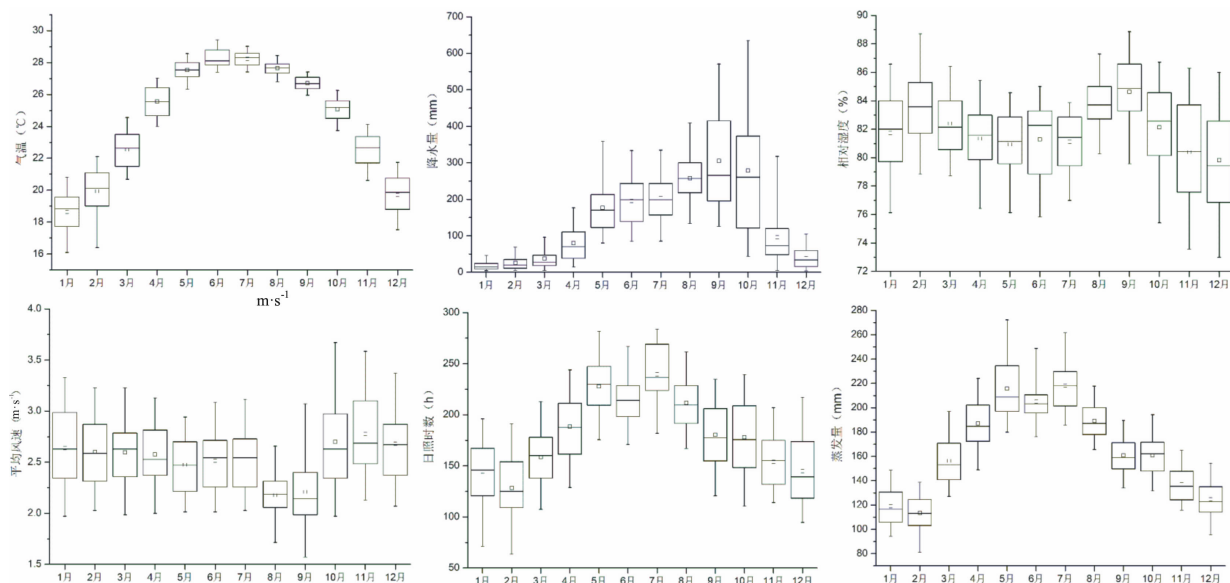


图2 海南岛各气候要素年内分布

由海南岛各气候要素年内分布图知(图2), 1959–2013年海南岛各月气温年际变率相对较小, 年内分布不均, 最高值出现在6月(28.3℃), 最低值出现在1月(18.7℃)。降水集中在5–10月, 占年总降水量的82.6%以上, 其中最高值出现在9月(306.0mm); 而且5–10月降水变率相对较大。过去55年海南岛各月相对湿度和平均风速年际变率较大, 年内变化相对较小。其中, 相对湿度于9月最高(85%), 12月最低(80%); 平均风速于8~9月相对较低($2.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), 11月最高($2.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。

海南岛日照时数与蒸发量年内变化相似, 均表现为7月是全年最高值而2月是全年最低值, 且最高值与最低值之比均为1.9。其中, 3–5月日照时数

和蒸发量增长迅速, 5月日照时数达227.8h、蒸发量达215.9mm; 6月日照时数和蒸发量均略微下降, 并于7月达到最高值(239.7h和218.3mm); 之后, 日照时数和蒸发量逐渐下降, 于次年2月达到谷底(128.4h和113.4mm)。然而, 过去55年海南岛各月日照时数与蒸发量年际变率不同: 日照时数年际变率相对较大, 而蒸发量年际变率相对较小(图2)。

2.2 年际变化

海南岛多年平均气温、降水量、相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量分别为24.4℃、1718.6mm、82%、 $2.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、2171.4h和1988.2mm(图3)。1959–2013年海南岛平均气温和降水量整体均呈增长趋势, 增长率分别为 $0.18^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和50.34

