

曾玲, 阮可照, 梁筱仪, 伊帕尔古丽·衣明, 卢俞君, 吴卓. 台风灾害对农业影响的风险分析——以阳江市为例 [J]. 广东农业科学, 2020, 47(10): 158-165.

台风灾害对农业影响的风险分析 ——以阳江市为例

曾玲, 阮可照, 梁筱仪, 伊帕尔古丽·衣明, 卢俞君, 吴卓
(广州大学地理科学与遥感学院, 广东广州 510006)

摘要:【目的】通过研究超级台风“山竹”对阳江市农业影响的风险分析, 定量识别灾害对农业影响的重要驱动因子, 为预防台风灾害和灾后重建工作提供参考。【方法】在 GIS 技术支持下, 采用自然灾害风险指数法和加权综合评价法, 建立台风与农业生产相关的敏感性、暴露性和抗灾能力的综合风险评价模型, 完成台风灾害对农业影响的风险区划; 基于地理探测器方法定量识别台风灾害对区域农业影响的重要驱动因子。【结果】阳江市台风灾害农业最高风险区、较高风险区和中等风险区的面积分别占研究区农业生产面积的 0.52%、0.06% 和 13.55%, 较低风险和最低风险共占 85.87%; 敏感性、暴露性、抗灾能力 3 个驱动因子对灾害风险指数的影响 q 值依次为 0.12、0.04、0.07, 敏感性因子和抗灾能力因子共同作用时对灾害风险指数的影响为 0.24。【结论】台风灾害对农业影响风险等级由沿海向内陆逐渐减小, 且风险指数与地形关系密切, 沿海及地势平坦的种植业区和渔业区风险指数较高, 北部山林的风险指数相对较低; 敏感性、抗灾能力、暴露性 3 个因子对风险指数的影响依次减弱, 不同驱动因子对风险指数的影响程度及空间特征存在显著差异, 驱动因子两两共同作用时会使风险指数增大。

关键词: 台风灾害; 农业风险指数; 风险分析; 地理探测器; 阳江市

中图分类号: S424

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2020)10-0158-08

Risk Analysis on the Impact of Typhoon Disaster to Agriculture —A Case Study of Yangjiang City

ZENG Ling, RUAN Kezhao, LIANG Xiaoyi, IPARGVL Imin, LU Yujun, WU Zhuo
(School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: 【Objective】The research is to analyze the risk of the impact of super typhoon “Mangkhut” on the agriculture of Yangjiang City. Specifically, the important factors of typhoon disasters influencing the agriculture were quantitatively identified to provide references for the prevention of typhoon disasters and the work of post-disaster reconstruction. 【Method】With the support of GIS, the natural disaster risk index and the weighted comprehensive evaluation method are used to establish a comprehensive risk assessment model for the impact of typhoon on agricultural production to carry out typhoon risk zoning. The model covers sensitivity, exposure and disaster resistance. In addition, the important driving factors of the impact of typhoon disasters on regional agriculture were quantitatively identified based on the geographic detector method. 【Result】The areas of the highest agricultural risk area, higher risk area and medium risk area of typhoon disaster in Yangjiang City account for 0.52%, 0.06%, and 13.5% of the area of agricultural production in the study

收稿日期: 2020-05-29

基金项目: 广东省林业科技创新重点项目(2018KJCX013)

作者简介: 曾玲(1998—), 女, 在读本科生, 研究方向为土地资源评估与管理, E-mail: 1982523096@qq.com

通信作者: 吴卓(1988—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为气候变化与区域生态响应, E-mail: wuzhuo@gzhu.edu.cn

area, respectively. Totally, the areas of lower risk area and the lowest risk area account for 85.87% of the area of agricultural production. The q value of the influence of the three driving factors of sensitivity, exposure, and disaster resistance on the disaster risk index is 0.12, 0.04, and 0.07, respectively. The q value of the combined effect of sensitivity factor and disaster resilience factor on disaster risk index is 0.24. 【Conclusion】The typhoon disaster risk level decreases gradually from the coast to the inland, and is closely related to the terrain. The risk index of flat cropping and fishing areas along the coast and hinterland is high and that of the northern forests is relatively lower. The sensitivity has the greatest influence on the risk index, followed by disaster and exposure. There are significant differences in the degree of influence and spatial characteristics of different driving factors on the risk index, and the combination of every two driving factors will increase the risk index.

