

DOI: 10.5846/stxb202006071476

黄雪松,陈燕丽,莫伟华,范航清,刘文爱,孙明,谢敏,徐圣璇.近 60 年广西北部湾红树林生态区气候变化及其影响因素.生态学报,2021,41(12): 5026-5033.

Huang X S, Chen Y L, Mo W H, Fan H Q, Liu W A, Sun M, Xie M, Xu S X. Climate change and its influence in Beibu Gulf mangrove biome of Guangxi in past 60 years. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(12): 5026-5033.

近 60 年广西北部湾红树林生态区气候变化及其影响因素

黄雪松¹, 陈燕丽², 莫伟华^{2,*}, 范航清³, 刘文爱³, 孙 明², 谢 敏¹, 徐圣璇¹

1 广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022

2 广西壮族自治区气象科学研究所/国家卫星气象中心卫星遥感应用试验基地, 南宁 530022

3 广西红树林研究中心, 北海 536000

摘要:利用广西北部湾红树林生态区 6 个市(县)的国家气象观测站 1961—2019 年气象资料以及海平面资料,分析近 60 年来该生态区基本气候要素、极端天气气候事件及海平面的变化趋势及其对红树林的影响,并分析未来气候变化对区域红树植物可能造成的影响。结果表明:北部湾红树林生态区年平均气温、年平均最低气温升高,高温日数增多,低温日数和年降水量变化趋势不明显。最长连续无降水日数多数市(县)变化趋势不明显;年霜冻日数减少;热带气旋影响个数减少但平均强度呈微弱增大趋势;大风日数减少;海平面呈缓慢上升趋势。根据 RegCM4 区域气候模式预估,未来 40 年(2021—2060 年),在 RCP4.5 情景下,相对于参照时段(1986—2005 年),该生态区年平均气温将上升 0.9—1.4℃,年平均最高气温和年平均最低气温均升高,高温日数增多、低温日数减少;年降水量将增多 1%—2%;最长连续无降水日数增多;霜冻日数减少;预计未来 30 年,广西沿海的海平面较 2019 年上升 40—160mm。年平均气温和极端气温的升高以及冬季低温日数和霜冻日数的减少将有利于热带红树植物的北扩;夏季高温导致的蒸发加剧及夏秋季最长连续无降水日数增多,可能加剧红树林病虫害。极端灾害性天气气候事件、海平面上升和人为影响等多重作用会对红树林分布格局产生重大影响,导致红树林生态退化风险增大。

关键词:近 60 年;广西北部湾;红树林生态区;气候变化;气候影响

Climate change and its influence in Beibu Gulf mangrove biome of Guangxi in past 60 years

HUANG Xuesong¹, CHEN Yanli², MO Weihua^{2,*}, FAN Hangqing³, LIU Wenai³, SUN Ming², XIE Min¹, XU Shengxuan¹

1 Guangxi Zhuang Autonomous Region Climate Center, Nanning 530022, China

2 Guangxi Zhuang autonomous region meteorological sciences institute/National Satellite Meteorological Center satellite Remote sensing Application test Base, Nanning 530022, China

3 Guangxi Mangrove Research Center, Beihai 536000, China

Abstract: By using the meteorological data of the national meteorological observation stations of six cities (counties) and sea level data of mangrove biome in Beibu Gulf of Guangxi from 1961 to 2019, the basic climatic factors, extreme weather and climate events, sea level change trends and their impacts on mangroves in the past 60 years were analyzed, and the possible impacts of future climate change on regional mangrove plants were analyzed. The results indicate that, the annual

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF202030);广西红树林保护与利用重点实验室开放基金项目(GKLMC-201804);中国气象局气象软科学项目(2020ZZXM15);广西气象局气象科研计划(桂气科 2019M02)

