

张柳红,郑璟,王华,等.基于风雨综合指数的广东省晚稻台风致灾危险性评估[J].气象研究与应用,2024,45(3):93-98.
ZHANG Liuhong, ZHENG Jing, WANG Hua, et al. Typhoon hazard assessment of late rice in Guangdong Province based on comprehensive wind and rain intensity index[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3): 93-98.

基于风雨综合指数的广东省晚稻台风致灾危险性评估

张柳红^{1,2}, 郑璟², 王华^{1,2*}, 何研¹, 柳晔², 王彤²

(1. 中国气象科学研究院&中再巨灾风险管理股份有限公司/气象风险与保险联合开放实验室, 北京 100081;
2. 广东省气候中心, 广州 510641)

摘要:利用1995—2022年登陆或影响广东省中南部16个地市的台风过程资料、气象站风雨资料以及晚稻单产数据,建立晚稻减产率测算模型和融合风、雨因子的晚稻台风致灾危险性评估模型,评估广东省中南部16个地市的晚稻台风致灾危险性。结果表明:(1)1995—2022年,每年平均有6.6个台风登陆或影响广东中南部地区,以 0.8 个 $\cdot(10a)^{-1}$ 的速率呈波动减少趋势。(2)晚稻减产率测算模型和台风致灾危险性评估模型可较好地反映各地市晚稻单产减产和台风致灾情况,特别是2002、2013、2017、2018年等台风重灾年表现极佳。(3)各地市晚稻生产受台风影响程度不一,其中湛江、阳江、江门、中山、珠海、汕尾是晚稻台风致灾高风险区,茂名、佛山、惠州、揭阳、汕头和潮州为中等风险区,云浮、肇庆、广州和东莞是低风险区。

关键词:晚稻;减产率;台风;致灾危险性;广东

中图分类号: P429 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.14

广东地处低纬,光热水资源丰富,是我国典型的双季稻主产区。与此同时,广东也是气象灾害重灾区,1994—2018年间平均每年因气象灾害造成直接经济损失高达171.7亿元,其中台风造成的损失最重,对农业影响最大,往往会导致农作物受灾、粮食减产^[1-4]。例如,2013年,台风“尤特”于8月中旬正面袭击粤西,“天兔”于9月下旬重创粤东,造成当年广东全省晚稻单产减产 $621.0\text{ kg}\cdot(\text{hm}^2)^{-1}$ 。又如,2002年,台风“北冕”、“黄蜂”、“黑格比”和“米克拉”均在晚稻生产季登陆广东,给广东带来明显的大风降雨天气,特别是“北冕”“黑格比”等台风降雨集中且雨强大,造成当年广东省晚稻单产减产 $172.0\text{ kg}\cdot(\text{hm}^2)^{-1}$ 。已有研究表明,广东地区4—12月均有可能遭受台风袭击或影响,7—9月是高峰期^[4]。广东地区晚稻多于7月中下旬开始播种育秧,11月下旬收获完成^[5],整个生育期都可受台风威胁。因此,

开展广东省晚稻台风致灾危险性评估对于保障粮食安全、恢复农业生产具有重要意义。

前人开展我国(东南)沿海^[6-10]、华南^[11-16]、华东^[17-19]、长三角^[20]等不同地区的台风灾害时空特征分析及风险评估研究,但结合具体承灾体进行台风致灾危险性评估的研究较少,已有文献报道中涉及的承灾体主要为铁路、房屋等^[21-22]。关于水稻承灾体方面,黄珍珠等^[5]从风因子角度出发,利用1983—2010年登陆广东热带气旋资料和水稻产量及生育期资料建立不同时间登陆广东的热带气旋级别与水稻减产率的对应关系。但台风致灾因子具有多重性^[8-9],除台风带来的风影响外,还应综合考虑雨的影响,且前人研究表明,秋季台风暴雨是影响广东南部沿海晚稻产量的主导因子^[23-24]。因此,有必要开展综合考虑风雨因子的晚稻台风致灾危险性评估研究。本研究利用1995—2022年广东省中南

收稿日期:2024-04-28

基金项目:气象风险与保险联合开放实验室开放基金项目(2023F005)、中国气象局2024年气象软科学研究重大课题(2024ZDAXM01)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J041)、中国气象局重点创新团队(CMA2024ZD03)、中国气象局气候变化专题项目(QBZ202401)、多源遥感水稻监测评估与应用创新团队项目(CXTD202402)

