

文章编号: 1674-7054(2022)04-0331-08



海南岛 30 年空中云水资源时空特征分析

李光伟^{1,2}, 邢峰华¹, 敖杰¹, 毛志远¹

(1. 海南省气象科学研究所, 海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203)

摘要: 为了解海南岛空中云水资源的时空分布特征和变化趋势, 利用 ERA-I 再分析资料分析了 1981—2010 年海南岛夏半季、冬半季、年平均大气可降水量(PW)、总云量(TCC)、低云量及高云量的时空分布特征。结果表明: 海南岛区域 PW 存在明显的时空差异, 具有南湿北干、海洋大于陆地、夏半季大于冬半季的特点, 海南岛年平均 PW 低值中心位于五指山地区, 南海海域为相对的高湿区; 海南岛西部及华南沿海是华南地区年平均总云量低值区, 华南地区高值中心位于四川盆地东部, 南海南部是次高值区域, 海南岛夏半季和冬半季总云量最大值分别为 63.20% 和 54.26%; 海南岛夏半季以高云为主, 高云量大于 44%, 冬半季以低云为主, 低云量最大值为 41.88%, 高云量则普遍小于 17%; 海南岛 PW 年变化为明显单峰结构, 8 月为峰值。30 年海南岛 PW 和总云量年平均距平存在较明显的年代际变化。

关键词: 大气可降水量; 云量; ERA-I; 水汽; 海南岛

中图分类号: P 426 **文献标志码:** A

引用格式: 李光伟, 邢峰华, 敖杰, 等. 海南岛 30 年空中云水资源时空特征分析 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(4): 331–338. DOI: [10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.04.003](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.04.003)

云作为调节辐射平衡、影响气候变化的重要因子, 常年覆盖地球表面约 66% 的面积, 在天气、气候及全球变化中起着十分重要的作用^[1-2]。水汽则是大气的重要成分和降水的主要物质来源。水分以各种不同形态参与气候系统中各个圈层的物理过程、生物过程, 是陆-气交换过程中的重要因素之一^[3-4]。大气可降水量(PW)又称水汽含量, 是研究大气辐射吸收以及全球热量输送的一个重要参量。云量和水汽含量是云水资源不可或缺的一部分, 其时空分布特征对于改善区域水资源有着重要的影响, 国内外许多学者对云水资源变化进行了诸多研究^[5-11]。梁宏等^[5]利用 MODIS 卫星资料和高分辨率地基 GPS 观测对青藏高原的水汽空间分布进行了分析。陈勇航等^[6]利用国际卫星云气候计划(ISCCP)月平均云资料, 对中国西北地区空中云水资源的时空分布特征进行了研究。李兴宇等^[7]利用 1984—2004 年 ISCCP 的云

水路径资料分析了中国云水的气候特征及变化趋势。DURRE 等^[8]分析了北半球 300 站点 1973—2006 年探空资料计算的大气可降水量长期变化趋势。MATTAR 等^[9]利用探空站点数据和 NCEP 再分析日资料分析了欧洲 1973—2003 年大气可降水量距平的时空变化。潘留杰等^[10]利用欧洲数值预报中心(ECMWF)发布的高分辨率 ERA-I (European Reanalysis Interim)再分析数据, 采用经验正交函数、小波分析等方法, 分析了 1979—2012 年夏季黄土高原空中云水资源分布特征。赫小红等^[11]为揭示青藏高原空中云水资源的分布状况, 采用 1979—2016 年 ERA-I 月平均再分析资料对夏季高原空中云水资源的时空特征进行了深入分析。黄彦彬等^[12]利用 GPS 观测对海口地区不同类型云条件下水汽含量的特征及与降水效率的关系进行了分析。李光伟等^[13]利用 NVAP-M 卫星等资料分析了海南岛夏半季、冬半季和年平均大

收稿日期: 2021-07-15 修回日期: 2022-03-05

基金项目: 海南省自然科学基金项目(420RC754); 国家自然科学基金项目(41865009); 海南省重点研发项目(SQ2021SHFZ0605)

第一作者: 李光伟(1983-), 男, 高级工程师, 硕士. 研究方向: 卫星遥感与大气物理. E-mail: gwlce@foxmail.com

气可降水量的时空分布特征及异常年成因。

海南岛地处热带,属热带季风海洋性气候,岛四周低平,中间高耸,以五指山、鹦哥岭为隆起核心,向外逐级下降,山脉对局地气候有较大影响^[14]。岛上水汽充沛,但时间、空间上分布不平衡,干湿季分明,具有独特的气候特点。海南岛水汽收支与循环同时受热带、副热带系统及地形的影响,使得季节、年际及年代际变化和空间分布具有比较复杂的特征^[13]。不管是地表水、地下水,都来自大气中的降水云系,大气降水是水资源中可持续利用的重要来源,了解海南岛空中云水资源,对于改善生态环境、保障经济社会的可持续发展具有重要意义。笔者结合 ERA-I 再分析资料和探空数据,先对华南地区云量、水汽各季节空间分布进行研究,在此基础上,再对海南岛总云量、低云量、高云量和水汽的变化特征进行详细分析,旨在揭示本区域 30 年(1981—2010 年)空中云水资源的时空分布特征和变化趋势。