Key words: meteorological disaster; agricultural risk index; risk analysis; geographic detector; Yangjiang City

【研究意义】在全球气候变暖背景下, 台风等极端天气气候事件的频率和强度呈增加趋势, 台风灾害已经成为我国沿海地区近年来面临的重大自然灾害之一^[1-3], 给沿海地区造成了巨大的经济损失和安全威胁。沿海地区的农业更是台风灾害相对敏感的承灾体^[2]。开展台风灾害对沿海地区农业影响的研究, 对保障区域粮食安全和人民生活稳定具有重要意义, 对区域重大气象灾害风险防范提供一定的技术支撑。【前人研究进展】台风灾害风险评估是对灾害的损失进行估算与测算, 为确定台风灾害影响程度、减灾和灾后恢复提供理论依据。迄今为止, 不同学者从不同的侧重点提出了很多台风灾害风险评估的方法。例如, 叶金玉等^[3]通过建立基于地理空间参数的多元线性回归模型分析中国沿海地区的台风灾害暴露性; 陈香^[4]运用加权综合评价法和灾害风险指数法对福建省的台风灾害风险进行评估; 朱婧等^[5]结合多指标综合评价方法和主成分分析法进行福建省台风灾害风险评估; 林江豪等^[6]通过建立基于BP神经网络和空间向量模型(VSM)相结合的台风灾害经济损失评估模型, 对1988—2008年广东省的台风灾害经济损失开展风险评估。这些研究更加侧重灾害指数的构建和综合评估模型的建立, 是对区域灾害风险的综合评价。此外, 一些学者更加注重实地调研工作, 通过抽样调查和统计分析来量化台风灾害的影响程度。例如, 魏玉晗等^[7]实地抽样调查分析台风“山竹”过后广州市树木受损情况, 探究台风对城市园林景观的损害; 郭子燕等^[8]基于2016年9月16日1614号台风对厦门绿地的严重影响, 通过对台风现场实地调研, 了解厦门重要园林树种的受害状况; 田韞钰等^[9]以深圳市区绿地中的乔木为研究对象, 采用相关统计方法以及生物量评估方法, 探讨台

风“山竹”对深圳市区绿地的影响。【本研究切入点】目前, 学者和公众关注焦点主要集中在城市, 尤其是人口集聚相对集中的大中型城市的台风灾害风险研究, 而对农村及农业的影响研究还较少, 且对于台风灾害对区域农业影响的驱动机制尚未清晰^[10]。因此, 本研究以阳江市为研究区, 从台风灾害的成因机制与扩散特征出发, 建立与农业生产相关的敏感性、暴露性和抗灾能力3方面的台风灾害综合风险评价模型, 分析台风灾害对农业影响的风险及驱动力。【拟解决的关键问题】识别台风灾害对农业影响的重点风险区及台风灾害对阳江市农业影响的重要驱动因子, 期为农业健康稳定发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阳江市位于广东西南沿海, 紧邻珠三角, 北与罗定市、新兴县和信宜市接壤, 南靠南海, 西连高州市、电白区, 东与恩平市、台山市交界, 国土面积800 520 hm^2 , 海岸线总长度458.6 km, 主要岛屿(大于0.05 hm^2 的海岛)40个。该区属亚热带季风气候, 雨水分布不均, 夏秋多台风, 渔业和种植业是阳江市农业的两大支柱性产业, 合计占农业总产值的74%; 山地、丘陵和平原的面积分别占41.97%、25.57%和21.77%, 森林覆盖率达59.28%, 地势由北向南倾斜, 东南地势低平, 台风容易从东南沿海一侧登陆。

台风“山竹”是2018年登陆我国的最强台风。据国家应急管理部统计, 阳江市超过6 666.67 hm^2 农作物遭受台风“山竹”侵袭, 是广东此次台风灾害中受灾最重的地区, 全市6个县(市、区)48个镇(街道)15.82万人受灾, 直接经济损失7.3537亿元。其中, 阳春市直接经济损失达

4.7 亿元；江城区全区 10 个街道农作物受灾面积 1 966.67 hm²，水产养殖受损面积 113.33 hm²，损坏堤防边坡 200 多 m、水闸 5 座，全区直接经济损失约 4 000 万元；岗列街道有 417.07 hm² 农作物受灾，2 处灌溉水利设施损坏，不少树木倒塌，受灾严重。

1.2 数据来源

台风“山竹”路径、风圈半径、每小时最大风速等数据来自中央气象台台风网（http://typhoon.nmc.cn），降水量数据源于中国气象局官网（http://www.cma.gov.cn）。

2017 年阳江市各区的淡水养殖面积和果林面积，以及 2012—2017 年阳江市各区的粮食产量、淡水养殖产量和水果产量数据来自 2014—2018 年《阳江市统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 自然灾害风险指数法 一定区域自然灾害风险通常是由危险性（Hazard）、暴露性（Exposure）、脆弱性（Vulnerability）以及抗灾减灾能力（Resistance）4 个重要因素相互作用而形成的^[11]。本研究所建立的台风灾害对农业综合风险评价模型包括台风灾害孕灾环境和致灾因子的敏感性、农业承灾体的暴露性和抗灾能力三大指标体系。计算台风灾害农业风险指数：

$$TDA_i = S_i \times \frac{E_i}{R_i}$$

式中， TDA_i 为 i 地区台风灾害农业风险指数，数值越大表示灾害风险越大； S_i 、 E_i 和 R_i 分别为 i 地区的灾害敏感性、暴露性、抗灾能力。

