

赵秀兰. 近 50 年登陆我国热带气旋时空特征及对农业影响研究综述[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 1-11.
ZHAO Xiulan. Research advances on spatial and temporal characteristics of tropical cyclones landfalling in China in the past 50 years and their impacts on agriculture[J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(4): 1-11. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.04.001. (in Chinese)

近 50 年登陆我国热带气旋时空特征及对农业影响研究综述

赵秀兰

(国家气象中心, 北京 100081)

摘要: 文章回顾并总结了近 50 年登陆我国热带气旋时空特征, 并基于农业气象观测资料和部门数据信息初步探讨了登陆我国热带气旋对农业影响的时空特征。近 50 年登陆我国热带气旋登陆区域呈现出更为集中的趋势, 年平均登陆强度、强台风数量均呈增加趋势; 登陆频次华南呈减少趋势, 华东则变化不明显; 北上热带气旋略有上升趋势。我国受热带气旋影响地区的热带气旋降水大部呈波动下降的趋势; 热带气旋平均风速最大值在全国呈现降低趋势。热带气旋暴雨和大风对农业的影响主要造成农田洪涝灾害、“雨洗禾花”、水土流失和耕地质量下降、作物倒伏和机械损伤等, 其中农田洪涝灾害最重。我国农业生产受热带气旋影响存在较明显时空特征。秋季主要受影响区域为华南、江南东南部, 大宗作物中晚稻受影响最大。盛夏受影响区域更为广泛, 华南南部和东部、江南东部、江淮东部等地沿海受影响最重, 南方受影响较大的大宗作物是早稻, 其次为晚稻和一季稻等; 盛夏季节热带气旋在带来暴雨洪涝和大风灾害的同时, 也减少了南方盛夏季节性高温和干旱的发生; 盛夏北上热带气旋因其带来的充沛降水对农业影响总体利大于弊。从农业生产防灾减灾的长效机制角度, 在大数据基础上深入研究热带气旋对我国农业影响时空分布规律, 积极发展避灾农业相关技术, 是未来工作的重要方面。

关键词: 热带气旋; 时空特征; 农业; 暴雨洪涝; 灾害; 影响

中图分类号: P457.8; S166 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2019)04-0001-11

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.04.001

Research advances on spatial and temporal characteristics of tropical cyclones landfalling in China in the past 50 years and their impacts on agriculture

ZHAO Xiulan

(National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract In this paper, the spatial and temporal characteristics of tropical cyclones landfalling in China in the past 50 years are reviewed and summarized, and based on agricultural meteorological observation data and data from relevant departments, the spatial and temporal characteristics of the impacts of landfalling tropical cyclones on agriculture in China are discussed. In the past 50 years, the landfalling areas of tropical cyclones in China have shown a more concentrated trend with the annual average landfalling intensity and the number of strong typhoons increasing; the landfalling frequency in South China is decreasing while the change is not obvious in East China; the number of northward tropical cyclones is slightly increasing. Most of the tropical cyclone precipitation in the areas affected by tropical

收稿日期: 2019-11-07; 修订日期: 2019-11-27

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206018); 国家气象中心 2019 年度气象现代化专项(3.1)

作者简介: 赵秀兰, 女, 博士, 研究员, 主要从事农业气象、气候变化研究, 751502742@qq.com。

cyclones in China is decreasing with fluctuation, and the maximum average wind speed of tropical cyclones is decreasing in China. The impacts of tropical cyclone rainstorms and tropical cyclone gales on agriculture are mainly reflected as farmland flood disaster, “rain washing rice flowers”, water loss and soil erosion, decline of farmland quality, crop lodging, and mechanical damage, among which farmland flood disaster is the most serious. There are obvious spatial and temporal characteristics of the impacts of tropical cyclones on the agricultural production in China. In autumn, the main affected areas are South China and the southeast of Jiangnan, where late rice is the most seriously affected among staple crops. In midsummer, the affected areas are more extensive, the coastal areas in the south and east of South China, the east of Jiangnan, and the east of Jianghuai bear the most serious impact, and the most seriously affected crop is early rice, followed by late rice and one-season rice in the south of China; despite that tropical cyclones in midsummer bring about rainstorm, flood, and gale disasters, they reduce the occurrence of seasonal high temperature and drought in the south of China; in general, the advantages of northward tropical cyclones outweigh their disadvantages due to the accompanying abundant rainfall in midsummer. From the perspective of long-term mechanism of agricultural disaster prevention and mitigation, it is an important aspect of future work to study the spatial and temporal distribution of the impacts of tropical cyclones on Chinese agriculture on the basis of big data, and actively develop related technologies for disaster avoidance agriculture.

Key words tropical cyclone; spatial and temporal characteristics; agriculture; rainstorm and flood; disaster; impact

引言

我国是世界上热带气旋登陆最多、灾害影响最重的国家,热带气旋给国民经济带来的不利影响不容忽视^[1-2];1949—2012年64 a间,靠近我国的西北太平洋生成的中心附近风力8级以上热带气旋平均每年有9.3个登陆我国^[3]。热带气旋登陆我国最早时间在4月,最晚在12月,以7—10月最为集中^[4]。热带气旋登陆我国集中的时间正值我国主要的农业生产季节,热带气旋带来的大风及其伴随的暴雨等使农作物、经济林果、露地蔬菜和水产养殖以及农田、农业生产设施等遭受损失。例如,2019年第9号台风“利奇马”带来的强风暴雨造成福建、安徽、浙江、江苏、上海、山东、河北、辽宁、吉林等9省(直辖市)113.97万 hm^2 农作物遭受大风洪涝灾害,绝收9.34万 hm^2 ,其中山东、浙江农作物受灾分别达到64.3万 hm^2 、25.84万 hm^2 ^[5]。热带气旋对农业生产造成的灾害在热带气旋造成的自然灾害中占据较大比例^[6-7],热带气旋登陆往往会造成大面积农田受淹和粮食减产,仅1996—2006年期间我国因热带气旋造成的农业经济损失就占到总损失的12.8%^[8]。尽管我国针对热带气旋的防灾减灾是不断加强的,但热带气旋对国民经济造成的损失仍呈增加趋势^[9],其中农业生产受损较大。

影响我国的热带气旋具有较明显的时空特征,而我国农业生产自身也存在一定的时空特点,这两方面共同决定了热带气旋对我国农业生产影响的主要时空特征。本文在综述分析近50年登陆我国热带气旋主要时空特征基础上,利用中国气象局农业气象观测资料、相关热带气旋资料信息以及国家民政部、农业农村部等部门农业相关信息,重点针对常年盛夏和秋季登陆我国热带气旋对农业生产影响的时空特征进行了初步分析和探讨,为我国农业生产趋利避害、防灾减灾提供科学依据和决策参考。