1 材料与方法

1.1 资料选取 大气可降水量是指单位垂直气柱中所含有的水汽总量,假设这些水汽全部凝结化为雨水并积聚在气柱的底面上时所具有的液态

水深度^[9]。大气降水量的计算方法主要包括探空资料计算、卫星资料反演和再分析资料等方法。探空方法比较精确,但缺点是探空站点和探测次数都比较少。海南岛只有海口和三亚 2 个站点,每天探测数据 2~3 次。云量是指云遮蔽天空视野的成数,单位是百分比(%),晴空无云时,云量为 0,天空完全为云覆盖时,云量为 100%。

本研究使用的探空数据来自美国国家气候数据中心(NCDC)研制的全球站点无线电探空资料数据集(简称 IGRA)^[15-16]。笔者采用了 2 种高精度再分析资料即美国航空航天局(NASA)的 MERRA 资料和欧洲中期数值预报中心的 ERA-I 再分析资料^[17]。本研究中所使用的 IGRA 探空资料包括位于海南岛的海口站(59758, 110.345°E, 20.033°N)和三亚站(59948, 109.517°E, 18.233°N)探空数据,主要用于检验再分析资料的适用性。获取的海口(三亚)站探空资料时段为:1998—2010 年(2000—2010 年)逐日 08 时(0000UTC)和 20 时(1200UTC)资料。资料的时间分辨率等参数见表 1 所示。笔者选取的华南地区范围为:10°N~30°N, 101°E~120°E,海南岛区域范围为:17.5°N~20.5°N, 108°E~111.5°E。

表 1 IGRA、ERA-I 和 MERRA 资料主要参数

数据名称	数据来源	探测仪器	同化方案	起止时间/年	时间分辨率	水平分辨率
IGRA	NCDC	海口探空站		1998—2010	2次/d	
IGRA	NCDC	三亚探空站		2000—2010	2次/d	
ERA-I	ECMWF		4D-Var	1981—2010	4次/d	0.125°×0.125°
MERRA	NASA	GOES	3DVar-IAU	1981—2010	1次/h	2/3°×1/2°

1.2 探空方法 探空观测结果常作为检验其他水汽资料的 1 个参考标准。IGRA 数据集是由美国国家气候中心建立,包含 11 个不同源的探空站观测数据,采用了综合质量控制方法^[15]。大气可降水量可以通过探空资料提供的各等压面温度和温度露点差来计算,具体计算方法可参见文献^[18-19]。由于数据的缺测,计算得到了 1998—2010 年探空 PW 数据。

1.3 再分析资料 以 PW 为例,MERRA 和 ERA-I 再分析资料的月平均处理,采用了先计算时次月平均,再对其平均得到月平均 PW 的方法,对于

MERRA 和 ERA-I,计算月平均所使用的时次为 WMO 规定的 4 个探测时次,即 00:00、06:00、12:00、18:00(UTC,世界时)。云量的处理采用了类似的方法。

2 结果与分析

2.1 再分析资料适用性评估 在使用再分析资料进行任何气候研究中,必须仔细注意时间序列中的非气候特征与观测的某些方面的偏差^[19]。为了评估 MERRA 和 ERA-I 等资料在海南岛的适用性,李光伟等^[13]利用海口站探空水汽资料对 ERA-

I 和 MERRA 再分析资料进行了对比统计分析。笔者利用海口、三亚探空数据对 MERRA 和 ERA-I 再分析资料评估结果也表明,3 种数据的平均值比较一致。MERRA 平均偏差最大,ERA-I 相对较小。2 种数据与探空的相关系数均大于 90%。ERA-I 数据相对于 MERRA 与探空结果一致性更好,在海南是比较适用的。因此,笔者后面选用 ERA-I 作为主要再分析资料。

2.2 大气可降水量的空间分布特征 对大气可降水量和云量的分析分为全年、夏半季(5—10月)和冬半季(11月至翌年4月)^[19-20]。年平均 PW(云量)指 1—12 月月均 PW(云量)平均值的多年平均。夏半季 PW 是对 5—10 月月平均 PW(云量)的多年平均,冬半季 PW 和云量按同样的方式得到。

图 1 为利用 ERA-I 数据计算的华南地区和海南岛区域(分辨率 0.125°)多年平均(1981—2010 年)大气可降水量空间分布。如图 1-a 所示,为华南年平均 PW 分布,整体表现为南湿北干、东高西

低、海洋大于陆地的特征,其中西北内陆为低值中心,高值区在东南沿海,位于低纬度的南海南部 PW 值大于北部。从整个华南区域看,年均 PW 在青藏高原边缘、云贵高原、五指山地区均为低湿区,南海海域为相对的高湿区,在夏半季和冬半季,整个华南 PW 的高值区域同样位于南海海域,且从时空对比来看,南海南部 PW 值大于北部,夏半季大于冬半季,这与李光伟等^[13] 研究结果比较一致。蔡英等^[21] 也指出,地形高度即决定了上空气柱厚度,也影响气柱的含湿能力。

