刘方田，许尔琪．海南省台风特点与灾情评估时空关联分析［J］．灾害学，2020，35(2)：217-223.［LIU Fangtian and XU Erqi. Spatio-temporal Correlation Analysis of Typhoon Characteristics and Disaster Assessment in Hainan Province［J］. Journal of Catastrophology，2020，35(2)：217-223. doi：10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.039.］

海南省台风特点与灾情评估时空关联分析*

刘方田[1,2]，许尔琪[1]

（1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室，北京 100101；2. 中国科学院大学，北京 100049）

摘　要：基于 2014-2018 年海南省气象、台风灾情及社会经济数据，构建海南省台风致灾因子指数与灾情评估指数模型，揭示两者的时空分布特征及关系。结果表明：近年来，影响海南省的台风主要集中在 7-9 月份，强度中等偏弱；各市(县)致灾因子指数数值在 0.08～0.92 之间，危险性最高值分布在北部的文昌、海口和澄迈县，西部和南部危险性较低。多年平均历史灾情指数数值在 4.47～11.76 之间，高值区位于北部的文昌、海口和西北的白沙县，南部损失较轻。历次台风灾情指数与最大日降雨量、极大风速、台风强度和台风持续时长等致灾因子的相关系数分别为 0.88、0.74、0.63 和 0.55；历史灾情指数与致灾因子指数相关系数为 0.76，二者呈现较好的相关性和空间一致性。

关键词：台风；致灾因子；灾情评估；时空关联；海南省

中图分类号：X43；X915.5；P444　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000－811X(2020)02－0217－07

doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2020.02.039

当前国内外学者在台风致灾因子危险性和灾情评估方面已经进行了一系列研究。国际上通过统计模拟台风频度、路径和风场进行台风风险和灾情评估，如利用历史台风灾害资料，构建关键参数概率分布模型对台风路径和强度进行模拟[1-3]；基于台风参数资料，利用参数模型模拟台风风场进行台风风险评估[4-5]；并通过构建风速与灾害损失模型，评估预期灾害保险损失[6-7]。

在国内，台风致灾危险性方面，学者选取台风暴雨、大风、台风强度和持续时间，作为评估台风致灾因子危险性的程度指标，并通过计算灾害风险指数，采用综合加权评价法进行台风灾害危险性评估与区划[8-12]。在台风灾情评估方面，主要采用死亡人口、房屋倒塌、受淹农田和直接经济损失等灾情资料、致灾因子和承灾体等指标作为台风灾害评估的指标，建立台风灾情指数(ATDI)或历史灾情指数来表征台风灾害损失情况[13-24]。综上，台风灾害研究主要集中在台风危险性和灾情评估的单独研究，对两者关系的时空分布特征研究相对较少。研究区域台风致灾因子强度差异对实际造成灾情损失大小的影响程度，有助于开展台风风险定量评估，科学指导区域防灾减灾规划。

基于此，本文根据 2014-2018 年气象、台风灾情和社会经济数据，构建台风致灾因子指数，分析海南省台风强度、登录时间、大风和降雨等致灾因子情况和综合致灾因子指数特征，并构建了台风历史灾情评估模型，分析死亡人、农业受灾、倒塌房屋和直接经济损失等灾情情况和综合台风灾害损失特征，并探讨海南省各市(县)的台风灾情特征与致灾因子的关系。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

海南省地处 18°10′～20°10′ N，108°37′～111°03′ E 之间。四周环海，形状似椭圆，是我国第二大岛屿，面积约 3.42 万 km^2，海岸线长达 1 500 km 以上。海南省下辖 18 个市(县)(图 1)，2018 年末常住人口 934.32 万人。气候为海洋性热带季风气候，全年高温，最热月平均气温在 30℃左右，年均降水量 1 600 mm 以上，降水季节性和地域性分配不均。地形地势中间高，四周低，以五指山和鹦哥岭为中心，海拔高度向外围逐渐降低。海南省濒临南海，东临太平洋，深受台风影响，被称为“台风走廊”[25]。据统计，1951-2018 年影响

* 收稿日期：2019－09－24　　修回日期：2019－11－26
基金项目：国家重点研发计划(2018YFC1508801，2017YFC1503003)
第一作者简介：刘方田(1993－)，男，河北沧州人，博士研究生，研究方向为土地利用及空间格局、生态环境效应．
E-mail：1102600329@qq.com
通讯作者：许尔琪(1986－)，男，广东汕头人，博士，副研究员，主要从事土地利用及空间格局、生态环境效应研究．
E-mail：xueq@igsnrr.ac.cn