收稿日期:2020-06-07; 网络出版日期:2021-04-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mwh-0419@163.com

average temperature and the annual average minimum temperature in the Beibu Gulf mangrove ecosystem increased. The number of high temperature days increased, the variation trend of the number of low temperature days and annual precipitation were not obvious. The longest continuous days without precipitation in most cities (counties) have no obvious change trend, and the number of annual frost days decreased. The number of tropical cyclone influence decreased but the average intensity increased slightly. The windy days decreased and sea levels are slowly rising. According to the RegCM4 regional climate model, under the RCP4.5 scenario, compared with the reference period (1986—2005), the averagely annual temperature in this ecological area will rise by 0.9—1.4℃, the annual mean maximum temperature and annual mean minimum temperature will both increase, the number of high temperature days will increase and low temperature days will decrease. The annual precipitation will increase by 1% to 2%, the longest continuous number of days without precipitation will increase, and the frost days will decrease in the next 40 years (2021—2060). It is estimated that in the next 30 years, the sea level along the coast of Guangxi will rise by 40—160 mm compared with 2019. The increase of annually mean temperature and extreme temperature, the decrease of cold days and frost days in winter will be both beneficial to the northward expansion of tropical mangrove plants. The increase of evaporation caused by the high temperature in summer, the increase of the longest consecutive days without precipitation in summer and autumn may aggravate the diseases and insect pests in mangroves. The multiple effects of extreme weather and climate events, sea level rise and anthropogenic influences will have a significant impact on the mangrove distribution pattern and the increased risk of ecological degradation.

Key Words: past 60 years; Guangxi Beibu Gulf; mangrove biome; climate change; climate influence

广西北部湾由沿海的防城港、钦州、北海三市组成,区域内拥有总面积全国第二、天然林面积全国第一的红树林以及山口和北仑河口两个红树林国家级自然保护区。红树林是热带和亚热带潮间带特有的盐生木本植物群落,也是至今世界上少数几个物种多样化的生态系统之一^[1],拥有丰富的生物资源量,生态价值极高^[2]。广西北部湾红树林生态区属南亚热带海洋性季风气候区,得天独厚的地理环境和气候条件使红树林得以繁衍、生长并发挥着固碳、生物多样性、防风消浪、固岸护堤、净化海水和空气等重要生态功能^[3]。

气候变化对植被的重要影响作用已在多种典型植被生态系统中被证实^[2-4]。研究发现,气候变化导致北方 83.36% 的草原面积干旱程度增强,草原植物群落生产力呈现出了明显的减少趋势^[5-6]。气候变化导致的变暖趋势会引起海平面上升,其对红树林的影响最大^[7-9],海平面上升耦合气温升高、降雨量增多以及亚热带冬季低温事件减少,对红树林碳埋藏具有促进作用^[10]。气温升高是红树林北移扩展的主要原因^[11],预测温度升高 2℃ 后,我国红树植物分布区可能扩大,但太高的气温并不利于其叶的形成和光合作用^[11]。气候变化改变了降水的时空布局,红树林生境土壤和水的盐度改变对红树林也有较大影响^[9]。此外,全球气候变暖背景下,红树林生态区霜冻、干旱等极端灾害性天气气候事件的变化,对红树林生长环境、红树林生态结构也会造成严重影响,并导致红树林病虫害的危害加重^[12]。已有学者针对广西红树林生长、退化、病虫害的气候条件分析研究,但在气候因子分析方面仅局限于平均值^[13],目前仍未开展广西北部湾红树林生态区历史气候变化分析工作,对各个红树林保护区的气候变化影响及未来气候变化可能影响方面均鲜有研究。

利用广西北部湾红树林生态区历史气候及海平面资料,分析生态区基本气候要素与极端天气气候事件、海平面的变化趋势及其对红树林影响,以及未来气候变化对广西红树植物可能造成的影响,拟为科学认识气候变化对红树林生态系统的影响和制定保护红树林的有效气候变化应对方案提供科学依据。

1 资料

气象资料:红树林生态区的北海、合浦、防城港、防城、东兴、钦州 6 个市(县)的 1961—2019 年气温、降水量、霜冻、大风、高温、低温、热带气旋、干旱等气象要素或灾害性天气资料,来源于广西国家级地面气象观测站的观测数据。热带气旋(TCs)资料来自上海台风研究所;热带气旋的强度指气旋影响期间的最大风速,热带

气旋的最大强度定义为当年热带气旋极端最大风速^[9]。海平面资料来自国家自然资源部和相关文献^[14-16]。

2 方法

采用线性倾向估计法及相关系数检验法分析气候变化趋势;采用全球气候模式比较计划第五阶段 CMIP5 气候模式进行未来气候预估。

2.1 线性倾向估计、相关系数检验法

用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{x}_i = a + bt_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