1 近50年登陆我国热带气旋主要时空特征研究综述

1.1 影响区域与登陆频数特征

近50年,登陆我国热带气旋对我国影响范围广泛,可以说从滇黔南部,经湘鄂豫西部和陕北、内蒙古中东部,到黑龙江中部一线以东地区都不同程度受到影响。虽然我国沿海从广西向北至辽宁均有热带气旋登陆,但登陆我国的大多数热带气旋常年主要影响东南沿海地区,也就是说东南沿海地区登陆热带气旋频率高、强度大^[10],如2013年有10个热带气旋11次登陆我国,其中10次登陆东南沿海地区^[11]。在东南沿海地区,登陆次数最多的省份为

广东,超过总次数1/3,其次为海南、台湾和福建,再次为浙江、广西、山东、辽宁、江苏、上海和天津。从常年平均来看,登陆广东的热带气旋次数达到3.97次,登陆海南、台湾、福建、浙江的分别达到2.35次、2.13次、1.82次、0.68次;其中2008年在登陆我国的10个热带气旋中,登陆广东的达到7次,2006年、2009年登陆广东次数均为5次;在2015年登陆我国的5个热带气旋中,有2个登陆广东,在2016年登陆我国的9个热带气旋中,有4个登陆广东^[12-13]。登陆热带气旋频率高、强度大的地区,往往也是遭受热带气旋灾害损失偏重的地区,所以广东省是华南沿海热带气旋灾害的多发区与重灾区,其中登陆频率最高的广东粤西沿海受灾也最重^[10]。

登陆我国的热带气旋有明显的季节性特征,夏季和秋季登陆频繁,主要集中在7、8、9月,占总登陆频数的75%;春季登陆频数较少,冬季最少^[13-15]。常年平均登陆我国的热带气旋,7月、8月、9月分别为2.18个、2.60个、2.20个,10月、11月、12月分别为0.63个、0.23个、0.03个,4月、5月、6月分别为0.03个、0.27个、0.90个,1月、2月、3月均为0.00个^[12];以2013年为例,7月、8月、9月分别有3个、4个、1个热带气旋4次、4次、1次登陆我国,8月登陆个数最多^[11]。近50年期间,登陆我国的热带气旋有显著的年际变化趋势,且区域差异较明显;登陆华南地区的热带气旋频次呈减少趋势^[16-17],其中8月、9月的热带气旋登陆频次减少尤为突出^[18],在20世纪80年代和21世纪初登陆中国热带气旋频次呈微弱下降趋势,随后略有上升^[19];而登陆华东地区热带气旋频次变化趋势则不明显。近50年,热带气旋登陆区域呈现出更为集中的趋势,登陆点在23°~35°N增多,而在35°N以北和23°N以南以减少为主;年平均登陆强度呈增加趋势,登陆的强台风也有增加趋势;但登陆我国热带气旋季节延续期则有缩短的趋势,近50年缩短了近1个月^[16]。

不同月份、不同强度、不同登陆地区的热带气旋登陆后维持时间差异极大^[20],平均维持时间的长短与登陆后12h内强度的衰减程度也密切相关,例如登陆强度在历史上全国排名第五的2019年第9号台风“利奇马”,8月10日在浙江省温岭市沿海登陆(超强台风级)后在陆地滞留时间长达44h,维持时间之长为1949年以来全国第六位^[5]。近50年登陆我国热带气旋维持时间平均为31h,55%的热带气旋在陆上维持时间为0.5~2.0d,且从季节来看7

月和8月登陆的维持时间最长;但在不同地带登陆的热带气旋,其陆上维持时间明显不同,从广西向东北一直到浙江,登陆后的维持时间是增加的,其中在浙江登陆的热带气旋维持时间最长,其次为福建。登陆我国热带气旋在陆上消失的位置最北到达黑龙江,最西可至云南,广西是消失最多的地区。

我国平均每年约有3个北上热带气旋,给我国华北和东北地区带来大风和暴雨,常常造成区域风灾和水灾。如2012年第15号台风“布拉万”、2015年第9号台风“灿鸿”、2018年第18号台风“温比亚”、2019年第9号台风“利奇马”和第13号台风“玲玲”都是影响显著的北上热带气旋。北上热带气旋一般强度都较强,但在华北和东北地区登陆的北上热带气旋强度更大,风雨影响相对更为明显。近50年北上热带气旋也存在明显的月际变化和年际变化,其中7—9月是北上热带气旋发生的关键月份,尤其7月、8月是高峰期;而近50年北上热带气旋的年际变化表现为略有上升的趋势^[21-22],2015年、2016年均均有4个北上热带气旋影响北方地区^[12-13]。

1.2 热带气旋暴雨及热带气旋暴雨洪水特征

我国的热带气旋降水与热带气旋登陆活动存在较好的时空一致性^[23];我国东南部地区热带气旋降水占夏季总降水量的20%~40%,部分沿海地区甚至达到50%^[24]。从空间上看热带气旋平均降水量呈现由沿海向内陆、东南向西北递减的分布特征,一般华南沿海和华东沿海地区降水量最大;热带气旋强度越强其最大过程降水量一般也就越大。我国热带气旋暴雨也呈现由东南向西北递减的区域特征^[25-30]。华南沿海地区、华东沿海地区、东北地区东部为易出现热带气旋暴雨的地区,例如,在2016年登陆我国的9个热带气旋中,全部给华南沿海地区带来热带气旋暴雨,有6个给华东沿海地区带来热带气旋暴雨^[13]。从盛发期来看,华南地区热带气旋暴雨主要发生于7—9月,华东地区为8—10月,东北地区则主要在7月和8月^[31]。近50年,我国受热带气旋影响地区的热带气旋降水大部呈波动下降的趋势^[32];就夏季而言热带气旋降水呈现华东沿海增多、华南沿海和西南地区减少的变化趋势。不同地区热带气旋降水中最大过程降水量和最大1h降水量近50年虽有变化,但趋势不显著^[33-34]。

热带气旋暴雨是引发流域洪水的主要因素之一^[35],热带气旋暴雨引发的流域洪水即为热带气旋

暴雨洪水,在南方地区的区域总水灾中占比较大,如浙江热带气旋造成的水涝受灾面积就占总水灾面积的60%左右^[35-36]。2014年第9号台风“威马逊”在7月17—22日给海南三沙及海南岛中南部大部、广东湛江、广西南部沿海、云南南部部分地区带来累计降水量150~300 mm,海南北部偏北地区及昌江和白沙、广西涠洲岛和防城港及宁明累计降水量甚至达到300~582 mm,致使部分地区遭受严重洪涝灾害^[37]。热带气旋暴雨洪水虽然对北方地区的影响频次相对南方较少,但影响程度有时可能偏重,例如“75·8”(1975年8月河南特大暴雨)这次罕见特大暴雨从气象学成因的角度分析是由热带气旋直接影响所致,并且是在热带气旋登陆后持续不消,直至深入内陆或直到北方后才出现的^[38];1985年辽宁罕见的洪涝灾害,就是由于热带气旋8507号、8508号、8509号连续影响造成的^[39]。