第一作者:张柳红(1991-),硕士,工程师,研究方向为应用气象。E-mail: 838012150@qq.com

*通讯作者:王华(1981-),硕士,正高级工程师,研究方向为农业气象。E-mail: 63433914@qq.com

部 16 个地市的晚稻产量资料、登陆或影响广东省的台风资料、国家气象观测站的风雨数据,建立晚稻单产减产率模型和基于风雨综合指数的台风致灾危险性评估模型,并对各地市的晚稻台风致灾危险性进行评估,以期水稻台风指数保险费率差异化厘定,以及政府和生产部门制定针对性防灾减灾措施等提供科学支撑。

1 资料与方法

1.1 资料来源

登陆或影响广东的台风过程资料来源于广东省气象灾害风险普查成果,台风影响期间的逐日降雨量、最大风速和极大风速数据来自广东省气象局,各地市晚稻单产数据来源于《广东省农村统计年鉴》,数据时间序列为 1995—2022 年。

1.2 研究区域与气象站点

广东省地处中国大陆最南部,陆地范围北纬 $20^{\circ}09' \sim 25^{\circ}31'$ 、东经 $109^{\circ}45' \sim 117^{\circ}20'$ 之间,共辖 21 个地级市,考虑到台风主要影响广东中南部地区,结合广东省水稻种植实际情况,本研究选取湛江、茂名、阳江、云浮、广州、珠海、东莞、中山、佛山、江门、惠州、肇庆、汕尾、揭阳、汕头、潮州共计 16 个地市作为研究区域。每个地市各选取 1 个国家气象站点作为代表站进行台风风雨资料的统计分析。

1.3 研究方法

1.3.1 晚稻减产率测算模型

晚稻产量影响因素主要有三方面,一是因农业生产资料和科技投入、生产技术进步、管理水平提高、稻种改良、惠农政策等非天气因素导致的产量波动,可称之为趋势产量(Y_t);二是因气象灾害、气象条件年际变化等天气因素造成的产量波动,称为气象产量(Y_w);三是因随机因素造成的产量变动,可认为是随机变量(ε),由于该项所占比例很小,实际计算中通常不作考虑^[5,25-26]。因此,晚稻实际产量(Y_a)可表征为:

$$Y_a = Y_t + Y_w \quad (1)$$

因气象产量难以估量且具有无规律性、难以预测等特点,无法直接进行拟合,故本研究首先采用正交多项式回归、滑动平均等方法^[5,27]拟合广东省中南部 16 个地市的晚稻趋势产量,再将实际产量与趋势产量做差来求得气象产量,即:

$$Y_w = Y_a - Y_t \quad (2)$$

计算气象产量与趋势产量的比值可获得相对气象产量,用以反映年际间气象条件差异造成的产

量波动;当其为负值,说明当年的气象条件对作物生长不利,造成作物减产,可用于表征当年的作物减产率^[25-26]。

1.3.2 台风致灾危险性评估模型

考虑到台风带来的强风和降雨以及台风影响持续时间均有可能对水稻生产造成影响,首先将台风过程期间的风、雨因子和台风影响持续时间分别与晚稻减产率进行相关分析,步骤如下:

一是筛选满足以下两个条件的数据:

条件 1:晚稻单产减产率 < 0 ,即气象因素对晚稻产量产生负面影响。

条件 2:有台风登陆或影响晚稻生产。根据前人研究,2004 年广东省晚稻减产主要受寒露风和干旱天气影响,故剔除这一因非台风登陆或影响而减产的特殊年份^[5]。

二是确定历年各个台风过程中,各个地市气象代表站点录得的最大单日/2 日/3 日雨量、过程累积雨量等雨因子指标以及过程最大风速、过程极大风速等风因子指标,台风影响起止日期判定标准为气象代表站点录得的日最大风速是否超过 5 级($8.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)或日雨量是否超过中雨级别(10 mm)。