对序列 x_i 及相应的 t_i , 回归系数 b 和回归常数 a 的最小二乘估计为

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (2)$$

$$a = \bar{x} - b\bar{t} \quad (3)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4)$$

t_i 与 x_i 之间的相关系数

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}} \quad (5)$$

回归系数 b 的符号表示气候变量 x 的趋势倾向,当 $b > 0$ 时,说明 x 随时间 t 的增加而呈上升趋势;当 $b < 0$ 时,说明随时间 t 的增加, x 呈下降趋势。 b 值的大小反映了上升或下降的速度。

相关系数 r 表示 x 与 t 之间线性相关的密切程度,当 $r > 0$ 、 $b > 0$ 时,说明 x 随 t 的增加呈上升趋势;当 $r < 0$ 、 $b < 0$ 时,说明 x 随 t 的增加呈下降趋势。 $|r|$ 越大, x 与 t 之间的线性相关就越密切。要判断变化趋势的程度是否显著,还要对相关系数进行显著性检验。确定显著性水平 α , 若 $|r| > r_\alpha$, 表示 x 随 t 的变化趋势是显著的, 否则表明变化趋势不显著。

2.2 RegCM4 区域气候模式集合预估

为了预估未来气候变化,必须事先提出未来温室气体和硫酸盐气溶胶的排放情况,即所谓的排放情景,排放情景通常是根据一系列因子假设而得到(包括人口增长、经济发展、技术进步、环境条件、全球化、公平原则等)。新一代的温室气体主要强调的是辐射强迫的变化,成为“典型浓度目标”(Representative Concentration Pathways, RCPs),主要包括四种情景:

(1) RCP8.5 情景:最高的温室气体排放情景。假定人口最多、技术革新率不高、能源改善缓慢,所以收入增长缓慢。这将导致长时间高能源需求及高温室气体排放,但又缺少应对气候变化的政策。此情景下,2100 年辐射强迫上升至 8.5W/m^2 。

(2) RCP6.0 情景:采用中等排放基准和高减缓措施,2100 年辐射强迫稳定在 6.0W/m^2 。

(3) RCP4.5 情景:采用低端排放基准和中等减缓措施,2100 年辐射强迫稳定在 4.5W/m^2 。

(4) RCP2.6 情景:把全球平均气温上升限制在 2°C 之内,其中 21 世纪后半叶能源应用为负排放,辐射强迫在 2100 年之前达到峰值,到 2100 年下降至 2.6W/m^2 。

其中,RCP4.5 温室气体排放情景在未来时段最有可能发生,其对应的气候变化预估结果相对而言代表性更强,因此,本文采用 RCP4.5 情景下的气候预估结果。

基于一套 RegCM4 区域气候模式动力降尺度试验结果,进行广西北部湾红树林生态区在 21 世纪初期至中期 RCP4.5 温室气体排放路径下的气候变化集合预估;试验中 RegCM4 在 5 个不同的 CMIP5 (Coupled Model

Intercomparison Project Phase 5) 全球气候模式分别驱动下运行,水平分辨率为 25 km×25 km^[17],所有未来预估结果都是相对于 1986—2005 年参照时段^[17]。

3 结果

3.1 气候变化事实

3.1.1 气候概况

广西北部湾红树林生态区年平均气温 22.7℃,冬季平均气温 15.4℃,夏季平均气温 28.3℃。年均最高气温 26.5℃,年均日最高气温≥30℃的高温日数为 139d(其中日最高气温≥35℃的高温日数为 4d),年均最低气温 20.0℃,年均日平均气温≤8℃的低温日数为 4d,年极端最高气温 38.4℃(东兴),年极端最低气温-1.8℃(钦州)。年平均降水量 2273.9mm(见表 1);多年平均(1965—2019 年)海平面 2569mm^[14-16]。

表 1 广西北部湾红树林生态区多年平均(1961—2019 年)气象要素值
Table 1 Average meteorological elements values in Beibu Gulf mangrove biome of Guangxi (1961—2019)

气象要素 Meteorological elements	北海	合浦	钦州	防城港	防城	东兴
年平均气温/℃ Annual average temperature	22.9	22.9	22.4	22.8	22.2	22.8
年平均降水量/mm Mean annual precipitation	1776.5	1843.6	2175.8	2505.3	2594	2657.9
年平均最高气温/℃ Annual mean maximum temperature	26.7	27.1	26.4	25.9	26.2	26.5
年平均最低气温/℃ Annual mean minimum temperature	20.2	19.9	19.6	20.5	19.4	20.1
年极端最高气温/℃ Annual extreme maximum temperature	37.1	37.6	37.8	37.4	37.8	38.4
年极端最低气温/℃ Annual extreme minimum temperature	2	-0.8	-1.8	2.3	1.4	2.3
年均日最高气温≥30℃日数/d Number of days with annual maximum daily temperature ≥30℃	145	156	142	122	135	131
年均日平均气温≤8℃日数/d Number of days with average annual daily temperature ≤8℃	5	5	5	3	4	1