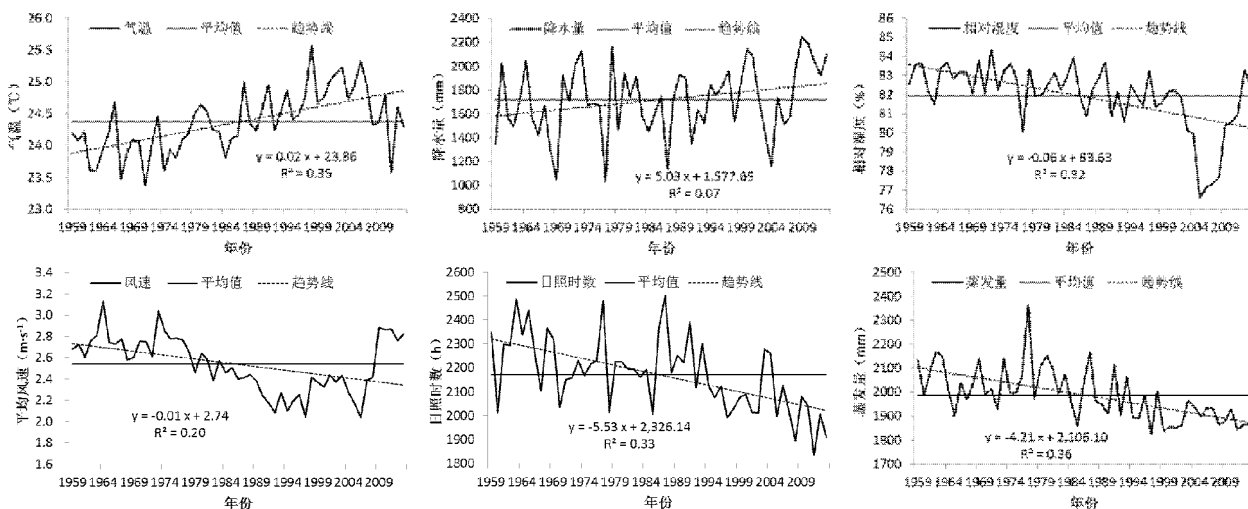


图3 海南岛各气候要素年际变化

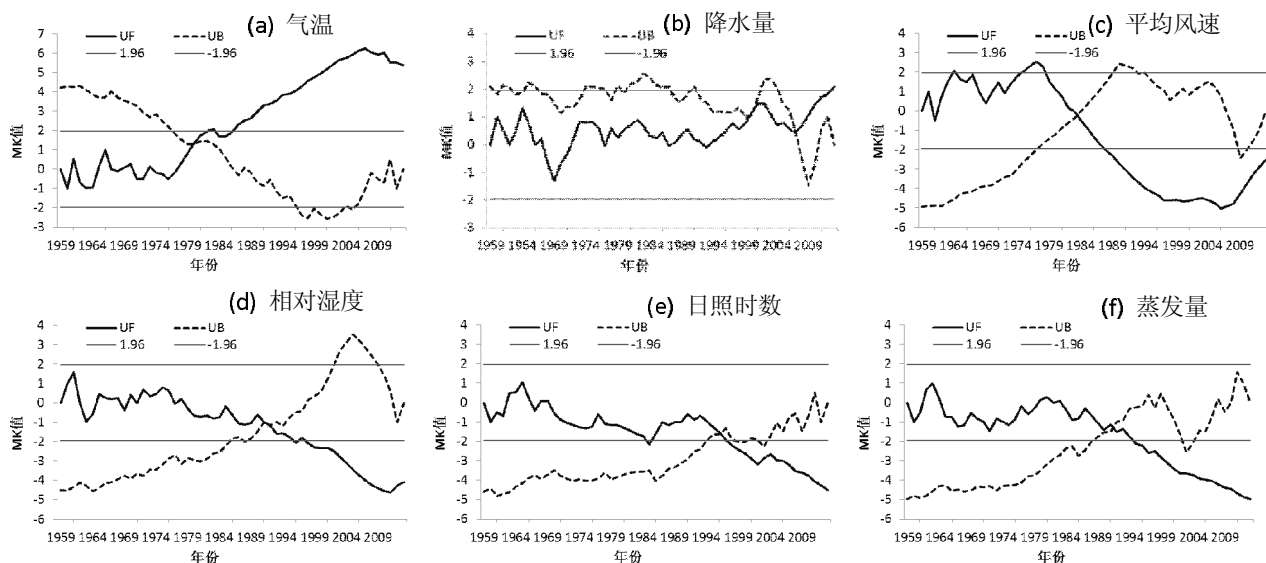


图4 海南岛各气候要素的 Mann-Kendall 突变检验结果

$\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$;相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量均呈降低趋势,降低率分别为 $-0.61\% \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-0.07\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-55.26\text{h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $-42.09\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。其中,气温增长趋势与相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量降低趋势均通过了0.01信度显著性检验。海南岛各气候要素近十年来变化趋势与过去55年变化趋势略有不同,具体表现为:平均气温、日照时数和蒸发量减少趋势明显,而降水量、相对湿度和平均风速呈增长趋势。

过去55年,海南岛各气候要素年际变化幅度均较大。其中,气温于1998年最高,达 25.6°C ,1971年最低,仅 23.4°C ;降水量于2009年最多(2249.8mm),1977年最少(1030.6mm),二者之比达2.2;相对湿度自20世纪60年代初至90年代末期下降幅度微弱,于21世纪初期开始下降迅速,并于2005年前后达到最低(77%),近几年又呈快速上升趋势;平均风速于1964年最大,为 $3.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,2006年最低,仅 $2.0\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;日照时数自20世纪60年代初至90年代中期在平均线附近波动,自90年代后期开始迅速下降;蒸发量呈稳定下降趋势,最高值出现在1977年(2367.4mm),最低值出现在1997年(1822.6mm)。