三是将晚稻减产率与台风风、雨因子指标和影响持续时间进行相关分析并利用 t 检验进行显著性检验^[28-29]。结果显示,晚稻减产率与过程累积雨量、过程最大风速和过程极大风速的相关系数分别为 -0.049 、 -0.069 、 -0.055 ,均通过 0.01 显著性水平检验;与最大 2 日雨量的相关系数为 -0.051 ,通过 0.05 显著性水平检验;与台风影响持续时间、最大日雨量和最大 3 日雨量的相关系数分别为 -0.017 、 -0.035 和 -0.057 ,未通过 0.05 显著性水平检验。

因此,构建台风致灾危险性评估模型时综合考虑台风风、雨因子及其与晚稻减产率的相关系数大小,剔除台风影响持续时间这一指标,其中风因子指标选取过程最大风速,雨因子指标选取过程累积雨量,进而构建台风致灾危险性评估模型如下:

$$TF = R \times w_1 + F_z \times w_2 \quad (3)$$

其中,TF 为台风致灾危险性指数; R 和 F_z 分别为过程累积雨量和最大风速; w_1 和 w_2 为权重系数,由其与晚稻减产率的相关系数占比分别确定为 0.42 和 0.58。考虑到不同时间登陆或影响广东的台风对晚稻生长的影响程度不同,结合前人研究对不同生育期影响晚稻生产的台风致灾危险性指数乘以不同的影响系数最终求取各个地市各个台风过程的

晚稻台风致灾危险性指数, 其中播种至分蘖期影响系数为 0.6, 拔节至孕穗期影响系数为 1.0, 抽穗至成熟期影响系数为 1.5^[5]。

2 结果与分析

2.1 广东省中南部 16 个地市晚稻单产减产率测算

粤西选取湛江、珠三角选取珠海、粤东选取汕

头作为代表站, 绘制晚稻实际单产和趋势单产历年变化, 如图 1。根据图 1, 采用正交多项式回归方法拟合汕头的趋势产量, 拟合方程的复相关系数为 0.928, F 值为 9.366, 通过 0.05 显著性水平检验; 采用 3a 滑动平均方法拟合湛江和珠海的趋势产量, 拟合单产与实际单产变化基本吻合。