1.3 热带气旋大风与热带气旋风暴潮特征

登陆我国的热带气旋中,有89%会引起大风过程^[40]。如2014年登陆我国的7个热带气旋中,全部伴有大风过程影响沿海和内陆地区,并且有4个热带气旋使部分地区遭受10~15级阵风的不利影响^[37]。以2006年为例,第4号强热带风暴“碧利斯”在7月13—14日期间先后登陆台湾宜兰和福建霞浦,13—17日广东、广西、云南、福建、江西、湖南、贵州、浙江、安徽、湖北、上海、江苏等地均出现大风过程,最大风力达6~9级、阵风7~10级,浙江玉环最大风力达10~11级、阵风12~14级,大风先后影响12省(区、市),影响范围广,造成较重损失^[41]。而热带气旋大风影响范围和程度,与热带气旋登陆强度和位置、移动路径和中心风力、风圈半径、周围天气系统的配置、地理地形条件等因素密切相关^[42]。当出现8级以上热带气旋大风时,气压梯度越大,强度就越强,风灾危害也就越重。其中,热带气旋中心登陆地区及10级风圈范围内风灾最为严重。2006年第8号超强台风“桑美”8月10日登陆浙江苍南时最大风速达到 $68\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (17级),是新中国成立以来登陆我国大陆最强的一个台风,浙江、福建、江西等地遭受严重损失^[41]。从登陆热带气旋的最大风速发生时间来看,华南沿海一般在8—9月,华东沿海则在7—9月^[43]。而近50年间热带气旋大风平均风速的最大值在全国及各区均呈现一致减少的趋势,但阵风风速的趋势出现分化且各区也不相同^[44]。近10年在我国华东沿海登陆热带气旋大风及破坏力有增强的趋势,华南沿海则不

明显^[45]。

热带气旋风暴潮发生强度和范围可能受到登陆热带气旋强度和大风半径、海平面上升以及地面沉降状况等诸多因素影响^[46-47]。受热带气旋影响的我国南部和东部沿海各地都可能遭受热带气旋风暴潮的影响,其中达到台风及以上强度的台风风暴潮为沿海主要自然灾害之一。例如,2008年第14号强台风“黑格比”9月24日在广东电白登陆,受其影响广东、广西、福建等地沿海部分地区最大风力达到9~12级、阵风10~13级,广东阳江阵风达到 $52.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (16级),降雨量普遍达到150~300 mm,广东沿海出现罕见的风暴潮,其潮位之高为百年一遇,水利设施遭受严重破坏。严重的风暴潮危害往往是台风风暴潮与天文大潮相遇,同时叠加向岸大浪造成的,如2013年第12号台风“潭美”8月22日登陆福建福清市,登陆时恰逢天文大潮期,风、雨、潮三碰头,浙江、福建等地沿海部分地区降雨量达250~400 mm,最大风力达到8~9级、阵风10~12级^[11];浙江沿海出现50~120 cm的风暴增水和海浪,风雨潮叠加加重了对闽浙沿海地区的影响。

2 热带气旋对我国农业影响研究综述

热带气旋带来的主要影响因素包括风、雨和风暴潮三方面^[48],其影响程度主要取决于风、雨、风暴潮单要素的强度、持续时间以及三个要素的叠加程度,风、雨、潮等单要素强度越强、持续时间越长,对农业的不利影响就越大。其中,对农业影响最大的是风,其次为降雨,潮一般只在沿海地区出现,所以对农业影响相对最小。一般热带气旋带来6级以上大风或暴雨以上量级降雨时,都会对农业产生不利影响,随风力等级递增、降雨强度递增,对农业影响程度呈加重的趋势。也就是说,农业生产遭受热带气旋的不利影响主要来自热带气旋暴雨、热带气旋大风两方面,强风和暴雨叠加则加重对农作物生长及经济林果、露地蔬菜、设施农业、水产养殖等的危害。

2.1 热带气旋暴雨对农作物生长的影响

热带气旋暴雨^[49-50]对农作物的影响主要是造成农田洪涝灾害,开花期水稻等作物遭受“雨洗禾花”,水土流失和农田耕地质量下降等,对农业生产和生态环境造成危害。其中,热带气旋暴雨洪涝灾害对农业影响最重。热带气旋暴雨引发的农田洪涝灾害,造成农田大范围积水,农作物被淹,受淹农作物出现根系缺氧受害,植株发育不良的状况,农

田和作物甚至被冲毁,造成作物产量损失。2018年8月,受第18号台风“温比亚”影响,16—20日,华东沿海部分地区出现暴雨和大暴雨,上海、江苏西部、安徽中北部、河南东部、山东大部等地累计降雨量为100~250 mm,其中河南商丘、河南周口、山东济宁、山东临沂、山东潍坊、山东东营以及安徽宿州、淮北、江苏徐州降雨量达300~480 mm,河南商丘柘城达554 mm,山东泰安511 mm,江苏徐州沛县534 mm;沪、苏、皖、鲁、豫等地部分地区遭受严重洪涝灾害,造成农田被淹、作物倒伏等,损失较大,作物受灾面积达到136万 hm^2 ,绝收2.4万 hm^2 ,其中河南、山东较重,农作物受灾分别为75.6万 hm^2 、20.8万 hm^2 。

我国遭受热带气旋暴雨影响范围广,且呈现由东南向西北受影响程度递减的区域特征^[25-26];因其覆盖农业区域较大,所以遭受热带气旋暴雨洪涝灾害农作物种类也较多,包括水稻、玉米、棉花等大宗农作物以及地域性的一些杂粮作物。水稻因其在我国种植范围广泛、多季种植,尤其是作为南方主要粮食作物,最易遭受热带气旋暴雨洪涝灾害的危害。在水稻各个生育期中,抽穗开花期、灌浆成熟期相比于幼苗期、分蘖期受害后影响更重;在生理机能方面,水稻对于水涝虽有一定耐涝能力,但遭受水淹后会由于缺氧影响光合作用,生长明显受阻,主要表现为叶片变黄,有效穗数减少,抗倒伏能力下降,甚至出现分蘖和主茎死亡等现象,导致一定程度减产^[51]。“雨洗禾花”是热带气旋暴雨影响水稻产量的另一个主要方面。“雨洗禾花”是指强降雨对正值开花(授粉)期的水稻产生强力机械冲刷作用,造成花药花粉数量急剧减少、活性降低,造成授粉不良,从而影响结实,导致水稻出现空秕率增加等现象,造成千粒重减轻,最终影响产量。降雨强度越强、持续时间越长,水稻遭受“雨洗禾花”危害就越重。由于我国作物主要生长季和热带气旋登陆主要季节重叠,我国南方地区水稻生长每年都会遭受不同程度的“雨洗禾花”危害。对南方水稻生长而言,热带气旋暴雨洪涝灾害和“雨洗禾花”危害往往是叠加发生的,以2015年晚稻为例,7月台风“灿鸿”、8月台风“苏迪罗”、9月台风“杜鹃”、10月强台风“彩虹”先后登陆浙江、福建、广东沿海,闽浙粤桂等地出现暴雨和大风,部分晚稻秧田受淹、植株倒伏,闽粤桂等地处于抽穗扬花期的晚稻遭受“雨洗禾花”,晚稻开花授粉和结实受到明显不利影响,其中强台风“彩虹”造成的影响最为严重,