2.3 突变特征

1959–2013年海南岛平均气温和降水量整体均呈增长趋势,而相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量均呈降低趋势,这些变化趋势是否达到突变水平则需进一步分析。由海南岛各气候要素的 Mann-Kendall 突变检验结果(图4)可知:在0.05信度水平下,1959–2013年海南岛各研究要素均发生突变。其

中,平均气温和平均风速发生突变的时间最早,分别发生在1980年和1983年前后;平均气温由突变前的 24.0°C 上升到 24.6°C ,而平均风速由突变前的 $2.7\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 下降到 $2.4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。相对湿度、日照时数和蒸发量突变时间均发生在20世纪90年代前期,分别于1991年、1995年和1992年前后发生突变;相对湿度、日照时数和蒸发量在突变前分别为83%、2234.0h和2040.3mm,突变后分别为81%、2042.8h和1903.9mm,分别降低了2%、191.2h和136.4mm。降水量发生突变的时间最晚,发生在2007年前后,降水量从之前的1674.0mm增加到2082.5mm。

3 海南岛气候要素空间分布和变化

3.1 多年平均空间分布

海南岛各气候要素多年平均值均呈明显的带状分布(图5)。其中,多年平均气温、平均风速、日照时数、蒸发量的空间分布总体表现为中部山区少、西部沿海多;而降水量和相对湿度表现为中部山区多、西部沿海少的空间分布特征。

受纬度因素制约,海南岛多年平均气温整体表现为从南向北的递减趋势;同时,因气温随着海拔高度增加而降低,使得海南岛多年平均气温于中部山区最低。受海陆位置和地形的影响,海南岛降水量由中部山区向四周递减,且沿西南方向递减梯度陡于沿东北方向。这使得中部山区琼中附近降水量最多,超过 $2140.0\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$,而处于同纬度的东方附近降水量最少,少于 $1240.5\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。因相对湿度亦同时受海陆位置和地形的影响,其空间分布特征与降水量相