具体到海南岛区域,位于华南全区的高低值中心过渡带,本岛年平均 PW 最低值和最高值分别为:42.13 mm 和 46.48 mm,表明海南岛水汽分布较均匀,且比内陆地区明显要整体偏高。受海南岛海拔高值中心五指山地形影响,年平均 PW 分布呈现岛中部琼中、五指山等市县为低值中心,周围 PW 值逐渐增加,西南沿海为高值区的特点,云贵高原是整个华南区域的低值中心。华南夏半季和冬半季 PW 分布具有类似特点。以上

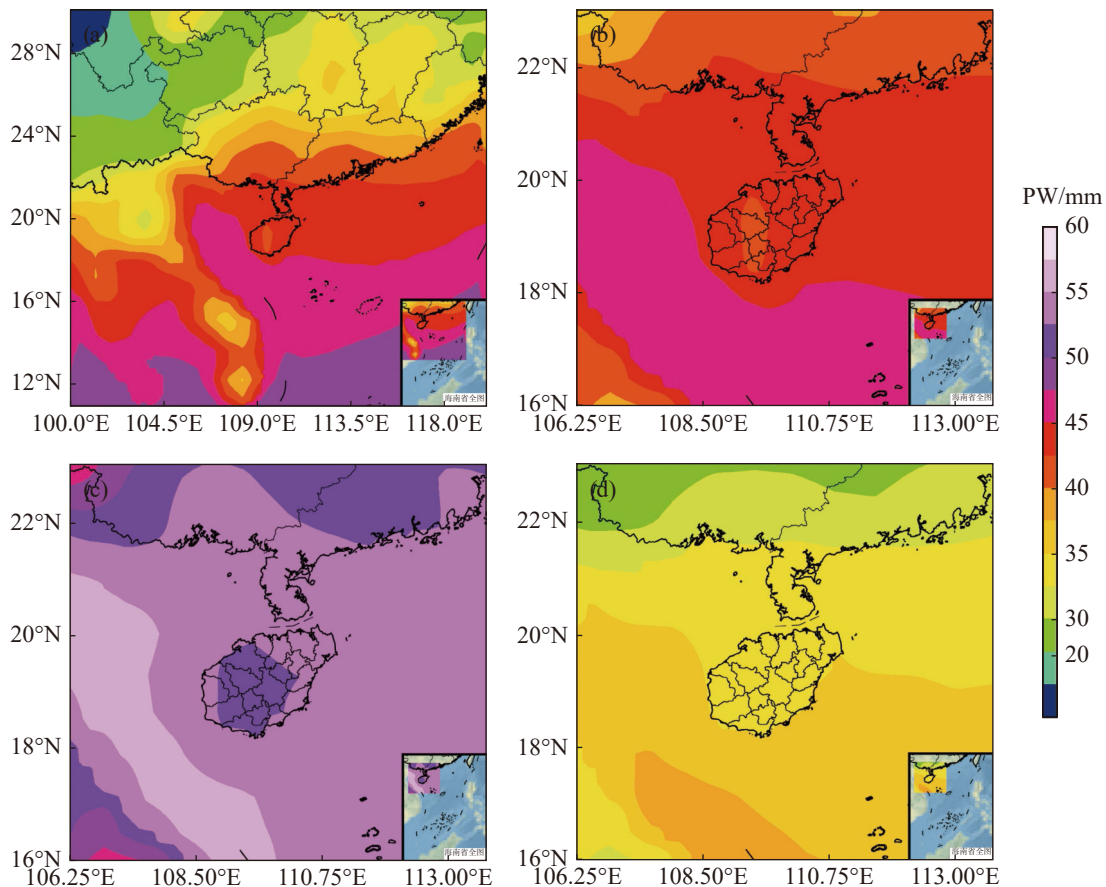


图 1 1981—2010 年平均大气可降水量(PW)空间分布
华南: a.全年;海南岛区域: b.全年、c.夏半季、d.冬半季。下图同。

说明,纬度、地形、海陆位置对PW的空间分布有重要影响。

如图1-c和图1-d所示,与全年类似,夏半季低值中心同样位于岛中部五指山山区,周边沿海市县为高值区,最大值为55.29 mm。从季节对比看,夏半季海南岛各地PW数值普遍大于冬半季,大部分区域夏半季PW >40 mm。冬半季海南全岛PW差异不大,没有明显的高低中心(图1-d)。而整个华南区域冬半季低值中心则依然存在,同样位于云贵高原和青藏高原东部边缘区域。有研究指出,季风环流是影响PW分布的重要因素^[2]。