广西北部湾红树林生态区主要灾害性天气气候事件有暴雨洪涝、台风、干旱、高温、低温冷害、大风、冰雹和雷暴等,其中对红树林造成危害的以霜冻^[18]、高温^[6]、少雨^[12]、热带气旋、大风^[6]为主。

霜冻是指地面温度降到 0℃或以下时导致农作物或植物损伤的灾害,出现霜冻的当日即为霜冻日,红树林生态区年平均霜冻日数 3 d(防城港建站以来从未出现过霜冻)。红树林生态区年平均日最高气温≥30℃的日数主要出现在 5—10 月,其中 6—9 月各地日最高气温≥35℃的高温日数为 21—27d;各地年均干旱日数 50—131d,其中重旱以上等级的干旱日数为 13—35d。影响广西北部湾红树林生态区的热带气旋平均每年有 5 个,最多的影响年份有 9 个,影响时间为 4 月底至 12 月初,其中 7—9 月为影响高峰期。除热带气旋以外的天气系统造成的大风有春季或冬季温带气旋、秋冬季节的寒潮大风,红树林生态区年均大风日数为 7d。

3.1.2 气候变化

(1) 气温变化

1961—2019 年,广西北部湾红树林生态区 6 个市(县)年平均气温均呈升高变化趋势,其中合浦、防城港和防城的升温速率为 0.3℃/10a(每 10 年升温 0.3℃,下同),北海、钦州、东兴的升温速率为 0.2℃/10a。冬季平均气温除防城港变化趋势不明显外,其余 5 个市(县)升温速率为 0.2—0.3℃/10a;夏季平均气温升温速率为 0.1—0.4℃/10a,升温幅度最大的是防城港。

年平均最高气温和年极端最高气温钦州、合浦呈升高趋势,北海、防城港、东兴、防城变化趋势不明显。日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 的日数 6 个市(县)均呈增多趋势。

年平均最低气温 6 个市(县)均呈升高趋势。年极端最低气温除防城港变化趋势不明显外,其余 5 个市(县)均呈升高趋势。日平均气温 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 的低温日数钦州、合浦呈减少趋势,其余 4 个市(县)变化趋势不明显(表 2)。

表 2 1961—2019 年广西北部湾红树林生态区气温变化速率表

Table 2 Rate of temperature change in Beibu Gulf mangrove biome of Guangxi (1961—2019)

气象要素 Meteorological elements	北海	合浦	钦州	防城港	防城	东兴
年平均最高气温变化率/($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$) Rate of annual mean maximum temperature change	不明显	+0.2	+0.2	不明显	不明显	不明显
年平均最低气温变化率/($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$) Rate of annual mean minimum temperature change	+0.3	+0.4	+0.5	+0.5	+0.4	+0.2
年极端最高气温变化率/($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$) Rate of annual extreme maximum temperature change	不明显	+0.2	+0.1	不明显	不明显	不明显
年极端最低气温变化率/($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$) Rate of annual mean extreme minimum temperature change	+0.3	+0.4	+0.5	不明显	+0.4	+0.2
年均日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日数变化率/($\text{d}/10\text{a}$) Rate of annual mean number of days with maximum daily temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$ change	+3	+5	+5	+13	+4	+5
年均日平均气温 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 日数变化率/($\text{d}/10\text{a}$) Rate of annual mean number of days with average daily temperature $\leq 8^{\circ}\text{C}$ change	不明显	-0.8	-0.7	不明显	不明显	不明显

(2) 降水变化

1961—2019 年,广西北部湾红树林生态区 6 个市(县)的年平均降水量变化趋势均不明显,但时空分布不均;2001 年防城港、钦州、防城、东兴的年降水量及 2008 年北海和合浦的年降水量为 1961 年以来最多;防城港、防城、东兴的最少年降水量出现在 2019 年和 1991 年,而北海、合浦的最少年降水量出现在 1962 年(均不足 1000mm)。