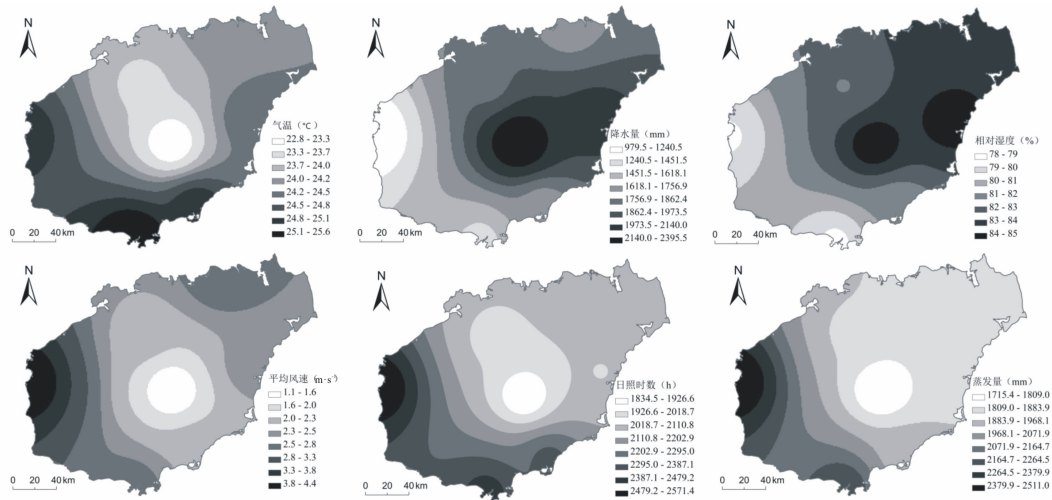


图 5 海南岛各气候要素空间分布

似:于海南岛中部山区和东部分布最高,西部和南部最少。海南岛日照时数的空间分布特征正好与相对湿度相反。究其原因,相对湿度较高区域,云雾较多,日照时数较低;相对湿度较低区域,云雾较少,日照时数较高。此外,平均风速亦表现为在海南岛中部山区最小、西部沿海最大。这是因为海南岛中部山脉对东南季风具有阻挡作用,致使西部沿海东方附近焚风效应比较明显,从而使得该区域干热现象更加突出。

蒸发量是一个敏感性很强的气候要素,其蒸发过程受下垫面供水条件、太阳净辐射等能量供给条件、以及气温、湿度和风速等水汽输送条件控制^[20]。对海南岛过去 55 年总蒸发量与其它各研究要素进行相关分析发现:海南岛年总蒸发量与日照时数、降水量和平均风速相关性显著,与平均气温和相对湿度相关性较小(表 1)。其中,蒸发量与日照时数和平均风速极显著正相关,且蒸发量与日照时数相关性最高,二者之间相关系数达 0.737;蒸发量与降水量极显著负相关,二者之间相关系数为-0.547;与相对

湿度的相关性最小,相关系数仅 0.015。与此同时,平均风速与气温显著负相关,与相对湿度显著正相关;其中平均风速与平均气温的相关性最大,相关系数达-0.604。这说明日照时数是海南岛过去 55 年蒸发量变化的最主要因素,降水量和平均风速对蒸发量变化的影响次之,而平均气温和相对湿度对蒸发量变化亦有所贡献。据此,因海南岛西部和南部区域日照时数多、降水量小、平均风速大、平均气温高、相对湿度低,而中部山区和东北部区域日照时数少、降水量大、平均风速小、平均气温低、相对湿度高,致使海南岛多年平均蒸发量表现为西部和南部较高、中部和东北部偏低的区域特征。

3.2 年际变化的空间分布

1959-2013 年,海南岛绝大部分区域平均气温呈显著升高趋势,仅南部三亚附近区域气温呈微弱降低趋势(-0.06℃·(10a)⁻¹);呈升温趋势区域的增温率空间差异不大,增温率范围为 0.21~0.24℃·(10a)⁻¹,且于中部山区琼中附近增温率最高(图 6)。过去 55 年海南岛年总降水量整体呈增长趋势,而蒸