2.3 云量的空间分布特征 图2是利用ERA-I数据计算的华南地区和海南岛区域多年平均(1981—2010年)总云量(Total Cloud Cover, TCC)空间分布。总体看,华南年平均总云量呈现南北高、中部低的分布,空间变化范围为:39.16%~80.77%。低值区呈带状分布,主要位于海南岛及华南沿海区域,低值中心位于广东、福建交界区域及以东海面上。湖南及四川盆地交界区是华南地区年平均总云量高值区,且量值普遍>70%,这与

王旻燕等^[23]的分析比较一致。南海南部是次高值区域。从海南岛来看,全年和冬半季平均总云量均表现为以五指山山脉为界,东高西低的分布,变化范围分别为:45.56%~57.58%和35.00%~54.26%。在夏半季,总云量最高值和最低值分别为:53.25%和63.20%,总云量高值中心位于岛中部及东南部(五指山、琼中、三亚、陵水、保亭等)区域,低值区域位于西部沿海区域,夏半季总云量普遍大于冬半季,前者最低值是后者的1.5倍。在夏半季,五指山区域即是PW的低值中心,也是TCC的高值区,即五指山地区水汽低,云量反而更多,说明地形对云系的形成和水汽分布均有重要影响,且云系生消受本地局部环境影响更明显(图1-c,图2-c)。

华南地区1981—2010年多年平均低云量(Low Cloud Cover, LCC)和高云量(High Cloud Cover, HCC)的空间分布如图3和图4所示。华南年平均LCC呈现北高、南低的分布,LCC值在陆地明显大于海洋,高值中心同样位于四川盆地,最大值为63.42%,LCC的低值区位于南海南部和