最终导致广东西部部分地区晚稻绝收。

热带气旋暴雨引发的洪涝灾害也会造成一些地区农田水肥流失,农田耕地质量下降,继而影响农作物生长。热带气旋暴雨因其时间短、强度大,导致区域水量的增速较快,可能加剧区域尤其是丘陵或山地的水土流失和农田土壤侵蚀。以1990年热带气旋重灾区的浙江台州地区为例,热带气旋降水引发的水土流失和侵蚀面积就达7.3万 hm^2 ^[52]。热带气旋暴雨还会引发泥石流、滑坡等次生灾害以及沿海地区风暴雨造成海水倒灌农田,这些都会导致农田耕地质量下降^[53-54],进而对后续农业生产和生态环境造成不利影响。

2.2 热带气旋大风对农作物的影响

热带气旋大风给农业生产带来的风灾危害仅次于热带气旋暴雨的危害。热带气旋大风主要造成农作物大范围倒伏,植株的茎叶遭受机械损伤,而且风力越强造成的危害就越大。在同一地区相同地形条件下,玉米、高粱等高秆作物相对于矮秆作物遭受热带气旋大风危害更重,例如对于东北地区而言,玉米相对于水稻更易受到热带气旋大风的不利影响,以2019年第13号台风“玲玲”为例,受其影响,9月7—8日东北三省中东部出现6~8级、阵风9~10级大风并伴随有大到暴雨,造成东北三省农作物受灾21.6万 hm^2 ,其中主要以玉米等高秆作物遭受大风灾害为主。2012年8月受台风“布拉万”影响,辽宁中东部、吉林中部、黑龙江南部出现了7级以上瞬时大风,辽宁灯塔市局地、吉林汪清县局地大风达10级,再加之同时伴有强降雨,造成东北三省180万 hm^2 作物出现大面积倒伏被淹,其中吉林、黑龙江农作物受灾面积分别达到80.5万 hm^2 、69.2万 hm^2 ,玉米受灾最重。同一作物处于不同生长发育阶段,受大风影响也存在差异。以水稻为例,灌浆乳熟期和成熟期由于穗的重量偏重,植株抗倒伏能力相对较差,所以这个阶段遭遇热带气旋大风容易造成水稻倒伏,出现稻秆腐烂、落谷和谷粒发芽等现象,如果稻田出现内涝或洪涝就更容易遭受水淹导致受灾加重,产量下降。研究^[55]表明江南东部杂交水稻灌浆乳熟期倒伏后产量损失可达29.30%。2007年10月的热带气旋“罗莎”带来的狂风暴雨,造成浙江温州和台州正处于灌浆和成熟期晚稻大面积倒伏被淹,减产分别达40%和20%^[56]。

热带气旋大风对农作物的另一个不利影响是增加了作物病虫害的传播途径,登陆热带气旋气流

和降水为南方地区稻飞虱等迁飞性害虫的迁飞提供有利条件,稻飞虱、稻纵卷叶螟等迁飞性害虫借助热带气旋气流路径大规模迁入,从而加剧了迁飞性虫害的流行和传播^[57-58]。以2006年为例,受数次热带气旋引起的大风和暴雨影响,稻飞虱和稻纵卷叶螟等虫害从东南亚向我国快速扩散,致使其在华南和长江中下游发生面积较2005年同期明显增加,成为1979—2008年间登陆热带气旋影响最重年份^[59]。常年来看,热带气旋对南方迁飞性害虫迁飞影响的时空特征与登陆我国热带气旋时空特征有较多一致性。从我国东南部沿海向西北内陆的渐深入,稻区稻飞虱等迁飞性害虫的迁飞受台风影响的概率依次递减。关于热带气旋大风和暴雨相互作用对迁飞性害虫迁飞的大气动力背景、影响机理、迁飞路径等相关研究较为丰富和系统、结论明确。

2.3 热带气旋强风暴雨对设施农业、经济林果、露地蔬菜及水产养殖的影响

热带气旋对设施农业的最主要影响因子是强风,其次是降水因素,往往强风伴随强降水影响最重,造成设施大棚骨架、天窗、温室外遮阳系统、固定杆、压网线、圈梁以及覆盖材料薄膜、编织膜、防虫网、遮阳网等受损^[60]。2010年台风“康森”7月16日在海南三亚登陆时中心风力为12级,大风对三亚设施农业造成较重影响,4.6万m²大棚受损或倒塌。2004—2005年连续两年有5次台风袭击浙江温岭,造成0.6万hm²设施农业不同程度受损,其中2005年台风“海棠”造成温岭0.4万hm²西甜瓜大棚设施遭受不同程度破坏,超过1万hm²蔬菜基本绝收^[61]。

热带气旋多发季节正值我国尤其南方地区林木旺盛生长期,也是南方水果生长的关键期,部分水果正值成熟阶段,大风会导致林木或果树枝条折断,树木被吹倒或主茎被拦腰折断,甚至整株植株被连根拔起;暴雨造成的洪涝还会使林木或果树受淹。狂风暴雨会造成处于果实膨大期或已成熟的水果出现大量落果和烂果现象,引起产量和品质下降。例如,2004年8月台风“云娜”登陆浙江温岭,恰逢风、暴、潮同时同地出现,风力、降雨强度、影响范围均为历史罕见;受其影响,正处于成熟采摘期的葡萄和梨、果实膨大期的柑橘等果树遭受较重损失,受灾严重的橘园有10%以上的树体或枝干折断,近半数的幼果被狂风吹落^[56]。2008年7月台风“凤凰”带来的大风造成江苏全省约有2%的即将收