表 1 各气候要素变化间的相关系数

	蒸发量	降水量	平均气温	平均风速	相对湿度	日照时数
蒸发量	1	-0.547**	-0.221	0.318*	0.015	0.737**
降水量	-0.547**	1	-0.027	0.185	0.185	-0.608**
平均气温	-0.221	-0.027	1	-0.604**	-0.455**	-0.159
平均风速	0.318*	0.185	-0.604**	1	0.335*	0.100
相对湿度	0.015	0.185	-0.455**	0.335*	1	0.126
日照时数	0.737**	-0.608**	-0.159	0.1	0.126	1

* 示相关性通过了 0.01 信度显著性检验,* 示相关性通过了 0.05 信度显著性检验。

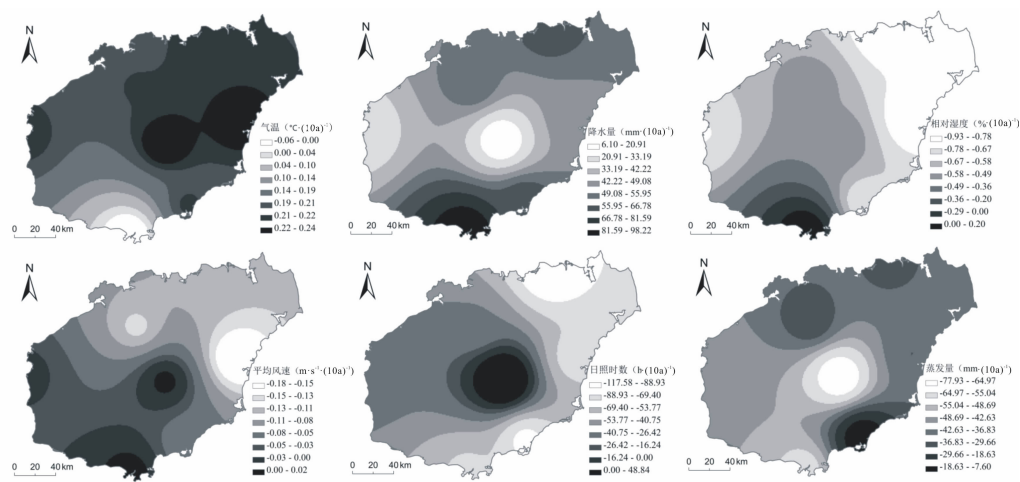


图6 海南岛各气候要素年际变化趋势的空间分布

发量呈降低趋势,且降水量和蒸发量变化率的空间分布差异均较明显。其中,降水量增长率于海南岛南部三亚附近区域最高,达 $98.22\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,中部山区琼中附近增长率最低,仅 $6.10\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$;蒸发量降低率于海南岛中部山区琼中附近最大,达 $-77.95\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,东南部陵水附近区域降低率最小,为 $-7.59\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

过去 55 年,海南岛相对湿度、平均风速和日照时数呈降低趋势的区域明显多于呈增长趋势的区域(图 3)。其中,相对湿度降低率于海南岛东北部区域最大,低于 $-0.78\%\cdot(10\text{a})^{-1}$;南部三亚附近区域呈微弱增长趋势,最大仅 $0.19\%\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。平均风速降低率于东部琼海附近区域最大,低于 $-0.15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{a})^{-1}$;中部山区和西南部区域呈微弱增长趋势,最大仅 $0.02\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{a})$ 。日照时数降低率于北部海口附近区域最大,达 $-117.59\text{h}\cdot(10\text{a})^{-1}$;中部山区日照时数呈增长趋势,最大为 $48.47\text{h}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)海南岛平均气温、降水量、日照时数和蒸发量年内分布不均,而相对湿度和平均风速年内变化相对较小。1959–2013 年海南岛各月平均气温和蒸发量年际变率相对较小,相对湿度、平均风速、日照时数、以及 5–10 月降水量年际变率相对较大。