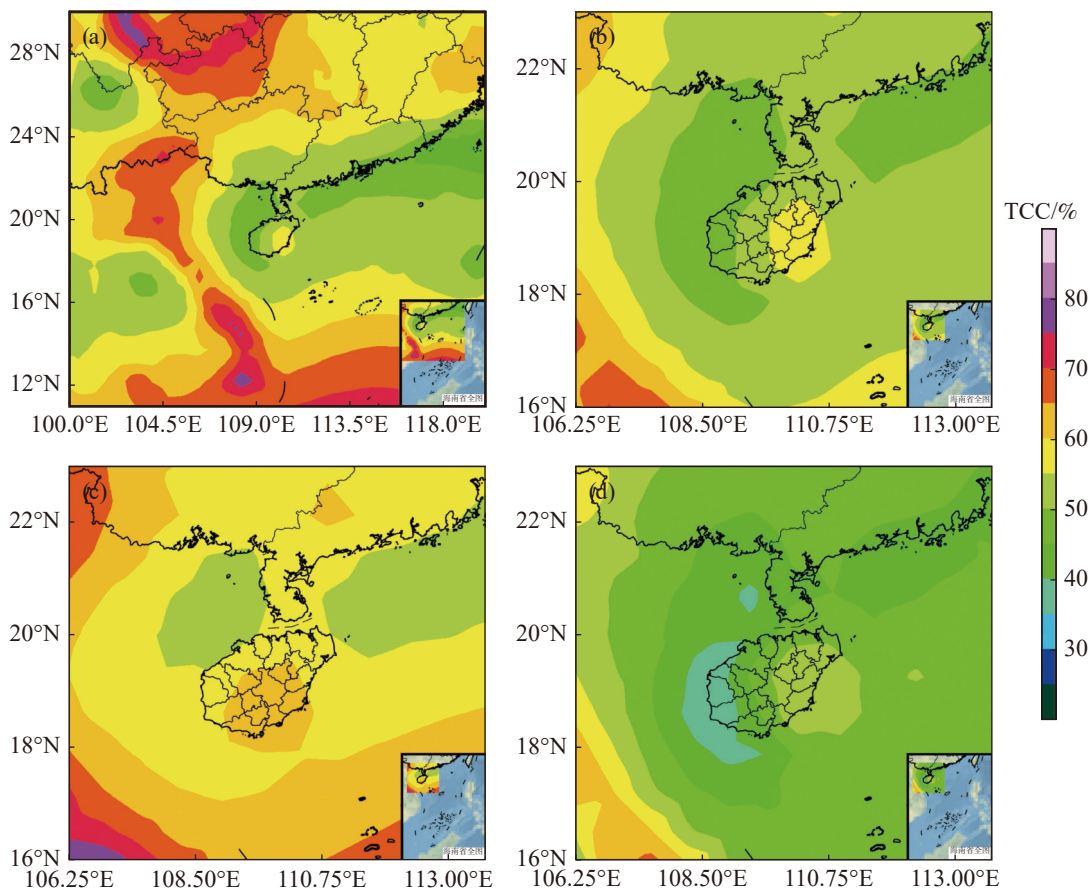


图2 1981—2010年平均总云量(TCC)空间分布

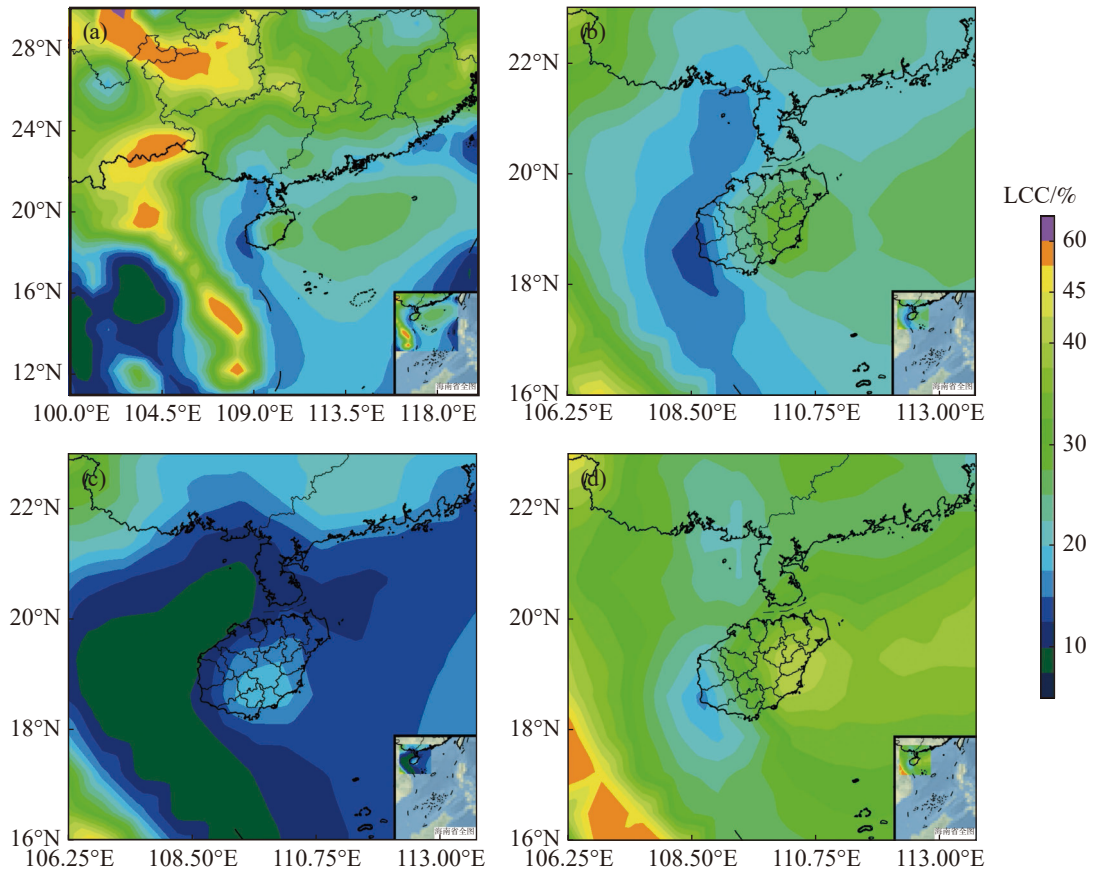


图 3 1981—2010 年平均低云量(LCC)空间分布

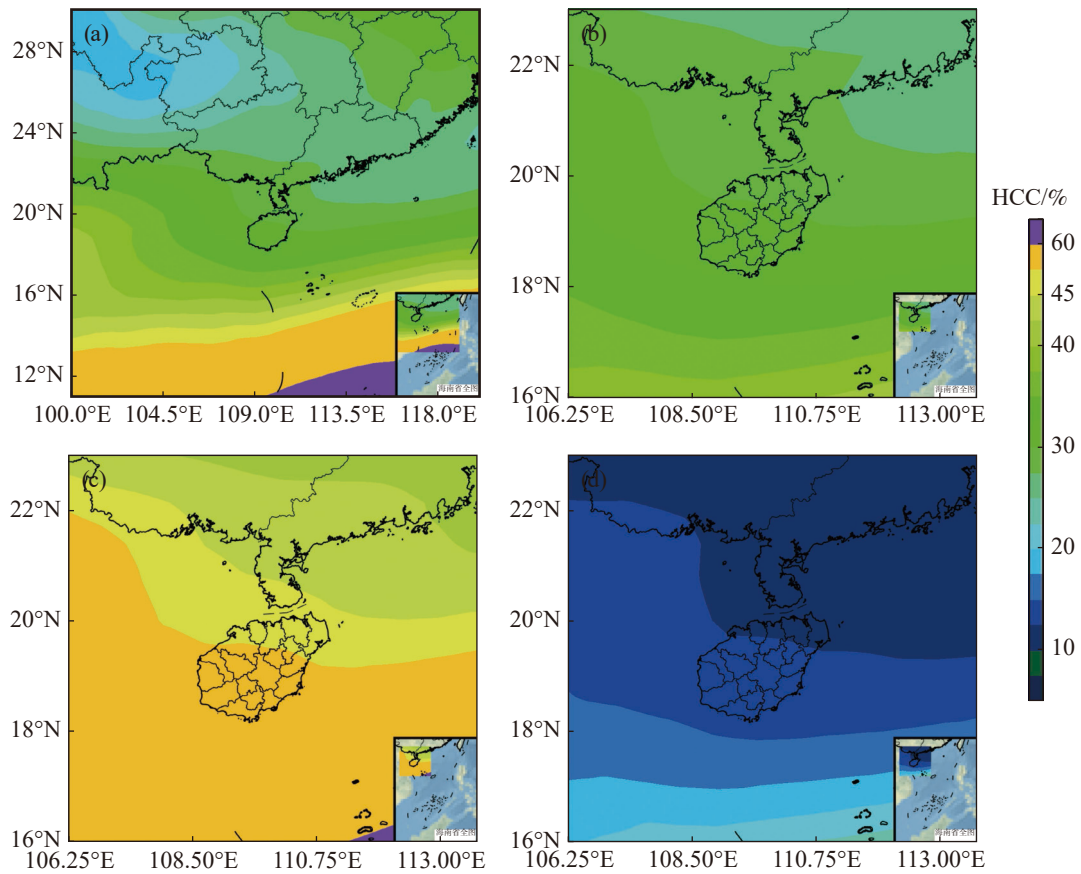


图 4 1981—2010 年平均高云量(HCC)空间分布

西部(图 3-a)。对于年平均 HCC 来说,四川盆地是其低值中心,HCC 值随纬度减小而增大,南海南部为高值区,普遍 >45%(图 4-a)。从海南岛区域来看,夏半季 LCC < 20%,最大值和最小值分别为 18.99% 和 8.27%,低值区域位于海南岛西部东方、乐东等市县及其西部海洋区域,高值区域则位于岛东部区域,全年和冬半季 LCC 存在类似的东高西低的高低值中心分布。海南岛区域冬半季 LCC 空间变化范围为: 16.56% ~ 41.88%,夏半季 LCC 最大值和最小值分别为 18.99% 和 8.23%,夏半季 LCC 明显小于冬半季(图 3-c, 图 3-d)。HCC 则相反,海南岛夏半季和冬半季 HCC 空间变化范围分别为: 44.30% ~ 53.77% 和 11.44% ~ 16.4%,夏半季 HCC 值明显大于冬半季(图 4-c, 图 4-d)。王帅辉等^[24]的研究也发现,马来群岛以北海域高层云云量冬夏差异最大,夏季云量很多,超过 30%,而冬季云量小于 10%。与 LCC 不同,无论夏半季和冬半季,海南岛区域 HCC 值均没有明显的高低值中心,大体表现为自东北向西南逐渐增大趋势。

与低云类似,四川盆地也是华南地区全年和夏半季中云量(Medium Cloud Cover)的高值中心,在冬半季,中云量高值中心则略向东移动,位于四川、重庆和湖南交界处,夏半季和冬半季最大值分别为 54.33% 和 46.72%。海南岛夏半季和冬半季平均中云量则均小于 20%。以上说明在夏半季,海南岛以高云为主,而在冬半季则以低云为主。