海南的台风共 446 次，平均每年 6.56 次，最多年份达 14 个，高峰月最多达 5 个，西北太平洋是严重影响海南省的台风的发源地[26-27]。

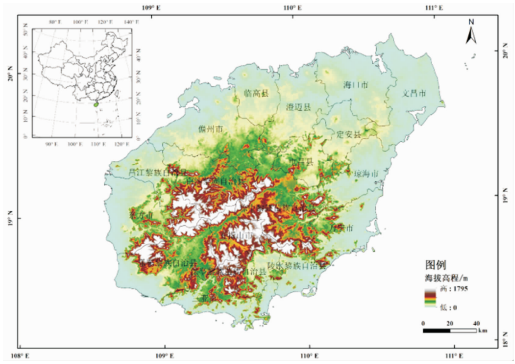


图 1 海南省地理位置图

1.2 数据来源

台风灾情主要采用《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》中的灾情数据。社会经济数据采用中国经济与社会发展统计数据库的 2014-2018 年《海南省统计年鉴》，包括各市(县)总人口、GDP 和农作物播种面积等。台风路径数据来源于中国台风网，包括台风名称、编号、中心点位置(经度，纬度)、近中心最低气压、台风强度和风速风力等信息。气象数据来源于中国气象数据网的地面气象资料下的中国地面气候资料日值数据集，选取 2014-2018 年台风过境的近地面极大风速和降雨量两个指标用于后续分析。

2 研究方法

2.1 台风致灾因子评价模型

2.1.1 指标选取及处理

台风风险不仅体现在台风强度和频次上，其引起的暴雨和大风也是决定台风灾害危险程度的重要条件[8-9]。结合海南省台风特性及其受灾情况，选取台风过境时最大日降雨量、极大风速、台风强度和登录时长作为台风致灾因子危险性评价指标。

为反映海南省各市(县)历史灾情与致灾因子的关系，需将风速和降雨量等离散的点数据通过插值转换为连续曲面。传统的空间插值方法有反距离权重法、克里金法、泰森多边形法、样条法和多项式法等。其中泰森多边形法在计算区域面积不大，地形差异较小且气象站点分布均匀的区域时精度较高，应用广泛。因此本文采用泰森多边形法进行海南省气象数据的空间插值。

根据中国气象局地面气候日值数据集筛选 2014-2018 年海南省 5 个气象站点台风过境期间逐日降雨量和风速数据，计算每个气象站点 5 年间台风的平均极大风速和平均最大日降雨量。基于海南省气象站点的空间分布，利用 ArcGIS10.6 中的邻域分析工具，绘制出泰森多边形，将各个气象站点 5 年平均最大日降雨量和平均极大风速代表其区域内的平均水平，可以反映海南省各个市(县)近 5 年台风的降雨量和风速特征情况。

由于各个指标具有不同的量纲，因此需要对其进行标准化处理再进行致灾因子危险性评估。采用极差标准化公式(式 1)，将各指标进行标准化处理，标准化后其值在 0～1 之间。

$$Z_{ij}=\frac{D_{ij}-D_{ij\min}}{D_{ij\max}-D_{ij\min}}。\tag{1}$$

式中：Z_{ij}为第 j 市(县)的第 i 指标数据标准化值；D_{ij}为第 j 市(县)的第 i 指标值；$D_{ij\max}$为第 j 市(县)的第 i 价因子的最大值；$D_{ij\min}$为第 j 市(县)的第 i 价因子的最小值。

2.1.2 致灾因子评价模型的构建

通过分析台风降雨和大风与灾情的关系，发现台风降雨比大风的致灾作用要大，并结合前人研究，确定最大日降雨量、极大风速、台风强度和登录时长 4 个致灾因子指标的权重分别为 0.35、0.25、0.23 和 0.17[8-9]。采用加权综合评价法(式 2)，对上述致灾因子指标加权相加得到台风致灾因子指数，用以表征台风灾害危险性的大小。

$$H=\sum_{i=1}^{4}Z_{ij}\times W_{ij}。\tag{2}$$

式中：H 为第 i 市(县)台风致灾因子指数；Z_{ij}为第 j 市(县)的第 i 指标数据标准化值；W_{ij}第 j 市(县)的第 i 指标的权重值。H 越大，台风致灾因子危险性越大。

2.2 台风灾情评估模型

台风灾情评估分为海南省历次台风灾情评估和各市(县)多年平均历史灾情评估，分别用历次台风灾情指数(ATDI)和历史灾情指数(HDI)表示。台风灾情主要表现为人员伤亡，房屋倒损，农作物受灾和直接经济损失等[28]。因此本文选取死亡人口(人)、农业受灾面积(hm^2)、倒塌房屋间数(间)和直接经济损失(万元)作为历次台风灾害损失评估指标。