获的桃子、梨子被大风吹落,其中江苏高邮100多棵树木被大风拦腰折断,邳州树木刮倒2.37万棵,损害银杏古树60多棵,银杏果刮落140t^[62]。

热带气旋带来的强风暴雨还会造成南方茶叶不能及时采收,影响夏茶、秋茶的产量;地势低洼处的茶园遭受水淹,造成植株渍害严重,影响根系正常生长,严重的甚至影响了第二年春茶的产量和品质^[56]。热带气旋对露地蔬菜的影响主要也是植株倒伏,地势低洼处遭受水淹,秧苗、藤蔓因渍害受损,影响蔬菜的正常生长,蔬菜会出现叶片发黄和早衰现象等,影响产量和品质以及收获上市。

对我国来说,热带气旋是我国东南沿海海水养殖业,特别是海水网箱养殖所面临的主要自然灾害。热带气旋常常使沿海地区养殖网箱、围塘堤坝损坏倒塌,鱼虾蟹逃逸,养殖网箱内出现鱼类碰撞、擦伤等。大量降雨加上风力、海流等物理因素的改变,造成环境突然变化,破坏了池塘原有生态平衡^[63],往往影响产量和品质,甚至造成台风过后鱼类出现大量死亡现象^[64-66]。2008年7月台风“凤凰”给江苏水产养殖带来较重影响,其中风大水急造成洪泽湖、高邮湖及滁河南京段内的水产养殖区围网冲毁、洪水漫溢、鱼蟹大量逃逸,其中金湖县涂沟镇围网损坏0.27万hm²,超过100t的鱼蟹破网逃逸;风大雨急压力低还导致南美白对虾出现了死亡现象^[62]。

3 热带气旋对我国农业生产影响时空特征初探

热带气旋盛行的夏秋季节,正值我国农作物和经济林果旺盛生长的季节,是大部分地区粮食作物旺盛生长和产量形成的关键阶段,这个阶段热带气旋带来的强风暴雨给农作物造成的损失也较大。

3.1 秋季影响特征

9—10月热带气旋对我国农业影响区域主要为华南和江南东部,其中热带气旋登陆集中的华南沿海地区、江南东南部沿海一带受不利影响最重。秋台风对农业生产的影响不容忽视。如2014年9月台风“海鸥”造成华南、西南地区东南部农作物受灾面积达到87.7万hm²;2016年10月两个热带气旋“莎莉嘉”和“海马”造成华南农作物受灾70.5万hm²。在2010年登陆我国的8个热带气旋中,有6个在9—10月登陆;其中受第11号超强台风“凡亚比”影响,9月19—23日广东、广西等地部分地区洪涝灾害较严重,导致部分农田受淹,作物和果树生

长发育受到不利影响,其中,广东农作物受灾面积达到6.8万 hm^2 ,湖南3.89万 hm^2 ,福建3.64万 hm^2 ,广西0.46万 hm^2 。同样是在2010年,受年度最强台风第13号超强台风“鲇鱼”影响,10月下旬华南东部农业生产受到较大影响,其中,福建农作物受灾0.23万 hm^2 ,广东0.88万 hm^2 。

在各类大宗作物中,受热带气旋影响最大的为晚稻,主要原因包括两方面:一方面晚稻在华南和江南种植范围广泛、面积大,所以容易受灾;另一方面,9—10月晚稻正处于抽穗扬花至灌浆乳熟及成熟等产量形成的关键阶段,受灾后造成的产量损失更重。9—10月正值江南油菜以及华南、江南蔬菜播种出苗期,也是华南、江南东部的玉米、豆类等秋收作物的后期灌浆成熟、收获晾晒等秋收工作的开展阶段,所以该时期热带气旋也会一定程度影响秋播和秋收工作。例如,2016年在全年登陆我国的9个热带气旋中,有4个在9—10月登陆;作为2016年登陆我国大陆地区的最强台风以及1949年以来登陆闽南的最强台风,2016年第14号台风“莫兰蒂”9月14—17日给华南东部、江南东部带来暴雨到大暴雨以及8~10级大风,对粤闽浙苏皖等地部分地区秋收作物成熟收晒、晚稻授粉结实等造成较重影响,其中浙江农作物受灾4.7万 hm^2 。

9月北上热带气旋相对较少、影响偏轻,但也有发生,如2012年9月中旬台风“三巴”给东北地区带来大风暴雨,造成农作物受灾0.83万 hm^2 。

3.2 盛夏影响特征

盛夏7—8月的热带气旋对农业影响区域广泛,从华南、江南、西南地区南部向北一直到东北地区都有可能受到热带气旋的影响,其中华南南部和东部、江南东部、江淮东部等地的沿海受影响更重,如2014年7月第9号超强台风“威马逊”先后登陆华南琼粤桂三省(自治区),登陆强度历史罕见,强风暴雨造成桂粤琼滇四省(自治区)126.13万 hm^2 作物受灾,其中广西、广东、海南农作物受灾分别为77.73万 hm^2 、22.86万 hm^2 、16.34万 hm^2 ;登陆地区农作物受灾面积绝收率超过40%,粮食和经济林果等作物倒扶或折断受损比率超过85%。与秋季不同,盛夏时期南方受热带气旋影响最大的大宗作物是早稻,此时早稻正值后期灌浆、成熟和收获晾晒阶段,热带气旋带来的强风暴雨不仅使早稻遭受洪涝灾害,还易造成灌浆期或已成熟早稻大面积倒伏,被淹被毁,从而导致较重减产;其次受影响作物是晚稻、一季稻、棉花、甘蔗等。

盛夏季节登陆我国的热带气旋往往强度强、持续时间长,影响范围广泛,农业生产遭受的损失也较重。例如,2019年登陆我国最强,历史上登陆我国第五强的超强台风“利奇马”8月10日登陆浙江温岭($52\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,超强台风级),先后影响福建、浙江、上海、江苏、安徽、山东、河北、河南、天津、辽宁、吉林、黑龙江等12个省(直辖市),东部沿海地区均出现8级以上阵风,风速最大出现在浙江温岭三蒜岛($61.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),为浙江历史第二位(第一位是2006年超强台风“桑美”, $68\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。8月8—14日受影响区域普遍出现台风暴雨,台风降雨量大为主要特点,浙江、山东等地共35个气象观测站日降雨量突破当地8月历史极值,19个站点突破当地日降雨量的历史极值;台风暴雨100 mm以上覆盖的国土面积为36.1万 km^2 ,250 mm以上覆盖的国土面积为6.6万 km^2 ^[5]。狂风暴雨造成部分农田被淹、高秆作物倒伏、设施大棚损毁、养殖塘受损,其中浙江、山东局地受灾较重,但丰沛雨水有效地改善了土壤墒情,增加了农业蓄水,河北、山东、安徽、江苏、浙江等地农业干旱得以缓解,对农业生产有利。