敏感性指标取决于大风和暴雨两个重要台风灾害致灾因子。农作物对台风灾害的敏感性程度越高，茎叶、授粉情况越易受到不良影响，土壤剥蚀

越严重，使农作物容易倒伏，树干折损^[2, 12-13]。结合文献的权重设置，台风灾害对农业综合风险评价模型中的敏感性计算公式如下^[14]：

$$p = \frac{E-25}{50} \quad (\text{若 } E < 25, p=0)$$

$$q = \frac{r-13.6}{3.8} \quad (\text{若 } r < 13.6, q=0)$$

$$S_i = A_p + B_q$$

式中， S_i 为某气象站风雨综合强度指数，数值越大表示敏感性越大； E 为气象站过程降水量（mm）， r 为气象站过程极大风速（m/s）； A 、 B 分别为降水、风速权重系数，分别取 0.6542 和 0.6848； p 、 q 分别为经过订正后的台风过程降水量与最大风速。

暴露性指标由种植业暴露性、渔业暴露性、林业暴露性分等定级结果加权综合得出。基于 GIS 技术提取 2015 年阳江市土地利用数据中的水田和旱地、坑塘水面、果林分别为种植业、渔业、林业暴露区；综合考虑 2018 年《阳江市统计年鉴》中淡水养殖业、果林面积等数据确定暴露性等级分级标准（表 1），等级越高，暴露性程度越强。

抗灾能力指标综合考虑防风林抵抗力和旱涝保收抵抗力得出。提取 2015 年阳江市土地利用数据中的相关林地，计算 2012—2017 年间各行政区种植业、林业和渔业的年单产标准差，综合衡量农业生产设施抵挡台风的摧毁能力，共同确定抵抗力等级分级标准（表 2）。台风灾害对农业综合风险评价模型中的抗灾能力计算公式为：

$$R_i = F_i \times W_c \times H_i \times W_d$$

式中， R_i 为 i 地区农业抗灾能力，数值越大表示抗灾能力越强； F_i 、 H_i 分别表示 i 地区的防风林抵抗

表 1 暴露性等级分级标准
Table 1 Classification standard for exposure level

暴露性等级 Exposure level	种植业 Planting industry			渔业 Fishery industry			林业 Forestry industry		
	土地利用类型 Land use type	暴露程度 Exposure degree	等级 Level	淡水养殖面积 Freshwater aquaculture area (hm ²)	暴露程度 Exposure degree	等级 Level	果林核密度值 Kernel density of fruit forest	暴露程度 Exposure degree	等级 Level
1	其他用地	不暴露	1	0	不暴露	1	无	不暴露	1
2	其他用地	不暴露	1	70	极少暴露	2	0~3402136	极少暴露	2
3	其他用地	不暴露	1	2296	较少暴露	3	3402137~9657677	较少暴露	3
4	其他用地	不暴露	1	2480	中等暴露	4	9657678~17339920	中等暴露	4
5	其他用地	不暴露	1	2616	较多暴露	5	17339921~27985314	较多暴露	5
6	水田旱地	暴露	2	5141	最暴露	6			

表 2 抵抗力等级分级标准
Table 2 Classification standard for resistance

抵抗力等级 Resistance level	抵抗力程度 Resistance	防风林 Windproof forests	旱涝保收 Drought and waterlogging with stable yields		
			种植业 Planting industry	渔业 Fishery industry	林业 Forestry industry
1	无	其他用地	0.00	0.00	0.00
2	最弱	其他林地	18.75	2.17	132.39
3	较弱	疏林地	18.43	1.15	32.74
4	中等	灌木林地	13.87	1.04	32.11
5	较强	有林地	13.43	0.68	22.27
6	最强		10.60	0.38	16.35

力和旱涝保收抵抗力； W_c 、 W_d 分别为防风林抵抗力和旱涝保收抵抗力的权重，均取值 0.5。

1.3.2 地理探测器 地理探测器是一种识别多因子之间交互作用的模型，同时也是探测某一现象的时空分布，揭示其背后驱动力的一组统计学方法^[15]。其基本思想是以假设研究区分为若干子区域为基础，若区域总方差大于子区域的方差之和，则存在空间分异性；如果两变量的空间分布趋于一致，则两者存在统计关联性^[16-18]。本研究借助因子探测分析敏感性、暴露性以及抗灾能力 3 个驱动因子分别在多大程度解释 *TDA* 的空间分异以及探测 *TDA* 的空间分异性；交互作用探测用以识别多两因子或多因子共同对 *TDA* 有影响时的作用是否会增加或减弱这种影响，用生态探测判断两因子共同作用时对 *TDA* 的空间分布是否具有显著差异^[15]。