2.2.1 台风灾情指数

台风灾情指数(ATDI)是评价历次台风实际灾害大小的定量化指标。其定义为

$$I_{ATD}=Id+Ih+Ie+Im。\tag{3}$$

式中：Id、Ih、Ie 和 Im 为规范化的死亡人口指数、农作物受灾面积指数、房屋倒塌数指数和直接经济损失指数，按下式计算：

$$Id=\begin{cases}\log d\text{-}1, & d\geqslant 100\text{ 人};\\ \dfrac{d}{100}, & d<100\text{ 人}。\end{cases}\tag{4}$$

$$Ih=\begin{cases}\log h\text{-}2, & h\geqslant 6667\ hm^2;\\ \dfrac{h}{100}, & h<6667hm^2。\end{cases}\tag{5}$$

$$Ie=\begin{cases}\log e\text{-}2, & e\geqslant 1000\text{ 间};\\ \dfrac{e}{100}, & e<10000\text{ 间}。\end{cases}\tag{6}$$

$$Im=\begin{cases}\log m, & m\geqslant 10\text{ 亿元};\\ \dfrac{m}{100}, & m<10\text{ 亿元}。\end{cases}\tag{7}$$

将上述指标求和，即得到历次台风灾情指数(ATDI)。

2.2.2　历史灾情指数

根据冯利华[29]提出的灾级概念，采用历史灾情指数来评价海南省各市(县)台风历史灾情状况。以往基于死亡人数、农作物受灾面积、倒塌房屋和经济损失等指标体系的台风历史灾情评估模型是对灾情指标的原始数据直接进行规范化处理，区域可比性较差。为消除各个市(县)之间人口密度和经济发展的差异，需将上述指标的原始值转换为相对值。计算公式如下：

$$Z_{ij}=\frac{U_{ij}}{G_{ij}},\ (j=1,\ 2,\ \cdots,\ n)。\tag{8}$$

式中，：Z_{ij}指第 i 指标第 j 年的相对值；U_{ij}指某区域第 i 指标第 j 年的原始值；G_{ij}某区域第 i 指标第 j 年的总人数(耕地面积、总户数、国内生产总值)。

为综合反映海南省各市(县)台风灾害损失程度，将各年度(2014-2018)灾情指标的相对值求和，再取平均值，作为海南省各市(县)历史灾情指标的标准值。计算公式如下：

$$S_i=\sum_{j=1}^{n}Z_{ij}/n,\ (j=1,\ 2,\ \cdots,\ n)。\tag{9}$$

式中：S_i 指第 i 指标的标准值；Z_{ij}指第 i 指标第 j 年的相对值；n 指年数。将上述标准值换算为规范化指数。计算公式为：

$$I_i=\begin{cases}\lg S_i+4, & S_i>0;\\ 0, & S_i=0。\end{cases}\tag{10}$$

然后将各指标的规范化指数求和，得到海南省各市(县)的历史灾情指数。计算公式如下：

$$HDI=\sum_{i=1}^{4}I_i,\ (i=1,\ 2,\ \cdots,\ n)。\tag{11}$$

式中：HDI 指历史灾情指数，I_i 指第 i 指标的规范化指数。

3　结果分析

3.1　海南省台风灾害特征

3.1.1　台风频次、登陆时间及强度

2014-2018 年对海南省造成明显灾情的台风共 16 个，平均每年 3.2 个。登陆最多的年份为 2018 年，多达 5 个，是最少年份 2014 年的 2.5 倍，且年际分布不均。影响海南省的台风频次总体呈较慢增长趋势(图 2)。2014-2018 年台风登陆海南省的时间主要分布在 6-10 月份，但每个月份之间的差异较大(表 1)。7 月和 9 月是台风登陆的主要月份，5 年间两个月份登陆的台风占登陆总数的 56.25%，其中 7 月份为台风登陆的高频月份，共 5 次占登陆总数的 31.25%。而 10 月、8 月和 6 月登陆的台风次数则较少。目前台风强度主要分 4 级，分别是热带低压(中心风力 <8 级)、热带风暴(中心风力 8 ~ 9 级)、强热带风暴(中心 10 ~ 11 级)、台风(中心风力 ≥12 级)。登陆海南省的台风以热带风暴为最多，共 7 次占总数的 43.75%。其次是台风(强、超强台风)，登陆 5 次占总数的 31.25%。热带低压和强热带风暴次之。5 年间，热带低压和热带风暴共登陆 11 次、占比 68.75%，表明 2014-2018 年登陆海南省的台风强度中等偏弱。