(3) 极端天气气候事件变化

1) 霜冻

1961—2019 年,红树林生态区除了北海年霜冻日数变化趋势不明显、防城港无霜冻外,其余 4 个市(县)的年霜冻日数均呈现微弱减少趋势。

2) 高温、少雨

1961—2019 年,日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 的日数防城港增多速率为 14d/10a,其余 5 个市(县)增多速率为 3.2—5.5d/10a,其中日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数钦州、合浦、防城增多 1—3d/10a,北海、东兴、防城港增多 0.3—0.7d/10a。

最长连续无降水日数:北海、合浦增多 1.6d/10a,其余 4 个市(县)变化趋势不明显。

3) 热带气旋、大风

1961—2019 年,影响广西北部湾红树林生态区的热带气旋个数以 0.5 个/10a 的速率减少,但强热带气旋(达到台风以上强度的热带气旋,包括台风(TY, $32.7\text{m/s} \leq V < 41.5\text{m/s}$),强台风(STY, $41.5\text{m/s} \leq V < 50\text{m/s}$)和超强台风(SuperTY, $V \geq 51\text{m/s}$))个数变化趋势不明显。影响的热带气旋平均强度以 $1.2\text{m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 的速率增强,但最大强度变化趋势不明显。红树林区 6 个市(县)的大风日数均呈明显减少趋势(减少速率为 1—6d/10a),其中防城港、合浦变化率分别为 -6d/10a 和 -5d/10a,其余 4 个市(县)为 -1—-2d/10a。

(4) 海平面变化

全球气候变暖造成的极地冰川消融、上层海水变热膨胀引起全球性海平面上升。观测数据显示:1965 年以来,广西沿海海平面呈缓慢上升趋势,其中 1980—2019 年间海平面上升速率为 2.5mm/a。海平面调查评估结果表明:自 2001 年以来,广西沿海的海平面总体处于历史高位,2001—2010 年的平均海平面比 1981—1990 年的平均海平面高约 48mm,比 1991—2000 年的平均海平面高约 22mm,而 2011—2019 年的平均海平面又比 2001—2010 年的平均海平面高约 46mm^[14-16]。

3.2 未来气候变化情景预估

RCP4.5 温室气体排放情景下,相对于 1986—2005 年的平均值,2021—2060 年广西北部湾红树林区年平均气温将上升 0.9—1.4℃,平均最高气温和平均最低气温均以 0.1—1.5℃/10a 的速率上高;冬季和夏季的平均气温均升高 0.9—1.5℃;极端最高气温升高 1.0—1.7℃,极端最低气温升高 1.1—1.4℃^[17];日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 的日数和日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数均增多,日平均气温 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 的低温日数减少。年降水量将增多 1%—2%^[19],霜冻日数将减少 1—5d^[19],最长连续无降水日数变化趋势不明显^[17]。根据 2015 年的 CO₂ 排放水平,2100 年大气中的 CO 浓度将达到 0.075%—0.1%。预计未来 30 年,广西沿海的海平面较 2019 年上升 40—160mm^[15]。

4 结论

(1) 1961—2019 年,广西北部湾红树林生态区变暖趋势显著、降水量变化趋势不明显、海平面呈缓慢上升趋势。

(2) 红树林生态区气象灾害影响总体呈减弱趋势,其中各地的年霜冻日数多呈微弱减少趋势;北海、合浦的年最长连续无降水日数呈增多趋势,其余 4 个市(县)的变化趋势不明显;热带气旋影响个数减少、平均强度增大;大风日数减少。

(3) 预计未来 40 年,RCP4.5 温室气体排放情景下,广西北部湾红树林生态区年平均气温、平均最高气温、平均最低气温、冬季和夏季气温、极端最低和极端最高气温均升高;高温日数增多,低温日数减少;年降水量增多但时空分布不均匀,最长连续无降水日数变化趋势不明显;霜冻日数减少。预计未来 30 年,广西沿海的海平面较 2019 年上升 40—160mm。