2 台风灾害综合风险及其驱动力分析

2.1 区域敏感度

基于 GIS 技术分析台风灾害发灾场、台风登陆地点、移动路径、风圈半径等台风自然孕灾环境^[19]。明确山竹台风对阳江的影响范围以及不同地区的受灾程度，计算区域敏感度，得出其受灾敏感程度，编绘成“山竹”台风风圈及对阳江市敏感度专题图（图 1）。由图 1 可知，阳东区 and 江城区为最敏感区域，阳西县为中度敏感区域，阳春市为最不敏感区域。可见，距离台风登陆点越近，台风过境时最大降水量和最大风速越大，农业受台风灾害影响越严重。

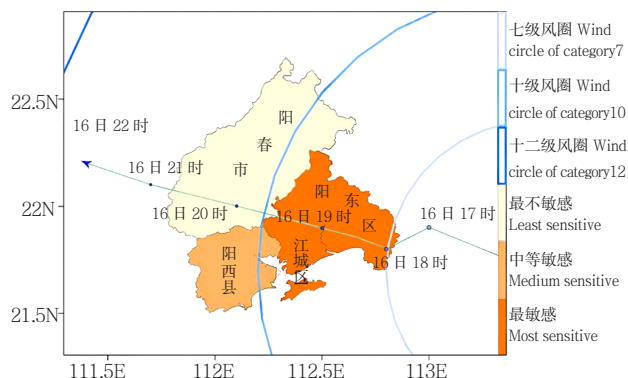


图 1 “山竹”台风路径、风圈影响范围及阳江市对其敏感程度

Fig. 1 Path and wind circle influence range of Typhoon Mangkhut and the sensitivity of Yangjiang City to Typhoon Mangkhut

2.2 承灾体暴露性

阳江市的种植业暴露区主要分布于从东北至西南以及南部沿海的平原地带（图 2）；渔业暴露区以阳西县、江城区靠近南部沿海地区的连片鱼塘和北部阳春市淡水养殖区为主；果林主要分布在山地丘陵地带，且整体呈现西北多东南少的分布特点，尤其是阳春市的西部林业规模较大，暴露程度高，易受台风摧残。

全市的农业暴露图（图 2D）显示，平原及地势相对低洼的区域暴露级别最高，因此台风容易

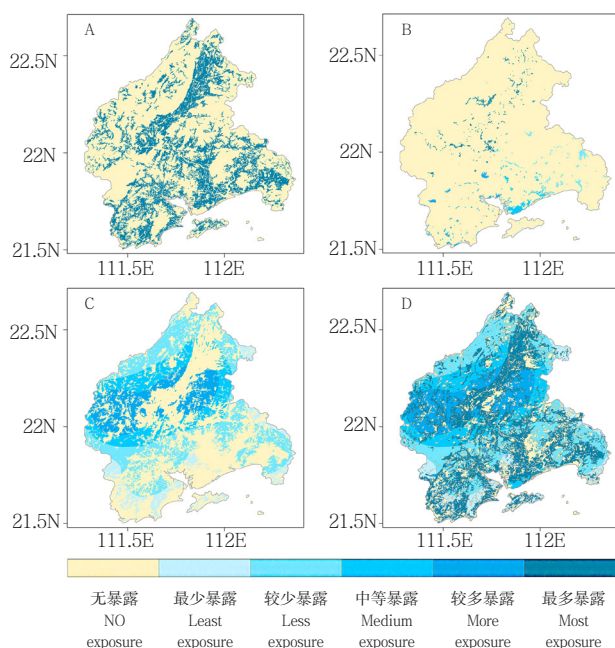


图 2 阳江市种植业 (A)、渔业 (B)、林业 (C) 以及农业 (D) 暴露程度

Fig. 2 Exposure degree of planting industry (A), fishery industry (B), forestry industry (C) and agriculture (D) in Yangjiang City

从海上长驱直入。这些区域不仅面临农作物倒伏、生产设施被吹倒等风灾侵袭，还要经受暴雨可能引发的山洪内涝等水灾侵袭，在台风灾害中暴露程度极高。其次，林业面积广阔，难以采取全方位的防风措施，台风必然影响果树正常生长发育，重创果农当年的经济收入。

2.3 承灾体抵抗力

防风林的台风抵抗力与树木郁闭度、树干抗风能力、树木高度等有关，有林地的防风效果相对较好。由图 3 可知，阳江市西北偏远山区的防风林条件较理想，抵抗力最强，南部沿海的防风林抵抗力最弱，最难削弱台风及其次生灾害带来