事实上,无论是水分条件还是温度条件,热带气旋在带来暴雨洪涝等不利影响的同时也都会给南方地区农业生产带来不同程度有益的一面。尤其是盛夏季节热带气旋的活跃,及时补充了农业生产所需水分,减少农业干旱的发生;同时也利于地区之间热量调节,从而减轻南方(淮河至秦岭一带的以南地区)季节性高温的影响程度。2013年我国长江中下游地区出现历史罕见的盛夏持续高温和干旱,8月中下旬先后登陆华南沿海的热带气旋“尤特”和“潭美”给华南沿海地区带来300~600 mm降水,风力达到7~14级,大风强降水虽然造成华南地区410万 hm^2 农作物受灾,但却给长江中下游地区带来明显的降雨和降温天气,长江中下游地区大部降雨量普遍达到30~200 mm,充沛的降雨使长江中下游地区持续的干旱得到有效缓解,盛夏高温得以解除,及时缓解和抑制了该地区高温和干旱对农业生产的不利影响。

7—8月是北上热带气旋活动的高峰期,对北方(淮河至秦岭一带以北地区)而言,该时期热带气旋对农业影响明显利大于弊。多数情况下热带气旋会给北方地区带来充沛的降水,为大田中玉米、水稻等作物的旺盛生长提供了充足的水分供应,也为后期作物形成较高产量奠定了良好的土壤水分基

础,利于增加农业蓄水和防旱抗旱。如2016年8月底至9月初热带气旋“狮子山”给东北地区带来大到暴雨,东北地区土壤含水量和水库蓄水得以明显增加,东北地区西部的旱情得到及时缓解,为后期作物正常灌浆成熟提供了保障。2015年8月台风“天鹅”给吉林东部、黑龙江东南部带来了25~100 mm降水量,显著补充了土壤墒情,使得当地的旱情得以缓解,对玉米等旱地作物生长明显有利,也为后期作物生长奠定了良好的水分基础。

一般来说北上热带气旋对北方地区的不利影响因子主要是大风,大风造成农作物倒伏和折枝等机械损伤,大风叠加强降水加重了作物倒伏或被淹,影响了作物光合作用和代谢生长,从而影响后期产量形成,尤其是北方地区广泛种植的高秆作物玉米遭受大风危害就更重。近些年东北地区受北上热带气旋大风的影响较为明显,如2012年8月末第15号台风“布拉万”给东北三省带来狂风暴雨^[67],导致180万 hm^2 农作物出现大面积倒伏被淹,其中吉林、黑龙江农作物受灾面积分别达到80.5万 hm^2 、69.2万 hm^2 ;在相似的时间,即在2016年8月末第10号超强台风“狮子山”携带的强风暴雨导致东北地区79.23万 hm^2 农作物遭受倒伏和渍涝灾害,绝收农作物面积达到6.19万 hm^2 ,其中黑龙江受灾最重,受灾面积达到67.35万 hm^2 ^[13]。

3.3 热带气旋非活跃季节对我国农业影响特点

从登陆我国的热带气旋季节特征和我国农业生产的时空特点来看,除了热带气旋最早登陆我国的4月、最晚登陆的12月以及热带气旋活跃期7—10月以外,尽管4—6月、11—12月也是热带气旋登陆我国的时段,但由于这些时期不是热带气旋活跃季节,登陆我国的强度和影响相对偏轻,而且农业生产处于淡季,在地作物较少,且不是生长发育关键期,因此该期间热带气旋对我国农业生产不利影响总体较小。其中,相对而言5—6月登陆(或近海影响)我国的热带气旋数量略多些,主要影响区域为华南和华东沿海,但与盛夏和秋季相比影响显著偏轻。例如,2015年6月22—23日,台风“鲸鱼”给海南带来的强降水使旱情得到有效缓解,塘库蓄水增加,结束了海南前期持续的干旱,使海南的农业气象条件得到明显转折,对海南农林业生产十分有利,而强风暴雨造成的农业损失较小。

4 总结与进一步研究方向

1)近50年,登陆我国热带气旋影响范围广泛,

东南沿海地区登陆频率高、强度大,其中登陆次数最多的省份为广东;近50年登陆频次华南呈减少趋势、华东则变化不明显;季节性特征明显,以7、8、9月最为集中,占总登陆频数的75%,春季登陆频数较少,冬季最少;登陆区域呈现出更为集中的趋势,年平均登陆强度、登陆的强台风数量有增加趋势;平均每年约有3个北上热带气旋,7月、8月是发生的高峰期,近50年呈略有上升趋势。关于近50年登陆后热带气旋维持时间的年际变化趋势以及热带气旋在我国陆地上消失的位置和数量的变化趋势,尚未见到文献有细致报道,未来需要进一步细致深入的研究。受环境大气等因素作用,登陆后的热带气旋也会出现变性和陆上加强,变性和陆上加强近50年的变化特征也需要进一步深入研究。

2)我国的热带气旋降水、大风均与热带气旋登陆活动存在较好的时空一致性,从空间上看一般华南沿海和华东沿海地区平均降水量和大风最大。东南部地区热带气旋降水占夏季总降水量的20%~40%,部分沿海地区甚至达到50%;近50年我国受热带气旋影响地区的热带气旋降水大部呈波动下降的趋势,其中夏季华东沿海呈现增多、华南沿海和西南地区呈现减少趋势。华南沿海地区、华东沿海地区、东北地区东部易出现热带气旋暴雨;关于近50年热带气旋暴雨的变化趋势,很多区域尚未开展相关研究,目前还没有一致性的规律性认识;而且虽然关于热带气旋的气象要素相关数据库较为完备^[34],但诸多数据尚未得到充分和针对性的应用。热带气旋暴雨洪水在南方地区的区域总水灾中占比较大,虽然对北方地区的影响频次相对南方较少,但影响程度有时可能偏重。关于热带气旋暴雨洪水近50年的时间变化趋势和空间特征,相关系统性研究和文献报道相对较少。

登陆我国的热带气旋中有89%会引起大风过程,热带气旋中心登陆地区及10级风圈范围内风灾最为严重;近50年间热带气旋大风平均风速的最大值在全国及各区均呈现降低趋势。我国东南沿海地区严重的风暴潮危害往往是台风风暴潮与天文大潮相遇造成的。关于热带气旋风暴潮,由于相对于暴雨和大风而言发生频率相对较低、观测记录较少,关于其时空变化特征的明确结论文献报道相对较少。