5 讨论

5.1 气候变化影响

5.1.1 低温、霜冻

以全球变暖为主要特征的气候变化过程中,异常年份出现的冬季低温寒冻天气对地处低纬度的广西北部湾红树林生态区影响极为显著。2008 年 1 月中旬至 2 月初,广西出现持续低温寒冻天气,致使北部湾各类红树林不同程度受灾:钦州 20 世纪 80 年代种植的红海榄和 2002 年种植的无瓣海桑大量死亡^[18];防城港和钦州的白骨壤受害较为严重,近 30% 的红树叶片枯黄;钦州、防城港的人工造林的无瓣海桑全部落叶;全广西红树林遭受严重寒害的面积达 2013.6 hm² (占广西红树林天然林总面积的 24%),另有 777.9 hm² 的人工红树林遭受严重冻害(占广西人工红树林的 58%);部分红树林死亡或濒临死亡,自然演替过程倒退^[18]。虽然大部分红树植物能够在气温回升后逐渐长出新叶,但寒害对大多数红树植物的开花结果产生了较大的负面影响:2008 年初的极端低温减弱了红树植物的繁殖生长,导致当年结果率显著降低,使得 2008 年后红树植物种苗数量大量减少,这次寒害造成的育苗损失和花果减产影响了以后 1—2 年内的红树林造林工程^[18]。

5.1.2 高温、干旱

气候变化背景下的升温、干旱增多以及 CO₂ 浓度增加,对红树林生态结构造成危害:红树林生长过程中,对气温较为敏感,气温超过 35℃ 时,红树植物根的结构、苗的发育以及光合作用将受到很大的负面影响^[8];广西北部湾红树林生态区常年平均相对湿度在 80% 以上,如遇持续高温少雨天气导致的干旱或高温伴有空

气湿度偏大,则可能为红树林病虫害繁衍创造有利条件^[20];CO₂浓度增加使得红树林的树叶营养成分下降,红树植物病虫害生存所需的树叶数量更多^[21-23],从而导致病虫害发生时红树林损毁面积扩大。

红树植物虫害一般发生在夏、秋两季温度较高的月份。温度与昆虫的生活世代相关,单位时间内的有效基温越高,昆虫完成一个世代的时间越短,单位时间内出现的世代数就越多。近 20 年来,广西北部湾红树林病虫害频繁发生,其中 2004 年 5 月、2008 年、2015 年 9 月下旬和 2016 年 9 月中旬病虫害严重^[21-23]。广西北部湾红树林区出现的几次较严重病虫害都与期间的高温、连续无降雨日数较多的气候条件有关:2004 年 5 月,合浦县日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日数多达 19d,最长连续无降雨日数为 8d,导致合浦县山口红树林保护区出现了 1964 年以来最严重的白骨壤病虫害;2015 年 9 月 2—23 日,合浦县、防城港市日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日数分别为 20d 和 13d,最长连续无降水日数分别为 6d 和 7d,截至 9 月 23 日防城港市北仑河红树林保护区和合浦山口红树林保护区共出现 300 hm²白骨壤病虫害^[21-23]。

5.1.3 热带气旋、大风

热带气旋以及其它各类天气系统造成的大风可导致海上风暴潮和巨浪。热带气旋平均强度增大所导致的强大风暴可能影响红树林的群落结构(对大树的影响尤为显著),降低红树林的多样性指数;风暴潮、巨浪的频次和强度的增加,将会冲走红树林根系周围的有机物,影响红树林的促淤固滩功能^[24]。

5.1.4 海平面上升

海平面上升作为一种由气候变暖引起的缓发性海洋灾害,其长期的累积效应将加剧风暴潮,并可能造成红树林的退缩^[10],红树林演替顶级群落向陆扩展或者衰退(海堤阻断自然演替的空间),连片红树林的破碎,红树林生境滩涂高程的变化或地形的改变等系列影响^[24-25]。海平面上升导致红树林区域被海水浸泡的时间变长,对红树植物有害的团水虱滤食时间就变长,从而使红树林遭受团水虱的严重危害^[26]。

5.2 未来气候变化可能造成的影响

全球变暖将改变红树林的生长区域范围,使红树林向高纬度扩展,生长范围变化会让红树林的种类更丰富,有利于红树林碳埋藏,但是不适应气候变暖的红树种类将面临生存困境。未来气温升高和霜冻日数的减少将有利于热带红树植物的北扩,广西红树林研究中心范航清博士调查发现,气候变暖使得中国红树林分布已经北移了 1 个纬度^[27]。未来广西北部湾红树林生态区气温的升高和 CO₂浓度的增大,将促进红树植物生长、提高红树林生产力^[20]。未来平均最低气温的升高、低温日数减少和霜冻日数的减少,将减少冬季寒冻对红树林造成危害的频率^[20]。