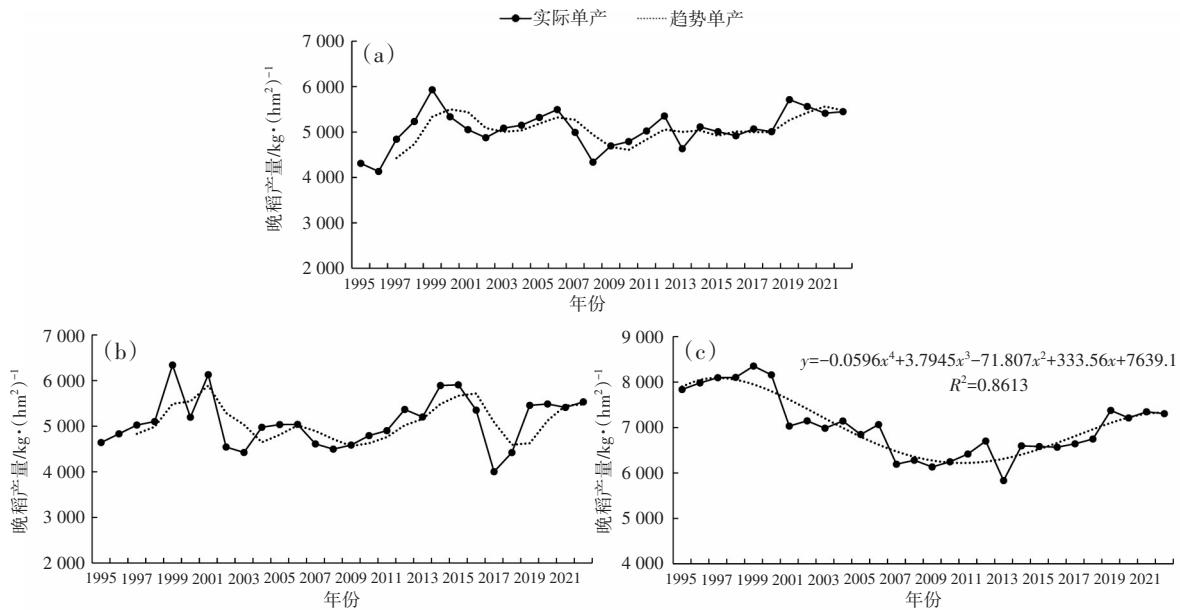


图 1 1995—2022 年广东省中南部代表地市晚稻单产历年变化

(a) 湛江; (b) 珠海; (c) 汕头; 下同

对广东省中南部 16 个地市的晚稻相对气象产量进行分析(限于篇幅, 仅列出部分年份数据如表 1), 发现各地市晚稻生产受气象因素影响的年份不一, 但 1996 年、2002 年、2013 年、2017 年、2018 年等台风大灾年份各地市的晚稻相对气象产量普遍为负值, 即台风对晚稻生产影响很大。

2.2 广东省晚稻台风致灾危险性分析

2.2.1 登陆或影响广东的台风个数时间变化

图 2 为 1995—2022 年登陆或影响广东的台风个数历年分布。由此可知, 1995—2022 年间, 每年均有台风登陆或影响广东中南部地区, 年平均有 6.6 个, 其中 2017 年最多, 为 12 个; 最少的年份也有 3 个, 分别出现在 2015 年和 2021 年。从变化趋势来看, 1995 年以来登陆或影响广东的台风个数呈波动减少趋势, 减少速率为 $0.8 \text{ 个} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

2.2.2 广东省晚稻台风致灾危险性指数时空分布

根据前文中的台风致灾危险性评估模型可计

算得到 1995—2022 年间各地市各个台风过程的台风致灾危险性指数, 并绘制粤西、珠三角和粤东代表地市历年晚稻台风致灾危险性指数的时间变化图, 详见图 3。由图 3 可知, 各地市的台风致灾危险性指数与晚稻相对气象产量较为吻合, 台风致灾危险性系数大的年份, 晚稻相对气象产量多为负值, 即晚稻出现减产。例如, 2002 年, 湛江晚稻生产接连遭受台风“黄蜂”、“黑格比”和“米克拉”影响, 当年台风致灾危险性指数高达 79.8, 晚稻单产减产 8.0%。又如, 2017 年台风“天鸽”重创珠海, 2018 年台风“山竹”给珠海带来狂风暴雨, 这两年珠海的台风致灾危险性指数分别高达 75.4 和 95.9, 晚稻单产分别减产 23.0% 和 15.8%, 是研究时段中晚稻减产最多和次多年份。再如, 2013 年, 汕头晚稻单产减产率(7.3%)为研究时段该地区最多, 原因主要是当年台风“天兔”在 9 月下旬给汕头带来严重风雨。

对 1995—2022 年间各地市历年的晚稻台风致

表1 广东省中南部16个地市晚稻相对气象产量

年份	1996	2002	2013	2017	2018
地市					
广州	-0.02	-0.01	-0.05	-0.02	-0.04
珠海	-0.03	-0.12	0.05	-0.23	-0.16
汕头	-0.01	-0.01	-0.07	-0.01	-0.01
惠州	-0.02	0.00	-0.14	-0.01	-0.04
汕尾	0.01	0.02	-0.19	-0.01	-0.04
东莞	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.02
中山	-0.01	-0.01	-0.09	-0.04	-0.04
江门	-0.01	-0.06	-0.01	-0.02	-0.07
佛山	-0.01	-0.05	-0.03	-0.10	0.04
阳江	-0.05	-0.07	-0.02	-0.05	-0.08
湛江	-0.10	-0.08	-0.04	-0.01	-0.04
茂名	0.01	-0.03	-0.03	-0.01	-0.03
肇庆	0.00	0.00	-0.04	-0.04	-0.06
潮州	0.01	-0.01	-0.08	0.03	-0.01
揭阳	-0.01	-0.03	-0.20	-0.10	-0.11
云浮	-0.02	-0.04	-0.01	0.00	-0.03