的影响；旱涝保收抵抗力以江城区最弱，海陵岛四面环海，江城区整体地势平坦，而且过去几年间农产品的单产波动大，受台风等自然灾害影响明显。整体抵抗力以北部的阳春市抵抗力最强，南部沿海地区的抵抗力较弱。

2.4 农业风险指数

基于敏感性、暴露性和抗灾能力三大指标体系建立的台风灾害对农业综合风险评价模型计算得到农业风险指数并编绘成风险区划图（图 4）。由图 4 可知，阳江市沿海地区尤其是江城区风险指数最高，其次是靠近沿海地区且腹地平坦的种植业区和渔业区，北部山林的风险指数相对低一

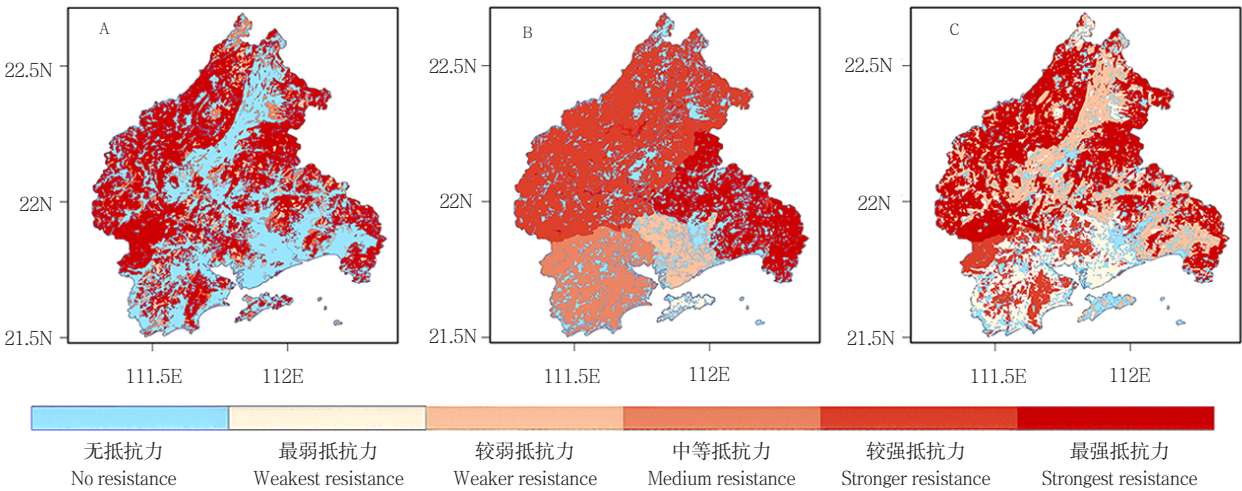


图 3 阳江市防风林 (A)、旱涝保收 (B) 以及农业 (C) 抵抗力程度
Fig. 3 Resistance degree of windbreak (A), drought and waterlogging with stable yields (B) and agriculture (C) in Yangjiang City

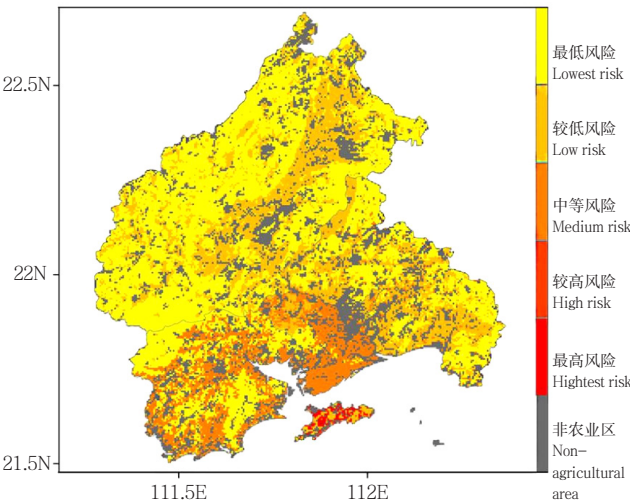


图 4 阳江市台风灾害农业风险指数分布区域
Fig. 4 Distribution of agricultural risk index of typhoon disaster in Yangjiang City

些，即江城区、阳西县、阳东区、阳春市的农业风险指数依次递减。其中，最高风险区域面积 3 308.10 hm²、占研究区农业生产面积的 0.52%，较高风险区域面积 368.67 hm²、占 0.06%，中等风险区域面积 86 059.56 hm²、占 13.55%，较低风险区域面积 184 054.27 hm²、占 28.97%，最低风险区域面积 361 390.72 hm²、占 56.90%。

2.5 驱动因子分析

地理探测器模型的因子探测分析表明，敏感性、暴露性以及抗灾能力3个驱动因子的解释程度大小表现为敏感性（0.12）>抗灾能力（0.07）>暴露性（0.04），即敏感性对台风灾害农业风险指数（TDA）影响最大，台风大风和暴雨强度越大，农作物、渔业等农业较敏感，易