气候变暖导致暖冬、暖春、炎夏、热秋增多,有利于红树木病虫害越冬、扩展、越夏;冬季寒冷天气本可使很多致病菌和虫害因低温而丧失生存能力,但暖冬使病虫害种群增长力、繁殖世代数增加,将更利于病虫害越冬和繁衍^[28];夏季和秋季的日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日数及连续无降水日数的增多,将使广西北部湾红树林病虫害的发生更趋于频繁,可能加剧引发红树林病虫害,且红树林病虫害发生时红树林损毁面积趋于扩大^[20]。

未来广西沿海海平面的上升,将加大红树林区域低地、岛屿、滩涂的淹没面积,增加海岸侵蚀的强度和范围,加剧红树林生态退化,导致红树林面积逐步减少^[29]。气候变暖可使红树林适应生境向亚热带扩展,红树林的生长本身可以抬升滩涂高程,在原来适宜红树林生长的滩涂,如果红树林抬升高程的速度赶不上海平面上升的速度,将导致红树林的生长空间减小^[30]。海平面升高,将使沿海地区灾害性热带气旋和风暴潮的发生更为频繁,而风暴潮、巨浪的频次和强度的增加,将会冲走红树林根系周围的有机物,影响红树林的促淤固滩功能;强大的风暴潮将影响红树林的群落结构,从而降低红树林多样性指数,同时会影响红树林的生长和分布格局^[27]。预计海平面上升导致潮水浸淹时间、频率增加,加上波浪作用的增强,将使那些向陆地推移而受阻的红树林退化^[31]。有关专家利用红树林边界位置预测模型以及地理信息系统软件分析海平面上升引起的合浦县山口英罗湾红树林保护区的红树林边界的移动,研究结果显示:自 2000 年到 2100 年,当平均海平面上升 28cm 或 35cm 时,合浦县山口英罗湾红树林向海、向陆两侧的面积均向外扩展,导致红树林面积分别增加 2.41hm²和 1.46hm²;当海平面上升 43cm 时,该区域红树林向海、向陆边界均向陆地方向移动,导致红树林面积增

加 0.45hm^2 ; 当海平面上升 58cm 时, 红树林向陆侧面积增加, 向海侧面积减小, 该区域红树林向海、向陆边界均向陆地方向移动, 导致红树林面积减少 1.15hm^2 [32]。由于生长在海陆交界处, 在气候变化的各种效应中, 海平面上升是对红树林的最大威胁之一 [20], 澳大利亚和美国科学家的研究结果显示, 当海平面上升年速率超过 6mm 时, 红树林很可能会停止与上升的水位保持同步, 这与 2050 年高排放情景 (RCP8.5) 下的估计相似; 预计在本世纪低排放情景 (RCP4.5—RCP2.6) 下, 海平面每年上升小于 5mm , 红树林更有可能生存下来 [29]。海平面升高速率的加快将导致风暴潮灾害发生频率增高、影响范围扩大、灾害损失加剧的趋势 [10]。未来气候变化虽然能减少寒冻对红树植物的影响几率, 但极端低温的出现、气温的升高、连续无降水日数的增多、 CO_2 浓度的增大, 将导致更严重的红树林病虫害和红树林生态退化, 而红树林退化将严重削弱或丧失防浪护岸、捕沙促淤的生物地貌功能 [20]。未来气候变化背景下, 广西北部湾红树林生态系统将面临严峻的考验。

参考文献 (References):