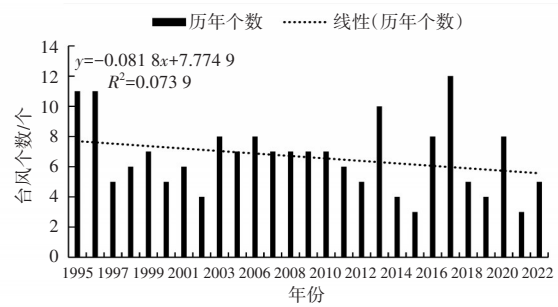


图2 1995—2022年登陆或影响广东的台风个数历年变化

灾危险性指数取平均后可得到各地市多年平均值,并绘制其空间分布。根据台风致灾危险性指数的大小,采用 Arcgis 自然断点法划分不同致灾风险等级,其中台风致灾危险性指数在 18.6~21.0 之间的划分为低风险区,介于 21.0~26.0 为中等风险区, ≥ 26.0 则定为高风险区。由此可见,湛江、阳江、江门、中山、珠海、汕尾是晚稻台风致灾高风险区,茂名、佛山、惠州、揭阳、汕头和潮州为晚稻台风致灾中等风险区,云浮、肇庆、广州和东莞是晚稻台风致灾低风险区。

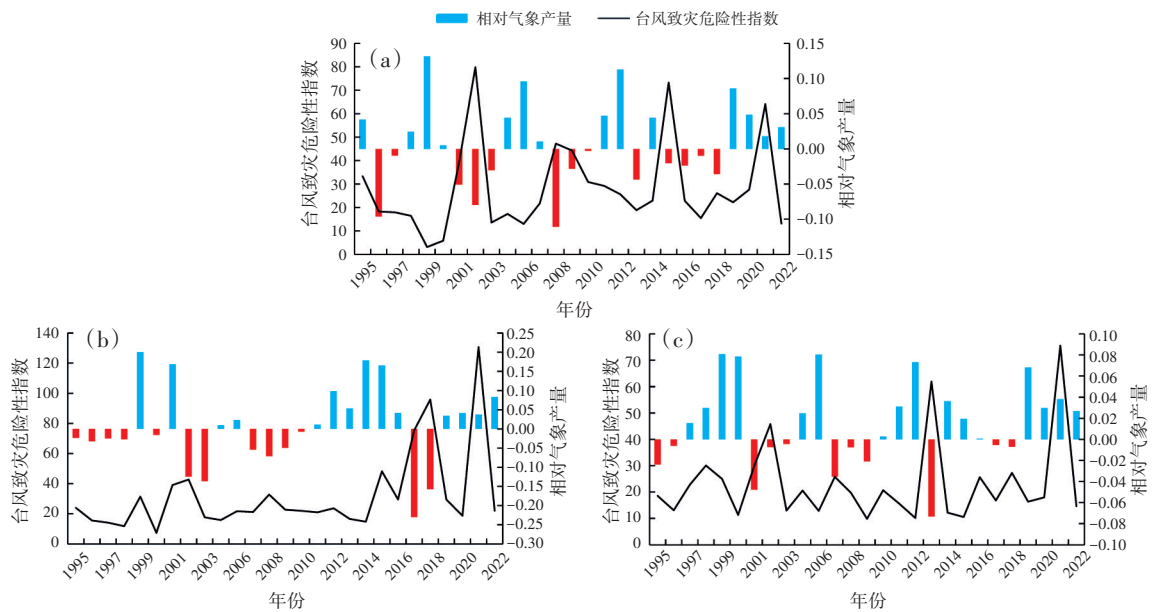


图3 1995—2022年广东省代表地市晚稻台风致灾危险性指数历年变化

3 结论和讨论

本文利用 1995—2022 年广东省中南部 16 个地市的国家气象站资料、台风过程资料和晚稻生产资料,测算各地市晚稻单产减产率,并基于风、雨综合指标构建台风致灾危险性评估模型对晚稻生产的

台风致灾风险进行定量评估,得到以下结论:

(1) 广东省中南部 16 个地市晚稻生产受台风影响程度不同,但在台风重灾年,各地市晚稻大多表现为减产,1996 年、2002 年、2013 年、2017 年和 2018 年年年份尤为突出。本文建立的相对气象产量模

型可用于台风导致晚稻减产的客观评价。

(2) 1995—2022年,每年均有台风登陆或影响广东中南部地区,年平均6.6个,并且呈现出波动减少趋势,这与胡娅敏、曹楚等^[4,30]的研究结论相符。

(3) 基于台风致灾危险性评估模型计算得到的台风致灾危险性指数可较好地反映晚稻单产减产率,特别是与2002年、2013年、2017年、2018年等重灾年份基本符合。晚稻台风致灾高风险区主要分布在粤西的雷州半岛和阳江,珠三角以西沿海的江门、中山和珠海以及粤东的汕尾;中等风险区集中在粤西的茂名、珠三角的惠州和佛山以及粤东中东部的揭阳、汕头和潮州;云浮、肇庆、广州、东莞等中南部地市为低风险区。