2.4 云水资源的时间变化特征 图 5 是基于 30 年(1981—2010 年)ERA-I 数据计算的海口(110.345°E, 20.033°N)、三亚(109.517°E, 18.233°N)

和海南岛区域(17.5°N ~ 20.5°N, 108°E ~ 111.5°E)月平均 PW 和 TCC 的逐月变化。结果显示,海口、三亚及海南岛区域月均 PW 的逐月变化比较一致,三地均存在 1 个明显的单峰结构,在冬季月份为低值,在夏季月份达到峰值,且 6—8 月数值比较接近(图 5-a)。从区域对比看,海口、三亚及海南岛平均 PW 在 1—12 月均比较一致,其中,5—8 月海口与三亚 PW 差异略大。从数值看,海南岛区域平均 PW 值在 8 月最高(55.46 mm),月最低值则为 26.41 mm(1 月),最高值是最低值的 2 倍。说明海南岛不同季节水汽干湿差异明显。

与 PW 类似,三亚总云量 TCC 的年变化也存在 1 个单峰结构,峰值发生在夏季(6 月),数值为 83.05%,低值则是在 11 月,为 44.88%,夏半季大部分月份(6—9 月)TCC 大于 60%,而在冬半季多数月份(11 月至翌年 1 月)TCC 则小于 50%(图 5-b)。海口 TCC 年变化则较三亚平缓,峰值同样发生在夏季 6 月(80.69%),低值则是发生在夏半季的 10 月(47.60%)。与三亚不同,海口冬半季多数月份(12 月至翌年 4 月)TCC 大于 50%,2 月是冬半季中 TCC 的高值月份(61.60%)。以上结果说明,海南岛不同月份 TCC 也存在较明显差异。

基于 1981—2010 年 ERA-I 再分析资料,选择海南岛区域(17.5°N ~ 20.5°N, 108°E ~ 111.5°E),进行区域平均,得到海南岛年平均 PW 和 TCC 距平(相对于 1981—2010 年)的年际变化曲线。如图 6 所示,海南岛年平均 PW 和 TCC 距平均存在较明显的年际变化,在整个时段内总体呈减少趋势,但未通过 0.05 的回归方程显著性检验,减少趋势不明显。PW 距平振荡降低,于 2004 年达到整