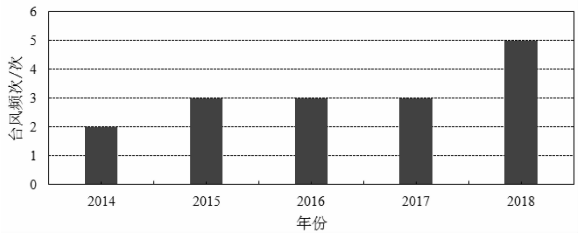


图 2　2014-2018 年海南省致灾台风频次年际变化

表 1　2014-2018 年海南省登陆台风强度及分布频次/次

	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	合计	百分比%
热带低压	1	1	1	1	0	4	25
热带风暴	1	3	0	1	2	7	43.75
强热带风暴	0	0	0	0	0	0	0
台风，强、超强台风	0	1	1	2	1	5	31.25
合计	2	5	2	4	3	16	100
百分比%	12.5	31.25	12.5	25	18.75	100	

表 2　2014-2018 年海南省台风灾情因子统计分析

年份	台风频次/次	死亡人口/人	农作物受灾面积/hm^2	倒塌房屋间数/间	直接经济损失/亿元
2014	2	27	307791.07	24823	176.96
2015	3	0	36087.88	0	12.49
2016	3	5	459428.7	1600	76.73
2017	3	0	10724.25	17	2.27
2018	5	0	32261.77	65	5.88
总计	16	32	846293.7	26505	274.33

3.1.2 台风路径及过境时长

2014-2018 年登陆海南省的历史台风路径表明(图 3)，登陆海南省的台风路径主要有 2 种途径。第一种台风路径是在海南省文昌市登陆，由东南向西北移动，影响文昌和海口市，然后向广东省或广西省或越南移动。第二种是在海南省万宁市登陆，由东向西穿过海南省中西部地区，然后向越南移动。



图 3 2014-2018 年海南省登陆台风路径及过境时长分布图

从各地区台风过境时间来看，文昌市是台风过境时长最长的地区，共历经 16 h；其次是万宁、琼中、儋州和海口市，达到 6 h 以上；昌江、白沙、临高和五指山等市(县)由于台风过境频次较低，因而台风过境时长较短，均低于 3 h；5 年间三亚、东方等市(县)台风过境时长均小于 1 h，过境时长最短。

3.1.3 台风暴雨、大风强度空间分布特征

海南省台风过境的平均最大日降雨量和平均极大风速空间分布差异显著。西北部儋州、临高和白沙黎族自治县的平均最大日降雨量最多，达到 106 mm/d；北部海口、文昌和澄迈县居第二，为 100.7 mm/d；东南部琼海和万宁市等平均最大日降雨量明显减少，为 77.8 mm/d；西部东方和乐东黎族自治县列第 4 位；中南部琼中黎族自治县、陵水黎族自治县和三亚市等平均最大日降雨量最少，为 71.2 mm/d。北部和西北部的平均最大日降雨量均高于 100 mm，远远大于其他地区(图 4)。

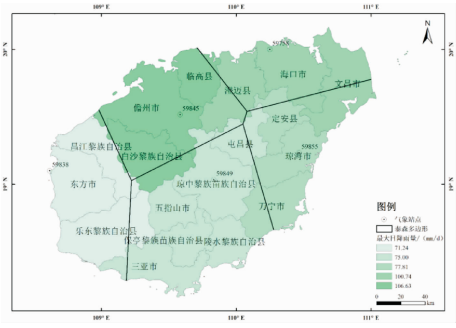


图 4 海南省平均最大日降雨量分布图

从海南省台风过境时的平均极大风速来看，北部海口、文昌和澄迈县最大，超过 20 m/s；西部东方和乐东黎族自治县平均极大风速排第二，也达到 19.13 m/s；东南部定安、琼海和万宁市平均极大风速居中，为 16.45 m/s；西北部儋州、临高和白沙黎族自治的平均极大风速较小，为 14.00 m/s；中南部琼中黎族自治县、陵水黎族自治县和三亚市等平均极大风速最小，为 13.74 m/s。可见，北部和西部地区的平均极大风速与其他地区相比更大。(图 5)