本文对广东中南部16个地市的晚稻台风致灾危险性分析结果可作为今后广东地区厘定水稻台风指数保险差异化费率的参考依据,可避免因全省统一保险费率造成巨大的基差风险,为保险可持续运营提供支撑和保障。要说明的是,本研究对晚稻台风致灾高风险区的分析结果与黄珍珠等^[31]基于登陆广东的热带气旋等级出现概率和晚稻减产率的相关性,设计的广东省水稻热带气旋灾害保险风险区划中的高风险区分布情况大体吻合,但中等风险和低风险区的划分有别:本研究认为惠州和佛山是台风致灾中等风险区,而黄珍珠等^[31]研究认为是低风险区。对研究时段内惠州和佛山两地的晚稻单产减产率进行分析发现,惠州晚稻单产减产最多的年份是2013年,当年台风“天兔”造成惠州局部地区晚稻倒伏受淹绝收^[32];佛山晚稻单产减产最多的年份为2017年,当年台风“天鸽”肆虐。因此,惠州和佛山的晚稻生产对秋台风带来的狂风暴雨仍较为敏感,可将其划分为中等风险区。

另外,虽然本研究构建的台风致灾危险性评估模型可基本反映晚稻单产减产情况,但个别年份仍有例外,例如,2021年10月台风“狮子山”和“圆规”相继登陆海南,给广东带来丰沛降水,有效缓解前期旱情,对晚稻生产总体利大于弊^[33],所以2021年虽然各地市的台风致灾危险性指数大,但晚稻单产减产率并不明显甚至未减产,未来将综合台风、干旱、寒露风等各类气象灾害以及影响的生育期开展深入研究。

参考文献:

[1] 史丽,张柳红,伍红雨.1994—2018年广东主要气象灾

害特征分析[J].广东气象,2021,43(2):54—57.

- [2] 唐晓春,刘会平,潘安定,等.广东沿海地区近50年登陆台风灾害特征分析[J].地理科学,2003,23(2):182—187.
- [3] 郝全成,杜尧东,汪明圣.1951—2017年双夏期间登陆广东的热带气旋特征[J].广东气象,2018,40(6):6—8.
- [4] 胡娅敏,宋丽莉,罗晓玲.近58年登陆广东热带气旋位置和生成源地的变化[J].中山大学学报(自然科学版),2011,50(4):113—120.
- [5] 黄珍珠,刘锦奎,刘尉,等.登陆广东的热带气旋对水稻产量的影响评估[J].自然灾害学报,2014,23(4):170—176.
- [6] 汪路,卢莹,赵海坤.台风灾害时空特征分析与评估模型构建[J].灾害学,2023,38(4):187—194.
- [7] 卢莹,赵海坤,赵丹,等.1984—2017年影响中国热带气旋灾害的时空特征分析[J].海洋学报,2021,43(6):45—61.
- [8] 杨慧娟,李宁,雷飏.我国沿海地区近54a台风灾害风险特征分析[J].气象科学,2007,27(4):413—418.
- [9] 欧进萍,段忠东,常亮.中国东南沿海重点城市台风危险性分析[J].自然灾害学报,2002,11(4):9—17.
- [10] 田城,黎鑫,杜洋,等.基于贝叶斯网络和GIS的热带气旋灾害风险评估[J].热带海洋学报,2023,42(5):17—29.
- [11] 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.
- [12] 包文轩,宫阿都,徐灏,等.基于区域灾害系统论的广东省台风灾害风险评估——以“山竹”台风为例[J].北京师范大学学报(自然科学版),2023,59(1):94—103.
- [13] 陈劲,杨玺,汤振鹏.登陆广东的台风强度和路径特征分析[J].气象研究与应用,2018,39(3):35—37,56.
- [14] 贺山峰,李铮,陈超冰,等.海南省登陆台风特征演变及其危险性分析[J].地理科学进展,2023,42(7):1355—1364.
- [15] 聂超甲,叶回春,张世文,等.海南岛农业台风灾害风险评估与可持续发展对策[J].农业工程学报,2022,38(23):237—246.
- [16] 李广桃.登陆影响广西县域的台风灾害风险评估[D].南宁:南宁师范大学,2022.
- [17] 李瑞英,吕桂恒,樊杰,等.华东地区台风气候特征及危险性分析[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(1):119—125.
- [18] 林沛延,林陪晖,王俊,等.基于机器学习方法的浙江省台风灾害风险评估和动态风险预报[J].自然灾害学报,2023,32(4):13—24.
- [19] 王振国,康丽莉,李特,等.浙江沿海地区台风灾害风险区域划分研究[J].浙江电力,2024,43(3):28—37.
- [20] 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.