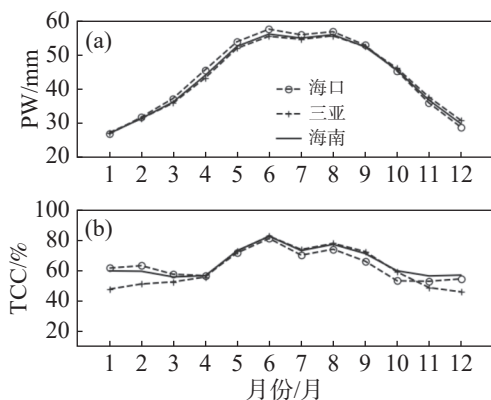


图 5 基于 ERA-I 数据的 1981—2010 年平均 PW(a) 和 TCC(b)年变化

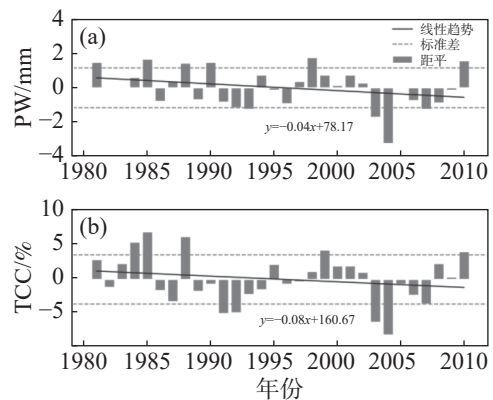


图 6 海南岛年平均 PW 和 TCC 距平序列年际变化及线性趋势

个时段最低值(-3.26 mm),之后缓慢振荡增加,而TCC距平同样在2004年为30年最低值,数值为-7.90%。海南岛区域1981—2010年PW和TCC的30年均值分别为44.37 mm和51.09%。从年代际变化看,前10年(1981—1990年)PW和TCC距平震荡变化,10年平均值相对均略增加增幅分别为0.582 mm和1.53%。中段(1991—2000年)和后10年(2001—2010年)水汽和云量主要是呈上升趋势,即由负距平转正距平。

3 结论

通过对海南岛水汽和云量的分析,得到以下主要结论:

(1)海南岛大气可降水量存在明显的时空差异,具有南湿北干、海洋大于陆地,夏半季明显大于冬半季的特点。受地形海拔影响,海南岛区域和华南年平均大气可降水量低值中心分别位于五指山地区和云贵高原,在夏半季和冬半季,南海海域为相对的高湿区。说明纬度和地形是影响水汽分布的重要因素。

(2)海南岛全年和冬半季平均总云量均呈现为以五指山山脉为界,东高西低的分布,夏半季总云量高值中心位于岛中部及东南部,夏半季和冬半季最大值分别为63.20%和54.26%。海南岛西部及华南沿海也是华南地区年平均总云量低值区,华南地区高值中心位于四川盆地东部,普遍大于70%,南海南部是次高值区域。

(3)海南岛年平均低云量陆地大于海洋,南海南部为低值区。海南岛夏半季高云量大于44%,低云量则小于19%,以高云为主。海南岛冬半季高云量小于17%,低云量变化范围为:16.56%~41.88%,以低云为主。华南年平均低云量则随纬度减小而减小,高云量则随纬度减小而增大。

(4)海口、三亚及海南岛区域月均大气可降水量年变化比较一致,均存在1个明显的单峰结构,夏季为峰值,最高值是最低值2倍,说明海南岛不同季节水汽干湿差异明显。1981—2010年海南岛大气可降水量和总云量年平均距平存在较明显的年际变化,30年年平均大气可降水量和总云量分别为44.37 mm和51.09%,大气可降水量和总云量距平最小值均发生在2004年,说明该年总云量最少,水汽最干。

参考文献:

- [1] RAMANATHAN V, CESS R D, HARRISON E F, et al. Cloud-radiative forcing and climate: results from the Earth radiationbudget experiment [J]. *Science*, 1989, 243(4887): 57 - 63.
- [2] 丁守国, 赵春生, 石广玉, 等. 近20年全球总云量变化趋势分析[J]. *应用气象学报*, 2005, 16(5): 670 - 677.
- [3] 张强, 黄荣辉, 王胜, 等. 西北干旱区陆—气相互作用试验(NWC-ALIEX)及其研究进展[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 427 - 441.
- [4] 王胜, 张强. 黄土高原半干旱区露水形成的大气物理特征研究[J]. *物理学报*, 2011, 60(5): 846 - 853.
- [5] 梁宏, 刘晶淼, 李世奎. 青藏高原及周边地区大气水汽资源分布和季节变化特征分析[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(4): 526 - 534.
- [6] 陈勇航, 黄建平, 陈长和, 等. 西北地区空中云水资源的时空分布特征[J]. *高原气象*, 2005, 24(6): 905 - 912.
- [7] 李兴宇, 郭学良, 朱江. 中国地区空中云水资源气候分布特征及变化趋势[J]. *大气科学*, 2008, 32(5): 1094 - 1106.
- [8] DURRE I, WILLIAMS C N, YIN X, et al. Radiosonde-based trends in precipitable water over the Northern Hemisphere: An update [J]. *J. Geophys Res.*, 2009: 114.
- [9] MATTAR C, SOBRINO J A, JULIEN Y, et al. Trends in column integrated water vapour over Europe from 1973 to 2003 [J]. *International Journal of Climatology*, 2011, 31(12): 1749 - 1757.
- [10] 潘留杰, 张宏芳, 周毓荃, 等. 1979—2012年夏季黄土高原空中云水资源时空分布[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(2): 456 - 463.
- [11] 赫小红, 宋敏红, 周梓萱. 夏季青藏高原空中云水资源的时空特征分析[J]. *高原气象*, 2020, 39(6): 1339 - 1347.
- [12] 黄彦彬, 李春鸾. 海口市不同云天条件下水汽含量特征及降水效率分析[J]. *热带作物学报*, 2010, 31(1): 146 - 150.
- [13] 李光伟, 敖杰, 邢峰华, 等. 基于NVAP-M数据和ERA-I资料的海南岛大气可降水量时空分布特征分析[J]. *暴雨灾害*, 2018, 37(3): 281 - 287.
- [14] 王春乙. 海南气候[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 1-6.
- [15] DURRE I, VOSE R S, WUERTZ D B. Overview of the integrated global radiosonde archive [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(1): 53 - 68.
- [16] DAI A, WANG J, THORNE P W, et al. A new approach to homogenize daily radiosonde humidity data [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(4): 965 - 991.
- [17] DEE D P, UPPALA S M, SIMMONS A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2011, 137(656): 553 - 597.
- [18] 杨景梅, 邱金桓. 用地面湿度参量计算我国整层大气

- 可降水量及有效水汽含量方法的研究[J]. *大气科学*, 2002, 26(1): 9 – 22.
- [19] 李光伟, 李春鸾, 敖杰, 等. 海南岛大气可降水量的时空分布特征研究[J]. *自然灾害学报*, 2015, 24(5): 129 – 138.
- [20] 简茂球. 华南地区气候季节的划分[J]. *中山大学学报*, 1994, 33(2): 131 – 133.
- [21] 蔡英, 钱正安, 吴统文, 等. 青藏高原及周围地区大气可降水量的分布, 变化与各地多变的降水气候[J]. *高原气象*, 2004, 23(1): 1 – 10.
- [22] 邹进上, 刘惠兰. 我国平均水汽含量分布的基本特点及其控制因子[J]. *地理学报*, 1981, 36(4): 377 – 391.
- [23] 王旻燕, 王伯民. ISCCP 产品和我国地面观测总云量差异[J]. *应用气象学报*, 2009, 20(4): 411 – 418.
- [24] 王帅辉, 韩志刚, 姚志刚, 等. 基于 CloudSat 资料的中国及周边地区各类云的宏观特征分析[J]. *气象学报*, 2011, 69(5): 883 – 899.

Temporal and spatial characteristics of cloud water resources in Hainan island over the past 30 years

LI Guangwei^{1,2}, XING Fenghua¹, AO Jie¹, MAO Zhiyuan¹

(1. Hainan Institute of Meteorological Sciences, Haikou, Hainan 570203, China; 2. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou, Hainan 570203, China)

Abstract: In order to understand temporal and Spatial Characteristics of cloud water resources in Hainan Island, based on data of ERA-I reanalysis from 1981 to 2010, the temporal and spatial distributions of Rainy-Season, Dry-Season and annual mean precipitable water(PW), total cloud cover(TCC), low cloud cover, high cloud cover are analyzed. The results show that the changes of PW over Hainan Island indicate significant variations in temporal and spatial characteristics(southern wet-northern dry). The values of PW and TCC in Rainy-Season are higher than that in Dry-Season and are greater above the ocean than that above land. The low center of annual mean PW over Hainan Island located in WuZhi Mountain of Hainan Island, the value of annual mean PW is high above South China Sea surface. The low(high) value center of annual mean TCC over South China is located in west of Hainan Island and coastal areas over southern China(east of Sichuan Basin), the TCC value in south of South China Sea is second high. The maximum value of TCC value in Rainy-Season and Dry-Season are 63.20% and 54.26%. The clouds of Hainan Island in Rainy-Season are mostly high clouds, with high cloud cover value more than 44%, but in Dry-Season the maximum value of low cloud cover is 41.88%, and the value of high cloud cover is less than 17%, the clouds in Dry-Season are main low clouds. There is a single peak in annual variation of monthly mean PW in Hainan Island with the peak in August. There are also obvious decadal changes about PW and TCC in Hainan Island over the past 30 years.

Keywords: precipitable water; cloud Amount; ERA-I; water vapor; Hainan Island

(责任编辑: 刘少军 责任编辑: 潘学峰)