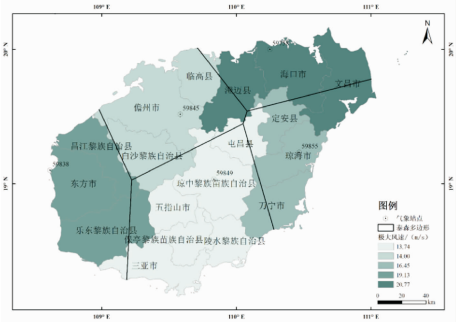


图 5 海南省平均极大风速分布图

3.1.4 台风致灾因子指数空间分布特征

根据台风致灾因子指数模型，发现海南省各市(县)台风危险性空间分布有显著差异(图 6)，数值范围在 0.08 ~ 0.92 之间。北部地区致灾因子指数较高，西部和南部数值较低。其中，文昌、海口和澄迈县致灾因子指数最大，在 0.65 ~ 0.92 之间，台风灾害危险性最高，近 5 年间，台风过境时间长，且最大日降雨量和极大风速高；儋州、临高和白沙县台风灾害危险性处于较高水平，取值为 0.44 ~ 0.64，也是台风过境的主要区域，且日降雨量大，但极大风速较低；万宁、琼海和定安县台风致灾因子指数为 0.29 ~ 0.43，处于中等水平，虽然是台风登陆和过境较长的区域，但台风过境时降雨和风速等级为中等；东方和屯昌等市(县)台风灾害危险性处于较低水平，致灾因子指数为 0.11 ~ 0.28，在台风过境时主要是风速较高，过境时长和降雨量较小；五指山和三亚等市(县)台风致灾因子指数最低，仅为 0.08 ~ 0.10 之间，各致灾因子数值都很低，因此其台风灾害危险性也最小。

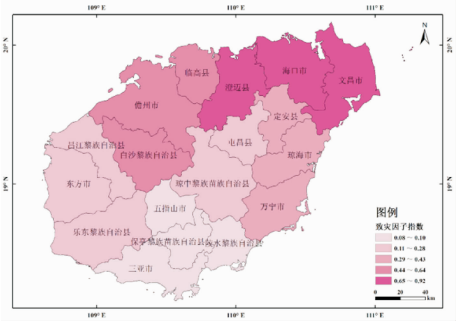


图 6 海南省台风致灾因子指数分布图

3.2　海南省台风灾情评估

3.2.1　历次台风灾情分析

不同年份间台风所造成的损失差异显著(表2)。其中2014年致灾台风所造成的死亡人数最多、农作物受灾面积最大、倒塌房屋间数最多、直接经济损失也最高，是5年中损失最为严重的一年。这与当时所登陆的台风强度较大有密切联系，2014年第9号超强台风“威马逊”在文昌登陆，其中心附近最大风力17级，海南大部分地区普降暴雨。而之后的几年，由于台风强度稍弱，并且政府采取有效措施，人们的防灾减灾意识增强，海南省登陆的致灾台风频次虽增加，但造成的损失较2014年相比要小。

2014-2018年间，不同台风所造成的死亡人数差异较大(图7)。在影响海南省的16个致灾台风中，共有3个造成人员死亡，分别是1409、1415和1608号台风，分别造成26人、1人和5人死亡。而其他台风则未造成人员死亡。2014-2018年间，单个台风所造成的死亡人数呈现出下降的趋势。5年间16个致灾台风给海南省共造成直接经济损失达274.33亿元，平均每个致灾台风造成的经济损失为16.14亿元。高于损失平均值的致灾台风共4个，分别是1409、1415、1608和1621号。就单个台风造成的直接经济损失来看，1409号、1415号和1621号分别以119.11、57.84、45.59亿元位居前列，其他台风所造成的直接经济损失相对较小。总体上，随着时间的推移，单个台风所造成的直接经济损失成波动下降的趋势(图8)。基于ATDI指数表征的海南省历次台风灾害灾情大小，得到历次台风ATDI指数，范围为0～7.94。2014年和2016年是台风灾害最为严重的两个年份，其中1409号台风ATDI指数高达7.94，1415号、1608号和1621号台风的ATDI指数也高于6。2018年台风灾害损失中等，2015年和2017年ATDI指数均小于3，台风灾害较轻。从趋势上看，影响海南省台风的灾情指数呈逐渐减小的趋势。