遭受破坏, 从而造成农作物、人员以及基础设施巨大的经济损失风险。阳江市林地面积占比较大, 防风林具有抵御大风的能力, 旱涝保收表征农业方面抵抗自然灾害的能力, 抗灾能力在很大程度上能削弱对 *TDA* 的影响。

交互作用探测分析显示, 敏感性驱动因子对 *TDA* 的影响 (即 q 值) 为 0.12, 抗灾能力驱动因子对 *TDA* 的影响为 0.07, 敏感性因子和抗灾能力因子共同作用对 *TDA* 的影响为 0.24, 即敏感性因子和抗灾能力因子共同作用加强了对 *TDA* 的影响 (表 3)。因此, 敏感性、暴露性以及抗灾能力 3 个驱动因子两两交互作用均大于单独一种因子对 *TDA* 的影响, 呈现非线性增强关系, 如台风大风和暴雨强度大的水田、旱地、坑塘水面、林地, 其风险指数越大。

生态探测采用显著性水平为 0.05 的 t 检验, 结果 (表 3) 表明, 敏感性与抗灾能力对 *TDA* 空间分布的影响存在显著差异, 敏感性与暴露性对 *TDA* 空间分布的影响亦存在显著差异, 而抗灾能力与暴露性的 *TDA* 空间分布基本一致。

表 3 “山竹” 台风的农业风险指数因子探测、交互作用探测及生态探测结果

Table 3 Result of factors, interaction and ecology detection of Typhoon Mangkhut to agriculture risk index

驱动因子 Driving factors	敏感性 Sensitivity	抗灾能力 Disaster resistance	暴露性 Exposure
敏感性 Sensitivity	0.12 (q 值)		
抗灾能力 Resistance	0.24 (Y)	0.07 (q 值)	
暴露性 Exposure	0.21 (Y)	0.18 (N)	0.04 (q 值)

注: “Y” 表示差异显著, “N” 表示差异不显著。

Note: “Y” represents significant difference, and “N” represents insignificant difference.

3 讨论

台风灾害的风险分析是灾害学、气象学等学科的热门话题, 从灾害学的角度分析, 台风导致的大风、强降雨、异常的高潮位和风暴大浪是主要灾害, 因此, 探讨致灾因子强度和灾害承受体脆弱性的相关关系, 是进行台风风险分析的基础^[20]。本研究根据致灾因子和孕灾环境的敏感性、承灾体暴露性以及抗灾能力, 构建台风灾害

对农业影响综合风险评价模型, 借助地理探测器软件分析敏感性、暴露性以及抗灾能力 3 个因子对 *TDA* 的解释力, 并基于各因子间的空间差异性对降低风险指数提出建议。刘方田等^[21]以海南省历史灾情为例, 揭示了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; 同时指出防灾减灾能力的高低也影响了台风实际造成的损失。本研究结果表明, 距离台风登陆点越近, 台风过境时的降水量和风速越大, 致灾因子强度越大, 农业受台风灾害影响越严重。承载体暴露区多分布于平原及地势相对低洼的区域, 承载体抵抗力以沿海地区最为薄弱, 与地形关系密切。地理探测器分析结果表明, 致灾因子强度和灾害承载体脆弱性都会对 *TDA* 产生影响, 它们之间呈非线性增强关系, 且致灾因子强度对 *TDA* 的影响更大。从这 3 个驱动因子的相对贡献可知, 提升抗灾能力、降低暴露性是当前有效的提高农业风险的措施, 此外, 也可以通过调控农业种植制度、农业保险等手段降低台风灾害对区域农业生产带来的损失^[22-23]。

4 结论

本研究结果表明, 台风灾害对农业影响风险涉及台风灾害和农业两个主体, 通过台风灾害风险评估和区划能够科学解释台风灾害对农业的时空分布影响; 台风灾害对农业影响风险等级由沿海向内陆逐渐减小, 但仍与地形和地表覆被的变化有密切联系; 地理探测器因子分析结果表明敏感性、抗灾能力、暴露性 3 个因子对风险指数的影响依次减弱, 驱动因子两两共同作用时会使风险指数增大。因此, 相关气象部门应重点关注台风的登陆轨迹和可能的灾害重创区, 并结合当地地形状况, 在预防台风灾害和灾害重建工作中合理分配资源, 对影响敏感性、抗灾能力、暴露性的土地利用及土地覆被类型的空间分布进行合理布局。由于驱动因子两两共同作用会使台风灾害风险指数增大, 因此须避免敏感性和暴露性分布在同一地区, 可在敏感性高的地区适当调整农业结构, 减少大面积农作物种植, 增加林地比例, 且在树种选择上尽量选择抗风性强的树种, 从而避免台风灾害对农业影响风险加剧。

参考文献 (References):