- [21] 尚志海,陈宝怡,林婉媚,等.广东省铁路台风灾害风险评估[J].防灾科技学院学报,2024,26(1):56-64.
- [22] 宋阿伟,田红,王胜,等.基于风雨综合指数的安徽省台风灾害房屋风险评估方法[J].暴雨灾害,2024,43(3):363-370.
- [23] 广东省农业厅,广东省气象局.广东省农业气象灾害及其防灾减灾对策[M].北京:气象出版社,2000.
- [24] 广东省人民政府农业办公室,广东省气象局农业气象中心.广东气候与农业[M].广州:广东高等教育出版社,1996.
- [25] 徐敏,吴洪颜,张佩,等.基于气候适宜度的江苏水稻气候年景预测方法[J].气象,2018,44(9):1200-1207.
- [26] 韩语轩,房世波,梁瀚月,等.基于减产概率的辽宁水稻灾害风险区划[J].生态学报,2017,37(23):8077-8088.
- [27] 汪艳萍.广东省水稻天气指数保险产品的设计[D].广州:广东财经大学,2023.
- [28] 施金龙,吕洁.应用统计学[M].南京:南京大学出版社,2005.
- [29] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M].北京:气象出版社,2007.
- [30] 曹楚,彭加毅,余锦华.全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析[J].南京气象学院学报,2006,29(4):455-461.
- [31] 黄珍珠,陈慧华,柳晔,等.水稻热带气旋灾害保险气象指数设计[J].广东农业科学,2016,43(10):140-146.
- [32] 广东省气象局.2013年广东省气候影响评价[Z].广州,2014.
- [33] 广东省气象局.2021年广东省气候公报[Z].广州,2022.

Typhoon hazard assessment of late rice in Guangdong Province based on comprehensive wind and rain intensity index

ZHANG Lihong^{1,2}, ZHENG Jing², WANG Hua^{1,2*}, HE Yan¹, LIU Ye², WANG Tong²

(1.CAMS & China Re CRM·Joint Open Lab on Meteorological Risk and Insurance, Beijing 100081, China;

2. Guangdong Climate Center, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Based on typhoon process data that made landfall or affected in central and southern Guangdong, wind speed and rainfall data from meteorological stations, record of late rice yield of these cities from 1995 to 2022, a calculation model for yield reduction rate of late rice and a typhoon hazard assessment model of late rice by integrating the wind and rain factors were built to evaluate typhoon hazard of late rice in the 16 cities in the south-central Guangdong Province. The results show that: (1) on average, 6.6 typhoons make landfall or affect the central and southern regions of Guangdong Province each year from 1995 to 2022 with a fluctuating decreasing trend at the rate of 0.8 typhoon per decade. (2) The calculation model for yield reduction rate of late rice and the typhoon hazard assessment model of late rice can reflect the reduction of late rice yield and typhoon-induced disasters in various cities, especially in the years of severe typhoon disasters such as 2002, 2013, 2017, and 2018, which perform exceptionally well. (3) The impact of typhoons on late rice production varies in different cities, with Zhanjiang, Yangjiang, Jiangmen, Zhongshan, Zhuhai, and Shanwei as high-risk areas for typhoon hazard of late rice, Maoming, Foshan, Huizhou, Jieyang, Shantou, and Chaozhou as medium-risk areas, and Yunfu, Zhaoqing, Guangzhou, and Dongguan as low-risk areas.

Key words: late rice; yield reduction rate; typhoon; hazard; Guangdong Province