

大气环流指数和地面气象要素对海南省橡胶树白粉病的影响

白 蕤¹ 李 宁^{2*} 陈汇林¹ 刘少军¹ 陈小敏¹ 邹海平¹

(1. 海南省气象科学研究所, 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203;

2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101)

摘要:为探讨大气环流指数和地面气象要素对海南省橡胶树白粉病病情指数的影响,利用1962—2009年逐月大气环流指数和逐日地面气象要素资料,根据橡胶树白粉病病情指数等级,结合因子膨化、相关分析和多元回归等方法,筛选影响橡胶树白粉病病情指数的大气环流指数和地面气象要素,构建等级指标,建立预测模型,并对模型进行检验。结果显示:影响橡胶树白粉病病情指数的大气环流指数依次为北半球副高面积指数、北半球副高强度指数、西太平洋副高西伸脊点、北美区极涡面积指数、亚洲区极涡强度指数和印缅槽,显著影响时段为上年7月至当年4月;地面气象要素有平均最高气温、相对湿度、平均气温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的日数、小雨日数和平均风速,显著影响时段为上年10月至当年1月;基于大气环流指数、地面气象要素、大气环流与地面气象综合因子的橡胶树白粉病病情指数预测模型准确率分别为74.3%~78.8%、74.7%、94.6%~98.3%,表明基于大气环流和地面气象综合因子的模型准确率较高,可作为海南省橡胶树白粉病的中长期预测模型。

关键词:橡胶树白粉病;病情指数;大气环流指数;气象要素;预测模型

Influences of atmospheric circulation index and surface meteorological elements on the rubber tree powdery mildew in Hainan Province

Bai Rui¹ Li Ning^{2*} Chen Huilin¹ Liu Shaojun¹ Chen Xiaomin¹ Zou Haiping¹

(1. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Hainan Institute of Meteorological Science, Haikou 570203, Hainan Province, China; 2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan Province, China)

Abstract: In order to research the influences of atmospheric circulation index and surface meteorological elements on the disease index of the rubber tree powdery mildew in Hainan Province, the atmospheric circulation index and surface meteorological elements that affected the disease index of rubber tree powdery mildew were selected, and the indicator and prediction model of the rubber tree powdery mildew disease index in Hainan Province were established with the monthly atmospheric circulation characteristics data and the daily surface meteorological data from 1962 to 2009, based on the rank of the rubber tree powdery mildew disease index, combined with factor puffing, correlation analysis and multiple regression. The results showed that the rank of atmospheric circulation index which affected the disease index of the rubber tree powdery mildew included the northern hemisphere subtropical high area index, the northern hemisphere subtropical high intensity index, the West Pacific subtropical high extension ridge point, the North American polar vortex area index, the Asian polar vortex intensity index and

基金项目: 国家自然科学基金(41765007), 海南省自然科学基金(317236), 海南省气象局青年基金(HNXXQN201602)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: n.li@catas.cn

收稿日期: 2018-05-18

the India-Burma trough. The effect of period was mainly from previous July to current April. The surface meteorological elements which affected the disease index of the rubber tree powdery mildew were the average maximum temperature, the relative humidity, the days of average temperature above 20℃, the days of light rain, and the average wind speed. The effect of period was mainly from previous October to current January. Based on the atmospheric circulation index, the surface meteorological elements, the comprehensive factors of atmospheric circulation and surface meteorology, the accuracy rate of prediction models predicting the disease index of rubber tree powdery mildew were 74.3%–78.8%, 74.7%, 94.6%–98.3%. Meanwhile, based on the comprehensive factors of atmospheric circulation and surface meteorology, the prediction model of rubber tree powdery mildew disease index had high accuracy, and it could be used for medium and long term predicting local rubber tree powdery mildew occurrence.

Key words: rubber tree powdery mildew; disease index; atmospheric circulation index; meteorological elements; prediction model

橡胶树白粉病是由橡胶树粉孢菌 *Oidium heveae* Steinmann 侵染引起, 主要危害橡胶树嫩叶、嫩芽、嫩梢和花序, 严重时易引起橡胶树新抽嫩叶连续脱落, 推迟当年开割期, 导致干胶产量减产 50% 左右, 对橡胶产业造成较大的经济损失(黄贵修和许灿光, 2012; 蔡志英和李国华, 2017; Liyanage et al., 2018)。自 1918 年在印度尼西亚爪哇岛首次发现橡胶树白粉病以来, 该病在全球各个植胶国家和地区广泛流行, 现已成为我国植胶区的主要病害之一(梁羽萍等, 2016; Priyadarshan, 2017)。因此, 掌握橡胶树白粉病发生流行规律, 进行病害早期预测预警, 及时采取正确防治策略, 对保障橡胶安全生产有重要意义。

橡胶树白粉病的基础菌量、发生流行和发展速度与气象要素密切相关(范会雄和谭象生, 1997)。国内外许多学者采用多种方法研究了气象要素对橡胶树白粉病的影响, 如 Peries (1979) 通过田间观察发现该病害的严重程度主要取决于抽叶期间的天气情况; 余卓桐等 (2006) 研究细化了橡胶树抽叶期间的气象要素, 并与橡胶树物候期结合, 分别建立了橡胶树白粉病短期最终病情指数预测模式、中期最终病情指数预测模式和短期防治指标预测模式; 文衍堂等 (2014) 研究结果表明大部分植胶区的橡胶树白粉病防治工作主要根据气象要素 (如温度、湿度) 的变化来开展; 蒋龙燕 (2015) 利用海南省 7 个气象站点资料, 通过相关分析筛选出影响橡胶树白粉病病情指数的旬、月、季、年 4 种时间尺度下的关键气象要素, 并建立相关预测模型; 陈小敏等 (2016) 指出若春季光、温、水等气象要素较适宜, 则橡胶树叶片老化速度快, 嫩芽嫩叶生长中受橡胶树白粉病影响概率小; 若出现极端天气事件, 叶片老化速度易变慢,