- [1] CHAN J C L, LIU K S. Global warming and western North Pacific typhoon activity on observational perspective [J]. *Journal of Climate*, 2004, 17 (23): 4590–4602. DOI: 10.1175/3240.1.
- [2] 尚志海, 曹海玲, 林妙萍, 詹惠怡. 国内农业台风灾害风险评估研究进展 [J]. *灾害学*, 2019, 34 (2): 168–172. DOI: 10.3969/j.issn.1000–811X.2019.02.030.
SHANG Z H, CAO H L, LIN M P, ZHAN H Y. Review of typhoon disaster risk assessment for agriculture in China [J]. *Journal of Catastrophology*, 2019, 34 (2): 168–172. DOI: 10.3969/j.issn.1000–811X.2019.02.030.
- [3] 叶金玉, 王舒凡, 丁凤. 基于空间参数的中国沿海地区台风灾害暴露性分析 [J]. *防灾科技学院学报*, 2019, 21 (1): 82–88. DOI: 10.3969/j.issn.1673–8047.2019.01.011.
YE J Y, WANG S F, DING F. Analysis of typhoon disaster exposure in coastal areas of China based on geospatial parameters [J]. *Journal of Institute of Disaster Prevention*, 2019, 21 (1): 82–88. DOI: 10.3969/j.issn.1673–8047.2019.01.011.
- [4] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划 [J]. *生态学杂志*, 2007 (6): 961–966. DOI: 10.3321/j.issn.1000–4890.2007.06.033.
CHEN X. Risk assessment and zonation of typhoon disasters in Fujian Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007 (6): 961–966. DOI: 10.3321/j.issn.1000–4890.2007.06.033.
- [5] 朱婧, 陆逸, 李国平, 任福民. 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. DOI: 10.3969/j.issn.1000–811X.2017.03.034.
ZHU J, LU Y, LI G P, REN F M. Risk assessment of typhoon disasters in Fujian Province of each county [J]. *Journal of Catastrophology*, 2017, 32 (3): 204–209. DOI: 10.3969/j.issn.1000–811X.2017.03.034.
- [6] 林江豪, 阳爱民. 基于 BP 神经网络和 VSM 的台风灾害经济损失评估 [J]. *灾害学*, 2019, 34 (1): 22–26. DOI: 10.3969/j.issn.1000–811X.2019.01.005.
LIN J H, JIANG A M. Assessment of economic loss of typhoon disaster based on BP neural network and VSM [J]. *Journal of Catastrophology*, 2019, 34 (1): 22–26. DOI: 10.3969/j.issn.1000–811X.2019.01.005.
- [7] 魏玉晗, 魏丹, 文才臻, 张耕, 代色平, 杨海燕. 台风灾害对广州市官粉紫荆等绿化树种的影响分析——以台风“山竹”为例 [J]. *林业与环境科学*, 2020, 36 (3): 86–91.
WEI Y H, WEI D, WEN C Z, ZHANG G, DAI S P, YANG H Y. Effect of typhoon on greening tree species such as *Bauhinia variegata* in Guangzhou and its countermeasures [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2020, 36 (3): 86–91.
- [8] 郭子燕, 柯雨沁, 李海燕, 耿红凯, 李庆卫. 基于台风危害的厦门地区园林树木受损原因研究 [J]. *中国园林*, 2020, 36 (1): 122–127. DOI: 10.19775/j.cla.2020.01.0122.
GUO Z Y, KE Y Q, LI H Y, GENG H K, LI Q W. Study on tree damage causes in Xiamen City based on typhoon hazards [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2020, 36 (1): 122–127. DOI: 10.19775/j.cla.2020.01.0122.
- [9] 田韞钰, 周伟奇, 钱雨果, 郑重, 潘雪莲. 台风“山竹”对深圳城市绿地及生物量的影响 [J]. *生态学报*, 2020, 40 (8): 2589–2598. DOI: 10.5846/stxb201903040399.
TIAN Y Y, ZHOU W Q, QIAN Y G, ZHENG Z, PAN X L. The influence of Typhoon Mangkhut on urban green space and biomass in Shenzhen, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40 (8): 2589–2598. DOI: 10.5846/stxb201903040399.
- [10] 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. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2019.03.053
CHEN K J, CHEN Y Y, CHEN J. Risk assessment and analysis of typhoon disaster in east Guangdong in the period 1989–2017 [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26 (3): 362–366, 372. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2019.03.053
- [11] 韩兴勇, 李亚琦, 岳宗胜. 我国渔业台风灾害风险评价及区划研究 [J]. *海洋开发与管理*, 2016, 33 (5): 64–69. DOI: 10.3969/j.issn.1005–9857.2016.05.013.
HAN X Y, LI Y Q, YUE Z S. On risk evaluation and zoning of typhoon disaster to fishery in China [J]. *Ocean Development and Management*, 2016, 33 (5): 64–69. DOI: 10.3969/j.issn.1005–9857.2016.05.013.
- [12] 徐凤霞, 王琛. 寿光主要气象灾害对农业生产影响及防御对策 [J]. *农业开发与装备*, 2017 (9): 72–74. DOI: 10.3969/j.issn.1673–9205.2017.09.065.
XU F X, WANG C. Effects of major meteorological disasters on agricultural production and countermeasures in Shouguang [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2017 (9): 72–74. DOI: 10.3969/j.issn.1673–9205.2017.09.065.
- [13] 徐鹏飞. 面向农业的台风灾害风险评估 [D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
XU P F. Risk assessment of typhoon disaster for agriculture [D]. Shanghai: East China Normal University, 2017.
- [14] 胡波. 基于 GIS 技术的台风灾害对农业影响风险评估与区划研究 // 第 28 届中国气象学会年会——S10 公共气象服务政策体制机制和学科建设 [C]. 厦门: 中国气象学会, 2011: 719–727.
HU B. Risk assessment and regionalization of typhoon disaster on agriculture based on GIS // The 28th annual meeting of Chinese Meteorological Society—S10 public meteorological service policy system and mechanism and discipline construction [C]. Xiamen: Chinese Meteorological Society, 2011: 719–727.
- [15] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望 [J]. *地理学报*, 2017, 72 (1): 116–134. DOI: 10.11821/dlxb201701010.
WANG J F, XU C D. Geographical detector: principle and prospect [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72 (1): 116–134. DOI: 10.11821/dlxb201701010.
- [16] 彭文甫, 叶玲, 罗艳玫, 邝婷婷, 杨存建, 徐新良. 川西北高原藏区农村贫困化分异机制探测 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40 (6): 128–139. DOI: 10.7621/cjarrp.1005–9121.20190617.
PENG W F, YE L, LUO Y M, KUANG T T, YANG C J, XU X L. Differential mechanism detection of rural poverty in northwestern