3)热带气旋对农业的影响主要包括热带气旋大风、热带气旋暴雨和风暴潮等三方面造成的农田洪涝灾害、“雨洗禾花”、水土流失和耕地质量下降、

作物大范围倒伏、植株遭受机械损伤等,其中热带气旋暴雨洪涝灾害对农业影响最重。登陆热带气旋气流和降水加剧了南方地区稻飞虱等迁飞性虫害的流行和传播。

4)热带气旋登陆我国较为集中的7—10月,正值我国大部分地区粮食作物旺盛生长和产量形成的关键阶段,因此这个阶段农作物遭受热带气旋不利影响损失也相对较大。

秋季(9—10月)热带气旋对我国农业影响区域主要为华南和江南东部,其中华南沿海地区、江南东南部沿海一带受不利影响最重;在大宗作物中,受影响最大的为晚稻,其次为秋播和秋收等农事活动。盛夏(7—8月)的热带气旋对农业影响区域广泛,其中华南南部和东部、江南东部、江淮东部等地的沿海受影响更重;南方受影响最大的大宗作物是早稻,其次是晚稻、一季稻、棉花等;盛夏季节热带气旋在带来暴雨洪涝灾害和大风等不利影响的同时,也及时补充了南方地区农业生产所需水分,调节了地区之间热量平衡,减少盛夏季节性高温干旱的发生;7—8月是北上热带气旋活动的高峰期,其对北方地区农业影响明显利大于弊的,多数情况下给北方地区带来充沛的降水,利于大田作物旺盛生长和后期产量形成;近些年东北地区玉米等高秆作物遭受北上热带气旋大风的影响较为明显。相对7—10月而言,4—6月、11—12月不是我国热带气旋活跃季节,仅4—6月登陆热带气旋相对略多些,总体来说登陆我国的热带气旋对农业影响较小。

5)热带气旋对我国农业生产影响的时空特征与登陆我国热带气旋的时空特征存在较多一致性,但面向我国农业生产趋利避害、防灾减灾的服务需求,针对近50年热带气旋对我国农业生产影响的时空特征及相关农业生产技术尚缺少深入细致的研究和分析,未来应加强如下三方面的工作:

首先,应加强热带气旋和农作物生长发育观测数据、农业灾情信息等相关基础数据的质量控制以及数据的均一化、标准化研究工作,为热带气旋进一步研究提供科学可靠数据基础。

其次,关于登陆热带气旋对农业影响方面,缺少对农业影响的近10年至近50年变化趋势及年代际特点的深入研究,需要基于灾情数据和作物相关信息,分季节、分区域重点定量化评估登陆热带气旋暴雨、热带气旋大风对农业影响,结合农作物生长及生理生态的受影响机理,研究热带气旋造成的作物产量和品质定量化损失,为防灾减灾提供科学

依据。

第三,应从农业生产防灾减灾的长效机制角度,积极发展避灾农业,根据区域农业生产特点和热带气旋发生的时空分布规律,以最大程度规避热带气旋带来的灾害风险为目的,加强农作物季节和空间优化的结构布局、种植制度及方式的系统性研究;从挖掘防台抗台农作物种质遗传资源入手,加强选育抗风、矮秆高产、耐涝农作物品种等研究,继续深入开展利于提高水稻抗倒伏抗风的水稻机器插秧模式等研究,以提高防灾能力和生产效益。

参考文献:

- [1] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展[J].大气科学,2001,25(3):420-431.
- [2] ZHANG Q, WU L G, LIU Q F. Tropical cyclone damages in china 1983-2006[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2009, 90(4):489-496.
- [3] 叶英,董波.登陆我国热带气旋活动的年代际变化分析[J].海洋预报,2002,19(2):23-30.
- [4] 中国气象局.热带气旋年鉴 2010[M].北京:气象出版社,2012:3-163.
- [5] 中国气象局.今年第9号台风“利奇马”气象评估报告:重大信息专报第39期[R].北京:中国气象局,2019.
- [6] 徐良炎.我国台风灾害的初步分析[J].气象,1994,20(4):50-55.
- [7] DU X D, JIN X B, YANG X L, et al. Spatial-temporal pattern changes of main agriculture natural disasters in China during 1990-2011[J]. J Geogr Sci, 2015, 25(4):387-398.
- [8] 李瑞英,李茂松,王小兵,等.台风对我国农业的影响及防御对策[J].自然灾害学报,2006,15(6):127-130.
- [9] XIAO F J, XIAO Z N. Characteristics of tropical cyclones in China and their impacts analysis[J]. Nat Hazards, 2010, 54(3):827-837.
- [10] 贺海晏,简茂球,宋丽莉,等.近50a广东登陆热带气旋的若干气候特征[J].气象科学,2003,23(4):401-409.
- [11] 中国气象局.热带气旋年鉴 2013[M].北京:气象出版社,2015:3-229.
- [12] 中国气象局.热带气旋年鉴 2015[M].北京:气象出版社,2017:3-185.
- [13] 中国气象局.热带气旋年鉴 2016[M].北京:气象出版社,2018:3-188.
- [14] 冯颖竹.登陆广东热带气旋的气候特征及灾害特点[J].仲恺农业技术学院学报,1997,10(2):38-41.
- [15] 梁海萍,梁海燕,车志伟,等.近五十年登陆海南省的热带气旋统计特征分析[J].海洋预报,2015,32(4):