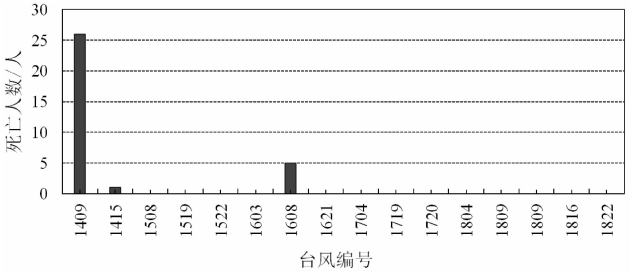


图7　2014-2018年间历次致灾台风死亡人数序列

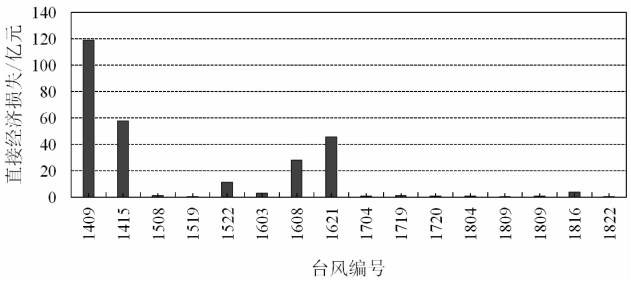


图8　2014-2018年间历次致灾台风直接经济损失序列

3.2.2　多年平均历史灾情空间分析

计算*HDI*指数，发现海南省历史灾情空间分布差异显著(图9)。北部和西北部台风灾害损失较为严重，中南部损失较轻。其中文昌市历史灾情指数高于11，台风灾害损失最高，近5年间，死亡11人，倒塌房屋2.26万间，直接经济损失71亿元。海口、澄迈和临高等市(县)灾害损失较高，灾情指数高于7.21，共死亡20人、农作物受灾52万hm^2，直接经济损失126亿元，但房屋损失较小。万宁、琼海和儋州等市(县)灾情指数在5.48～7.2之间，台风灾害损失中等，近5年间，农作物受灾18.55万hm^2，直接经济损失58.17亿元，房屋损失很小。五指山、保亭和琼中等市(县)历史灾情指数在5.01～5.47之间，台风灾害损失较低，农作物受灾3万hm^2，直接经济损失8.64亿元。东方、三亚和陵水黎族自治县历史灾情指数小于5，各灾情指标受损都小，台风灾害损失最低。

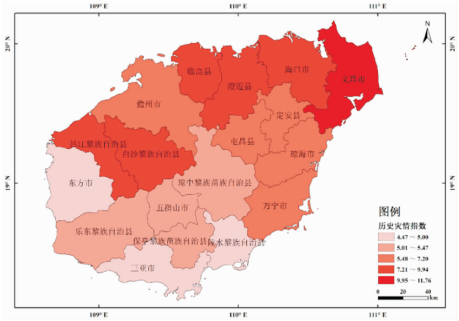


图9　海南省台风历史灾情指数空间分布图

3.3　台风灾情与致灾因子的关系

3.3.1　历次台风灾情与致灾因子关系

台风所带来的大风和暴雨是台风的两个主要致灾因子。通过分析历次台风灾情指数与相对应的台风所引起的大风和降雨量的关系，表明：最大日降雨量和极大风速与灾情指数的相关系数分别为0.88、0.74，在0.01水平上显著相关。具有很好的正相关关系(图10)，即台风暴雨和大风强度增大时，灾害损失严重程度也越大。历次台风灾情指数ATDI与台风强度和登陆时长的相关系数

分别为 0.626 和 0.553，在 0.05 水平上显著相关。ATDI 指数与台风强度和持续时长存在正相关关系，但与最大日降雨量和极大风速相比要偏低。这表明，台风本身强度的高低与其过境时带来的降雨和大风尚有一定差异，因此，要加强过境时暴雨和大风的监测与预警预报能力，采取有效措施减少台风灾害造成的损失。

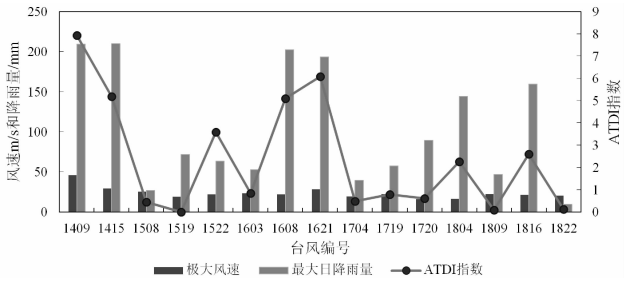


图 10 历次台风灾情指数与极大风速、最大日降雨量的关系

3.3.2 多年平均历史灾情与致灾因子的关系

通过分析海南省各市(县)的台风灾害损失情况与台风致灾因子指数的关系，二者相关系数为 0.76，在 0.01 水平上显著相关，并且表现出较强的空间一致性(图 6，图 9)。海南省北部文昌、海口和临高等市(县)台风致灾因子指数均较高，历史灾情指数为中等以上水平，灾害损失严重。东部万宁、琼海和定安县致灾因子危险性和实际灾情一致，均为中等水平。除昌江县外，中南和西部各市(县)台风致灾因子处于较低和最低水平，台风灾害损失也较低；昌江县致灾因子危险性虽较低，但灾情指数较高。受台风影响，5 年间，共死亡 5 人、农作物受灾 3.57 万 hm^2、直接经济损失 9.17 亿元，但其人口总数较少，耕地面积小，因此灾损率较高，损失较为严重。