(2)过去 55 海南岛平均气温和降水量均呈增长趋势,而相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量均呈显著降低趋势。其中,平均气温、降水量、相对湿度、平均风速、日照时数和蒸发量分别在 1980 年、

2007 年、1991 年、1983 年、1995 年和 1992 年前后发生突变。此外,相关分析表明日照时数是海南岛过去 55 年器测蒸发量变化的最主要因素,降水量和平均风速对蒸发量变化的影响次之,而平均气温和相对湿度对蒸发量变化亦有所贡献。

(3)过去 55 年海南岛不同区域气候要素空间分布和变化特征差异显著。其中,多年平均气温、平均风速、日照时数、蒸发量的空间分布表现为中部山区少、西部沿海多,而降水量和相对湿度整体表现为中部山区多、西部沿海少的空间分布特征;平均气温增温率在中部山区最高,降水量增长率在南部三亚附近最高,相对湿度、平均风速、日照时数、蒸发量降低率则分别在海南岛东北部区域、东部琼海附近、北部海口附近、中部山区最大。

4.2 讨论

(1)海南岛不同区域气候要素变化特征的综合比较,为海南岛不同区域适应气候变化对策的制定提供科学依据。本文 1959–2013 年海南岛各气候要素空间分布的分析结果与何大章和张声舜对海南岛气候的区划结果^[21]一致。即。中部山区(包括中部山地、丘陵和谷地)为凉爽湿润气候区,西部沿海(东方附近)为干热、大风气候区。根据各气候要素变化趋势分析结果,海南岛西部沿海气候呈干热化趋势:平均气温增温率高、降水量增长率低、相对湿度降低率大、平均风速变化率微弱。而且,该区域为大暴雨及特大暴雨多发地区^[10]。因而,针对该区域干热的气候与灾害性天气,必须提高该区域居民的减灾意识,努力做好防风、防洪和抗旱工作。

(2)近年来,随着人们对全球气候变化的认识逐

渐深入, 气候极端事件的性质与频率变化逐渐成为科学家们关注的焦点^[22-25]。由于四面环海, 海南岛受台风灾害影响频繁, 且危险性最大值分布在沿海市县^[26], 给海南农垦造成严重影响^[27]。受篇幅限制, 本文尚未分析海南岛气候极端事件、以及各气候要素季节时空变化特征。因此, 今后工作将集中在海南岛极端气温事件、极端降水事件、以及热带气旋(台风和飓风)等极端气候事件的年与季节时空变化及其对当地农林业发展的影响研究等诸多方面。

(3) 海南省是中国天然橡胶栽培的主产区, 至 2013 年年底栽培面积已达 54.02 万 hm^2 ^[28], 目前橡胶已成为海南省农业支柱产业。因橡胶树喜高温、高湿和静风^[29], 过去 55 年海南岛平均气温和降水量增长、平均风速降低均有助于橡胶树生长和橡胶产量, 而日照时数减少、相对湿度降低则可能对橡胶树生长和橡胶产量产生不利影响。考虑到过去 55 年气候变化对海南岛橡胶树生长和橡胶产量的影响仍需进一步定量分析, 结合海南岛橡胶树生长和橡胶产量数据定量评估各气候要素时空变化对橡胶林生态系统的影响亦是未来工作的重点。

参考文献:

- [1] Lobell D B, Tebaldi C. Getting caught with our plants down: the risks of a global crop yield slowdown from climate trends in the next two decades [J]. *Environmental Research Letters*, 2014, 9 (7): 074003. doi: 10.1088/1748-9326/9/7/074003.
- [2] Piao S, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China [J]. *Nature*, 2010, 467 (7311): 43-51.
- [3] 陈宜瑜, 陈拌勤, 葛全胜, 等. 全球变化研究进展与展望 [J]. *地学前缘*, 2002, 9 (1): 11-18.
- [4] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析 [J]. *生态学报*, 2001, 21 (1): 20-27.
- [5] 韩奇, 赵从举, 黄秋如. 1971-2011 年海南气候变化特点及其对农业的影响——以海南省儋州市为例 [J]. *天津农业科学*, 2013, 19 (2): 45-49.
- [6] 陈小丽, 吴慧. 海南岛近 42 年气候变化特征 [J]. *气象*, 2003, 30 (8): 27-31.
- [7] 黄勇, 王刚, 苏定凤. 海口市 55a 气温变化分析 [J]. *气象研究与应用*, 2008, 29 (S2): 56-58.
- [8] 吴胜安, 吴慧. 海南岛气温年际变化与海温的关系 [J]. *气象研究与应用*, 2009, 30(4): 38-41.
- [9] 许祖清. 海南高温分布特征 [J]. *气象研究与应用*, 2008, 29 (3): 12-13.
- [10] 许格希, 郭泉水, 牛树奎, 等. 近 50a 来海南岛不同气候区气候变化特征研究 [J]. *自然资源学报*, 2013, 28 (5): 799-810.
- [11] 王胜, 吴坤梯, 陈明. 1961 年以来海南岛降水变化趋势分析 [J]. *广西气象*, 2006, 27 (1): 24-27.
- [12] 翟志宏, 何健. 华南区域 1961~2008 年暴雨变化趋势统计特征 [J]. *广东气象*, 2011, 33 (1): 24-27.
- [13] 李春鸾, 陈丽英, 郑亚娜. 海南岛暴雨统计分析 [J]. *气象研究与应用*, 2008, 29 (S2): 57-58.
- [14] 吴胜安, 刘少军. 海南 21 世纪气候变化预估分析 [J]. *气象研究与应用*, 2013, 34 (S1): 55-57.
- [15] 吴慧. 海南省降水量的正态分布特征及正态化变换 [J]. *广东气象*, 2005, 02: 12-13.
- [16] 吴文娟, 王刚, 黄丕新, 等. 近 50a 海口市降水量与蒸发量变化 [J]. *气象研究与应用*, 2009, 30 (1): 19-22.
- [17] 陈秋壮. 海南乐东降水特征与干旱及人工增雨潜力分析 [J]. *气象研究与应用*, 2008, 29 (2): 52-54.
- [18] Mann H B. Non-Parametric Test Against Trend [J]. *Econometrika*, 1945, 13: 245-259.
- [19] Kendall M G. Rank Correlation Methods [M]. Oxford: Griffin, 1970.
- [20] 杜军, 边多, 鲍建华, 等. 藏北高原蒸发皿蒸发量及其影响因素的变化特征 [J]. *水科学进展*, 2008, 19 (6): 786-791.
- [21] 何大章, 张声彝. 海南岛气候区划 [J]. *地理学报*, 1985, 40 (2): 169-178.
- [22] Retchless D, Frey N, Wang C, et al. Climate extremes in the United States: recent research by physical geographers [J]. *Physical Geography*, 2014, 35 (1): 3-21.
- [23] 宋艳华, 杨伟民, 顾晓, 等. 1961-2008 年广东省极端气温的时空变化特征 [J]. *广东气象*, 2012, 34 (6): 20-25.
- [24] 罗律, 张陈嫻, 许艾米. 1962-2013 年清远市极端强降水的变化 [J]. *广东气象*, 2015, 37 (4): 6-9.
- [25] 闫俊, 江俊杰. 长江三角洲近 51 年极端气候事件变化及其原因分析 [J]. *广东气象*, 2012, 34 (5): 29-34.
- [26] 孙伟, 刘少军, 田光辉, 等. 海南岛台风灾害危险性评价研究 [J]. *气象研究与应用*, 2008, 29 (4): 7-9.
- [27] 符晓虹, 郑育群. 海南橡胶的气象灾害分析 [J]. *气象研究与应用*, 2014, 35 (3): 54-57.
- [28] 海南省统计局, 国家统计局海南调查总队. 海南统计年鉴 [M]. 中国统计出版社, 2014.
- [29] 贺庆棠. 中国森林气象学 [M]. 中国林业出版社, 2001.