- 68-74.
- [16] 杨玉华,应明,陈葆德.近 58 年来登陆中国热带气旋气候变化特征[J].气象学报,2009,67(5):689-696.
- [17] 张俊香,刘旭珑,宫清华.近 60 年华南沿海登陆热带气旋特征和热带气旋巨灾灾情分析[J].热带地理,2012,32(4):357-363.
- [18] 黄雪松,廖雪萍,覃卫坚.广西热带气旋特征变化与灾损变化态势[J].气象研究与应用,2014,35(1):1-6.
- [19] CHAO Q C, CHAO J P. Statistical features of tropical cyclones affecting China and its key economic zones[J]. Acta Meteorologica Sinica,2012,26(6):758-772.
- [20] 李英,陈联寿,张胜军.登陆我国热带气旋的统计特征[J].热带气象学报,2004,20(1):14-23.
- [21] 周小珊,杨阳,杨森,等.北上热带气旋气候特征分析[J].气象与环境学报,2007,23(6):1-5.
- [22] 王秀萍,梁军.近 52 年北上热带气旋的若干气候特征[J].气象,2006,32(10):76-80.
- [23] 程正泉,陈联寿,刘燕,等.1960-2003 年我国热带气旋降水的时空分布特征[J].应用气象学报,2007,18(4):427-434.
- [24] LI R C Y, ZHOU W. Interdecadal changes in summertime tropical cyclone precipitation over Southeast China during 1960-2009[J]. J Climate,2015,28(4):1494-1509.
- [25] 王咏梅,任福民,李维京,等.中国台风降水的气候特征[J].热带气象学报,2008,24(3):233-238.
- [26] 孙林海,艾子兑秀,宋文玲,等.影响中国降水的热带气旋的气候特征分析[J].热带气象学报,2010,26(1):60-64.
- [27] 周淑玲,王科,闫淑莲,等.山东半岛两次秋季台风远离大暴雨的特征分析[J].海洋气象学报,2019,39(2):84-93.
- [28] 柳龙生,吕心艳.2018 年西北太平洋和南海台风活动概述[J].海洋气象学报,2019,39(2):1-12.
- [29] 王靖,钱传海,张玲.2017 年西北太平洋和南海台风活动概述[J].海洋气象学报,2018,38(2):1-11.
- [30] 陈联寿,孟智勇,丛春华.台风暴雨落区研究综述[J].海洋气象学报,2017,37(4):1-7.
- [31] 沈树勤,于波,张菊芳,等.华东地区热带气旋暴雨气候特征及其落区预报[J].气象,1996,22(2):33-37.
- [32] ZHAO S S, WANG X L. Decadal variations of extreme tropical cyclones influencing China during 1949-2009[J]. Adv Climate Change Res,2012,3(3):121-127.
- [33] 刘通易,吴立广,张娇艳,等.1965—2010 年 7—9 月中国的热带气旋降水变化趋势分析[J].气象学报,2013,71(1):63-75.
- [34] YING M, ZHANG W, YU H, et al. An overview of the China Meteorological Administration Tropical Cyclone Database[J]. J Atmos Ocean Technol,2014,31(2):287-301.
- [35] ZHANG Q, GU X H, SHI P J, et al. Impact of tropical cyclones on flood risk in southeastern China: Spatial patterns, causes and implications[J]. Global Planet Change,2017,150:81-93.
- [36] 周子康,刘为伦.台风对浙江省农业的影响分析[J].中国农业气象,1994,15(1):20-24.
- [37] 中国气象局.2014 年热带气旋年鉴[M].北京:气象出版社,2016:3-174.
- [38] 任振球,张素琴,李松勤.“三带”天气系统交会和引潮力共振对华北特大暴雨形成的影响[J].水科学进展,1994,5(4):255-261.
- [39] 王达文.北上热带气旋分析与预报[M].北京:气象出版社,2001:1-20.
- [40] 陈联寿,徐祥德,罗哲贤,等.热带气旋动力学引论[M].北京:气象出版社,2002:19-21.
- [41] 中国气象局.热带气旋年鉴 2006[M].北京:气象出版社,2008:3-200.
- [42] 俞燎霓,胡波,董加斌,等.1953—2012 年间影响浙江的热带气旋大风的气候特征及其影响因素分析[J].应用海洋学学报,2013,32(2):171-177.
- [43] 田辉,马开玉,林振山.华南、华东沿海登陆台风暴雨和大风的分析[J].应用气象学报,1999,10(增刊):148-152.
- [44] 应明,杨玉华,陈葆德.近 50 年影响中国热带气旋的气候变化特征[J].中国科学:地球科学,2011,41(9):1352-1364.
- [45] LI R C Y, WEN Z, SHUN C M, et al. Change in destructiveness of landfalling tropical cyclones over China in recent decades[J]. J Climate,2017,30(9):3367-3379.
- [46] 宋城城,李梦雅,王军,等.基于复合情景的上海台风风暴潮灾害危险性模拟及其空间应对[J].地理科学进展,2014,33(12):1692-1703.
- [47] 许金电,郭小钢,黄奖.2006 年夏季福建近海台风风暴潮特征分析[J].台湾海峡,2011,30(4):473-482.
- [48] 陈联寿.中国台风灾害及台风登陆动力过程的研究[J].科技和产业,2002,2(2):51.
- [49] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:3-150.
- [50] 李江南,王安宇,杨兆礼,等.台风暴雨的研究进展[J].热带气象学报,2003,19(增刊):152-159.
- [51] 云勇,严小微,唐清杰,等.海南台风暴雨对水稻的危害及灾后补救措施[J].杂交水稻,2014,29(1):44-45.
- [52] 周子康,刘为伦.台风对浙江农业的影响及其对策研究[J].杭州大学学报(自然科学版),1994,21(1):92-98.
- [53] 叶旭君,王兆骞,汪成宏,等.台风暴雨对浙东沿海农田生态环境的影响及其对策[J].生态农业研究,1999,

- 7(4):38-40.
- [54] 郭勤,杨诗定.台风对我国农业的影响及其防范措施[J].南方农业,2015,9(30):209,211.
- [55] 何贤彪,吴晓华,马义虎.台州沿海台风所致水稻倒伏对产量的影响[J].中国稻米,2015,21(2):28-29.
- [56] 金志凤,吴杨,金昌林,等.台风对浙江省农业生产影响及防御措施[J].浙江农业学报,2011,23(2):358-363.
- [57] 王翠花,翟保平,包云轩.“海棠”台风气流场对褐飞虱北迁路径的影响[J].应用生态学报,2009,20(10):2506-2512.
- [58] 郝振华,杨海博,张海燕,等.台风莫兰蒂对褐飞虱迁飞的影响[J].应用昆虫学报,2011,48(5):1278-1287.
- [59] 丁文文,林磊,黄玲玲.热带气旋对褐飞虱迁飞过程的影响[J].北京农业,2015(21):157-158.
- [60] 杨小锋,李劲松,杨沐,等.台风“康森”对海南三亚设施农业的危害调查与分析[J].温室园艺,2011(2):20-21.
- [61] 林焱.温岭市设施农业抗台风避灾对策[J].现代农业科技,2006(11):66,68.
- [62] 茆海云,张佩,韩照全,等.台风凤凰对江苏农业的影响[J].现代农业科技,2008(19):363-364.
- [63] 徐继林,小军,陈德莹,等.台风过后网箱养殖大黄鱼恢复过程中血清代谢物变化的研究[J].分析化学,2010,38(9):1249-1255.
- [64] CHUANG L C, SHIEH B S, LIU C C, et al. Effects of typhoon disturbance on the abundances of two mid-water fish species in a mountain stream of northern Taiwan[J]. Zool Stud,2008,47(5):564-573.
- [65] TEW K S, HAN C C, CHOU W R, ET AL. Habitat and fish fauna structure in a subtropical mountain stream in Taiwan before and after a catastrophic typhoon [J]. Environ Biol Fish,2002,65(4):457-462.
- [66] LUTHER G W, MA S F, TROUWBORST R, et al. The roles of anoxia, H₂S, and storm events in fish kills of dead-end canals of Delaware inland bays [J]. Estuar Coast,2004,27(3):551-560.
- [67] 罗斌祥.台风“布拉万”对黑龙江省农业的影响[J].黑龙江气象,2013,30(1):27-28.