由于不同致灾因子对灾情影响存在差异，因此，灾情指标损失程度也不尽相同。计算灾情指标的相对值，发现 5 年间台风对人口、房屋、农作物和经济等指标的影响有明显差异。农作物受灾是最主要灾情，相对值为 0 ~ 1，海口受灾最严重，其余市(县)均不同程度受影响；其次为直接经济损失，取值为 0 ~ 0.09，文昌和澄迈县受灾较严重；再次是人员死亡，取值为 0 ~ 0.04，文昌、昌江和白沙等市(县)受灾较严重；影响最小的为房屋倒损，相对值小于 0.01，仅文昌受灾较严重。

总体上，海南省历史灾情与致灾因子有显著的正相关关系。致灾因子危险性高值区，灾情损失较严重；危险性较低，灾情损失则较轻。但致灾因子危险性相近的区域，灾害损失存在差异。如：儋州、临高和白沙县，三者均处于较高危险性水平，但儋州实际灾情损失要小；其人均 GDP 为 5.69 万元，万人拥有医疗机构床位数 44.17 张，人均道路面积 7.48 m^2，与临高和白沙县相比，经济发展水平较高，基础设施较完善，防灾减灾投入较大，防灾救灾能力较强。因此，台风致灾因子危险性较高或位于沿海的各市(县)应加强台风监测与预警预报能力，并提高基础设施及工程的防御能力，增强防台减灾能力，降低灾害损失，实现可持续发展。

4 结论与讨论

基于 2014-2018 年海南省气象、台风灾情及社会经济数据，构建台风致灾因子与灾情评估模型，揭示台风致灾因子和灾情的时空分布特征及两者关系，结果表明：

(1)影响海南省的台风平均每年 3.2 个，主要集中在 7-9 月份，强度中等偏弱，频数总体呈较慢增长趋势。海南省台风过境时长、暴雨和大风强度等各致灾因子呈现一定的差异，综合计算的致灾因子指数表明，北部台风致灾因子危险性指数较高，西部和南部数值较低。其中，文昌和海口市危险性最高；五指山和三亚市危险性最低。

(2)历次台风 ATDI 指数表明 2014 年和 2016 年是台风灾害最为严重的两个年份，总体是台风对海南省造成的损失呈减弱的趋势。历史灾情指数 HDI 发现海南省历史灾情空间分布差异显著，东部和北部地区台风灾害损失较严重，中部和南部地区损失较轻。其中，文昌和海口市台风灾害损失较大，万宁、琼海和儋州市台风灾害损失中等；陵水和三亚市台风灾害损失最小。

(3)台风致灾危险性和灾情损失存现显著的相关关系。历次台风灾情指数与最大日降雨量和极大风速的相关系数分别为 0.878、0.739，二者强度直接影响台风灾情损失的大小。历史灾情指数与致灾因子指数的相关系数为 0.76，二者呈现较好的相关性。致灾因子危险性较高的各市(县)，灾害损失较大；反之，灾害损失较小。防灾减灾能力的高低也影响了台风实际造成的损失。

本研究选用 2014-2018 年气象、台风灾情及社会经济数据，数据时长相对较短，但仍可以剖析台风致灾因子和灾情的时空分布特征，揭示二者的联系，探讨台风致灾因子强度差异对实际造成灾情损失大小的影响程度，对区域定量评估台风风险，制定针对性的防台减灾政策，改进灾害管理水平具有科学的现实指导作用。

参考文献：

[1] Vickery P, Skerlj P, Twisdale L. Simulation of hurricane risk in the U. S. using empirical track model [J]. Journal of Structural