- [1] 王文卿. 海边有片红树林. 生命世界, 2008, 2: 12-19.
- [2] 王文卿. 红树林—天然海岸卫士. 生命世界, 2005, 6: 78-83.
- [3] 王文卿, 王瑁. 中国红树林. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] 董晓玉, 李长慧, 杨多林, 魏胜强, 马少忠. 气候变化对湿地影响的研究. 安徽农业科学, 2019, 47(23): 7-10.
- [5] 萨茹拉, 丁勇, 侯向阳. 北方草原区气候变化影响与适应. 中国草地学报, 2018, 40(2): 109-115.
- [6] 颜秀花, 蔡榕硕, 郭海峡, 许炜宏, 谭红建. 气候变化背景下海南东寨港红树林生态系统的脆弱性评估. 应用海洋学学报, 2019, 38(3): 338-349.
- [7] 翟冠群. 海平面上升对秋茄和白骨壤红树林生态系统主要有机碳过程影响的比较研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2019.
- [8] 徐慧鹏, 刘涛, 张建兵. 红树林碳埋藏过程对海平面上升、气候变化和人类活动的响应. 广西科学, 2020, 27(1): 84-90.
- [9] Jagtap T G, Nagle V L. Response and adaptability of mangrove habitats from the Indian subcontinent to changing climate. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 2007, 36(4): 328-334.
- [10] 中国科学报. 海平面上升威胁红树林. (2020-06-05) [2020-08-28]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2020/6/440966.shtml>.
- [11] 李春干, 周梅. 修筑海堤后光滩上红树林的形成与空间扩展——以广西珍珠港谭吉万尾西堤为例. 湿地科学, 2017, 15(1): 1-9.
- [12] 范航清, 邱广龙. 中国北部湾白骨壤红树林的虫害与研究对策. 广西植物, 2004, 24(6): 558-562.
- [13] 黄丽, 姜华荣. 红树植物南种北移取得进展. 中国海洋报, 2012-11-23(003).
- [14] 莫永杰, 李日平, 方国祥, 唐惠忠. 海平面上升对广西沿海的影响与对策. 北京: 科学出版社, 1996.
- [15] 中华人民共和国自然资源部. 中国海平面公报. (2020-04-30) [2020-08-28]. <http://www.mnr.gov.cn/sj/sjfw/hy/gbpg/zghpmgb/>.
- [16] 国家海洋信息中心. 广西海平面调查评估工作情况总结. (2012-05-08) [2020-08-28]. <http://www.nmdis.org.cn/c/2012-05-08/51135.shtml>
- [17] 张冬峰, 高学杰. 中国 21 世纪气候变化的 RegCM4 多模拟集合预估. 科学通报, 2020, 65(23): 2516-2526.
- [18] 陈鹭真, 王文卿, 张宜辉, 黄丽, 赵春磊, 杨盛昌, 杨志伟, 陈粤超, 徐华林, 钟才荣, 苏博, 方柏州, 陈乃明, 曾传志, 林光辉. 2008 年南方低温对我国红树植物的破坏作用. 植物生态学报, 2010, 34(2): 186-194.
- [19] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告 (第二版). 北京: 科学出版社, 2015: 232-344.
- [20] 中国红树林保育联盟. 红树林与气候变化中国民间报告. (2012-07) [2020-08-28]. <https://www.docin.com/p-2033682746.html>
- [21] 刘文爱, 薛云红, 范航清. 红树林蚱虫的发生和扩散规律. 中国森林病虫, 2019, 38(6): 11-15.
- [22] 刘文爱, 薛云红, 甄文全, 孙仁杰, 范航清. 植食性昆虫的组成和波动对红树林群落演替的影响. 生态学杂志, 2020, 39(6): 1795-1805.
- [23] 范航清, 刘文爱, 曹庆先. 广西红树林害虫生物生态特性与综合防治技术研究. 北京: 科学出版社, 2012: 184-184.
- [24] 范航清. 保护恢复海上森林, 打造北海新名片. 北海日报, 2019-11-19(002).
- [25] 傅海峰, 陶伊佳, 王文卿. 海平面上升对中国红树林影响的几个问题. 生态学杂志, 2014, 33(10): 2842-2848.
- [26] 陈颖. 广西红树林区团水虱生物学和生态学研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [27] 蔡榕硕, 谭红建. 海平面加速上升对低海拔岛屿、沿海地区及社会的影响和风险. 气候变化研究进展, 2020, 16(2): 163-171.
- [28] 崔爱云. 浅析气候变化对林木病虫害的影响. 花卉, 2020, (4): 263-264.
- [29] 罗紫丹, 孟宪伟, 罗新正. 百年内全球海平面上升、地壳上升和潮滩沉积对广西英罗湾红树林分布的影响. 海洋通报, 2017, 36(2): 209-216.
- [30] 陈崇贤, 杨潇豪, 夏宇. 基于海平面影响湿地模型的海平面上升影响海岸湿地景观研究. 风景园林, 2019, 26(9): 75-82.
- [31] 中国天气网. “问道气候变化”系列专题第十期. (2013-07-28) [2020-08-28]. <http://www.weather.com.cn/zt/qhbhzt/929841.shtml>
- [32] 鲍振宇, 张家豪, 施达. 海平面上升对红树林的影响. (2016-01-15) [2020-08-28]. <https://wenku.baidu.com/view/>.