- Tibetan plateau, Sichuan Province [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019,40(6):128-139. DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20190617.
- [17] 王俊帝, 刘志强, 生昊, 邵大伟. 京津冀市域建成区绿地率时空分异特征及影响机理研究 [J]. 城市建筑, 2019,16(4):23-27. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0232.2019.04.006.
- WANG J D, LIU Z Q, SHENG H, SHAO D W. Spatiotemporal differentiation pattern and its influence mechanism of green rate of built districts in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration [J]. *Urbanism and Architecture*, 2019, 16(4):23-27. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0232.2019.04.006.
- [18] 李娅娅. 基于地理探测器的就业结构对土地开发度影响研究 [J]. 湖北农业科学, 2019,58(12):175-179. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2019.12.040.
- LI Y Y. The impact of employment structure on land development degree in China based on geographical detector [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, 58(12):175-179. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2019.12.040.
- [19] 李倩, 俞海洋, 李婷, 龙爽, 邵威, 王瑛, 许映军. 京津冀地区台风危险性评估——基于Gumbel分布的分析 [J]. 地理科学进展, 2018,37(7):933-945. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.07.007.
- LI Q, YU H Y, LI T, LONG S, SHAO W, WANG Y, XU Y J. Hazard assessment of typhoons affecting the Beijing-Tianjin-Hebei region based on Gumbel distribution [J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(7):933-945. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.07.007.
- [20] 刘桂林, 李元新, 李笑, 韩龙芝. 基于信息扩散技术的广东省台风灾害风险分析 [J/OL]. 安全与环境学报, 2020:1-10 [2020-09-23]. DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2019.1748.
- LIU G L, LI Y X, LI X, HAN L Z. Risk analysis of typhoon disasters in Guangdong Province based on Information diffusion technology [J/OL]. *Journal of Safety and Environment*, 2020:1-10 [2020-09-23]. DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2019.1748.
- [21] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.039.
- LIU F T, XU E Q. Typhoon characteristics and its temporal and spatial correlation analysis of risk assessment in Hainan Province [J]. *Journal of Catastrophology*, 2020,35(2):217-223. DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.039.
- [22] 王然, 江耀, 张安宇, 高原, 王静爱. 农作物自然灾害暴露研究进展 [J]. 灾害学, 2019,34(2):215-221. DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.039.
- WANG R, JIANG Y, ZHANG A Y, GAO Y, WANG J A. Review on crop exposure of natural disasters [J]. *Journal of Catastrophology*, 2019, 34(2):215-221. DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.039.
- [23] 李林, 李雅超. 提高我国农业抗风险能力的对策分析 [J]. 商, 2016(12):272.
- LI L, LI Y C. Analysis of countermeasures to improve China's agricultural risk tolerance [J]. *Business*, 2016(12):272.

(责任编辑 邹移光)