Engineering, 2000, 126(10): 1222-1237.
[2] Batts M, Simiu E, Russell L. Hurricane wind speeds in the United States [J]. Journal of the Structural Division, 1980, 106(10): 2001-2016.
[3] Darling R W R. Estimating probabilities of hurricane wind speeds using a large-scale empirical model [J]. Journal of Climate, 1991, 4(10): 1035-1046.
[4] Lee K H, Rosowsky D V. Synthetic hurricane wind speed records: development of a database for haza-rd analyses and risk studies [J]. Natural Hazards Review, 2007, 8(2): 23-34.
[5] Phadke A C, Martino C D, Cheung K F, et al. Modeling of tropical cyclone winds and waves for emergency management [J]. Ocean Engineering, 2003, 30(4): 553-578.
[6] Klawa M, Ulbrich U. A model for the estimation of storm losses andthe identification of severe winter storms in Germany [J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2003, 3: 725-732.
[7] HUANG Z, Rosowsky D V, Sparks P R. Long-term hurricane riskassessment and expected damage to residential structures [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2001, 74: 239-249.
[8] 丁燕，史培军．台风灾害的模糊风险评估模型[J]．自然灾害学报，2002(1)：34-43.
[9] 陈楷俊，陈艺仪，陈菁．近 30 年粤东地区台风灾害风险评估与分析[J]．水土保持研究，2019，26(3)：362-366，372.
[10] 牛海燕，刘敏，陆敏，等．中国沿海地区台风致灾因子危险性评估[J]．华东师范大学学报(自然科学版)，2011(6)：20-25，35.
[11] 陈文方，徐伟，史培军．长三角地区台风灾害风险评估[J]．自然灾害学报，2011，20(4)：77-83.
[12] 张忠伟，张京红，赵志忠，等．基于 GIS 的海南岛台风灾害致灾因子危险性分析[J]．安徽农业科学，2011，39(11)：6587-6590.
[13] 朱婧，陆逸，李国平，等．基于县级分辨率的福建省台风灾害风险评估[J]．灾害学，2017，32(3)：204-209.
[14] 陈佩燕，杨玉华，雷小途，等．我国台风灾害成因分析及灾情预估[J]．自然灾害学报，2009，18(1)：64-73.
[15] 马清云，李佳英，王秀荣，等．基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型[J]．气象，2008(5)：20-25.
[16] 张颖超，范金平，邓华．基于加权 TOPSIS 法的浙江省抗台风减灾能力评估[J]．灾害学，2013，28(4)：74-80.
[17] 雷小途，陈佩燕，杨玉华，等．中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法[J]．气象学报，2009，67(5)：875-883.
[18] 赵飞，廖永丰，张妮娜，等．登陆中国台风灾害损失预评估模型研究[J]．灾害学，2011，26(2)：81-85.
[19] 陈燕璇，刘合香，谭金凯．基于等距特征映射降维的台风灾情概率神经网络预评估模型[J]．灾害学，2016，31(3)：20-25，30.
[20] 孟菲，康建成，李卫江，等．50 年来上海市台风灾害分析及预评估[J]．灾害学，2007，23(4)：71-76.
[21] 顾小丽，陈有利，钱燕珍，等．宁波市台风灾情评估和基于层次分析法的风险评估[J]．热带气象学报，2018，34(4)：489-498.
[22] 钱燕珍，何彩芬，杨元琴，等．热带气旋灾害指数的估算与应用方法[J]．气象，2001(1)：14-18，24.
[23] 牛海燕，刘敏，陆敏，等．中国沿海地区台风灾害损失评估研究[J]．灾害学，2011，26(3)：61-64.
[24] 王秀荣，王维国，马清云．台风灾害综合等级评估模型及应用[J]．气象，2010，36(1)：66-71.
[25] 陈小丽．海南热带气旋年际变化与趋势预测[J]．热带气象学报，2000(4)：360-365.
[26] 万金红，张葆蔚，杨向权，等．海南省台风灾害特征分析[J]．人民珠江，2016，37(1)：45-48.
[27] 刘少军，张京红，蔡大鑫，等．台风过程引发洪涝灾害的风险评估--以海南岛为例[J]．自然灾害学报，2010，19(3)：146-150.
[28] 殷洁，戴尔阜，吴绍洪，等．中国台风强度等级与可能灾害损失标准研究[J]．地理研究，2013，32(2)：266-274.
[29] 冯利华．灾害损失的定量计算[J]．灾害学，1993，8(2)：17-19.

Spatio-temporal Correlation Analysis of Typhoon Characteristics and Disaster Assessment in Hainan Province

LIU Fangtian[1,2] and XU Erqi[1]

(1. *Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100101, *China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: By using the meteorological data, typhoon disasters data and socio-economic data of Hainan Province in 2014-2018 to construct the typhoon hazard factor index and disaster assessment index of Hainan Province, the spatio-temporal distribution characteristics and relationship are revedlle. The results show that in recent years, the typhoon mainly occurred in 7-9 month, and the intensity is moderately weak; the hazard factor index of each city (county) is between 0.08 and 0.92, and the highest risk value is distributed in Wenchang, Haikou and Chengmai County, and the losses in the south of Hainan Province is relatively small. The correlation coefficients between the typhoon disaster index and the maximum daily rainfall, extreme wind speed, typhoon intensity and duration of typhoon are 0.88, 0.74, 0.63 and 0.55. The correlation coefficient between historical disaster index and hazard factor index is 0.76, which shows good correlation and spatial consistency.

Key words: typhoon; hazard factors; disaster assessment; spatio-temporal correlation; Hainan Province