老化过程时间延长, 嫩芽嫩叶受害概率增加; Liyanage et al. (2016) 研究结果显示橡胶树白粉病分生孢子萌发的最佳条件是相对湿度为 97%~100%、温度为 25~28℃, 进而揭示了气象要素与白粉病爆发的密切关系; 蔡志英和李国华 (2017) 研究结果表明橡胶园的小气候、关键物候期气象要素是造成白粉病流行的客观原因; Zhai et al. (2019) 利用数理统计方法分析了气象要素与橡胶树物候期的关系, 发现橡胶树物候期的延迟会导致白粉病暴发。目前关于气候背景对海南省橡胶树白粉病影响的研究较少, 如霍治国和王石立 (2009) 研究结果显示小麦白粉病、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 等病虫害的发生、发展均与大气环流指数有关, 故本研究选择大气环流指数来探讨气候背景对海南省橡胶树白粉病的影响。

海南省位于我国最南端, 属热带季风海洋性气候, 全年湿热的气候条件为我国橡胶产业提供了较好的种植环境, 同时也给橡胶树白粉病菌的发生提供了良好的生存繁殖和越冬环境。了解海南省橡胶树白粉病发生流行的影响因素, 预测橡胶树白粉病病情变化, 及时控制白粉病对橡胶树的影响, 对稳定橡胶产业的发展具有重要意义。结合大气环流指数和地面气象要素对海南省橡胶树白粉病的影响进行研究, 将能更好地防治橡胶树白粉病的发生。本研究选择能全面反映大气环流的 74 项指数和植胶区地面气象要素, 根据海南省橡胶树种植制度, 探索大尺度大气环流指数和中尺度地面气象要素对海南省橡胶树白粉病发生流行的影响及机理性关系, 以此为基础构建海南省橡胶树白粉病发生的等级指标并建立中长期预测模型, 以期为橡胶树白粉病的防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

数据来源:自国家气候中心获取1961—2009年74项大气环流指数逐月资料;自海南省气象局获取地面气象要素资料,包括海南省18个市县的地面气象观测站1961—2009年平均气温、降水量、日照时数等逐日资料;自统计年鉴和文献(海南省统计局,2010;曹学仁等,2015)获取1962—2009年海南省橡胶树白粉病的病情指数资料。

大气环流指数分类及编号:副热带高压类:11个区的副热带高压面积指数(编号 $a_1 \sim a_{11}$)、强度指数(编号 $a_{12} \sim a_{22}$)、脊线(编号 $a_{23} \sim a_{33}$)、北界(编号 $a_{34} \sim a_{44}$)、西太平洋副高西伸脊点(编号 a_{45})。极涡类:5个区的极涡面积指数(编号 $a_{46} \sim a_{50}$)、强度指数(编号 $a_{51} \sim a_{55}$)、北半球极涡中心位置及强度(编号 $a_{56} \sim a_{57}$)。环流类:大西洋欧洲环流型(编号 $a_{58} \sim a_{60}$)、欧亚、亚洲环流指数(编号 $a_{61} \sim a_{64}$)。槽类:几种槽的位置与强度(编号 $a_{65} \sim a_{69}$)。其它类:冷空气、台风、太阳黑子、南方涛动指数(编号 $a_{70} \sim a_{74}$)。

地面气象要素选择及编号:本研究选用平均气温、平均最高温度、平均最低温度、平均气温 $\geq 15^\circ\text{C}$ 的日数、平均气温 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的日数、平均气温 $\geq 25^\circ\text{C}$ 的日数、平均气温 $\geq 30^\circ\text{C}$ 的日数、最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的日数、最低气温 $\leq 10^\circ\text{C}$ 的日数、降水量、小雨日数、中雨日数、大雨日数、暴雨日数、日照时数、日照百分率、相对湿度、平均风速18项地面气象要素,依次编号 $m_1 \sim m_{18}$ 。

1.2 方法

1.2.1 橡胶树白粉病病情指数计算及等级划分

橡胶树白粉病整株分级标准:0级:无病或少数叶片有少量病斑;1级:多数叶片有少量病斑;2级:多数叶片有较多病斑;3级:病斑较多或叶片轻度皱缩,或因病落叶约占总叶片的1/10;4级:病斑密布或叶片中度皱缩,或因病落叶约占总叶片的1/3;5级:叶片因病严重皱缩,或因病落叶约占总叶片的1/2以上(邵志忠等,1995)。橡胶树白粉病病情指数= Σ (各级病株数 $\times$ 该病级值)/(调查总株数 $\times$ 最高级值) $\times 100$ (蔡志英等,2018)。参照邵志忠等(1995)方法对橡胶树白粉病病情指数进行等级划分:0 $\leq$ 病情指数 $< 25\%$ 为轻度,25% $\leq$ 病情指数 $< 50\%$ 为中度,病情指数 $\geq 50\%$ 为重度。

1.2.2 关键因子时段组合及编号规则

以便于挑选预测关键时段,本研究采用因子膨

化方法合理扩充不同时段大气环流指数和地面气象要素信息,基于此信息所构建的预测模型在时间上具有连续性,预测准确率高(姜燕等,2006)。

橡胶树白粉病发生时段对大气环流影响存在滞后性,将因子膨化时段组合的时间范围设定为上年1月至当年4月,总计16个月,按照连续的1个月、2个月、……、16个月对74项大气环流指数进行时段组合,并计算大气环流指数在各时段组合的平均值。在74项大气环流指数中,第4、15、26、37项大气环流指数每年6—9月无数据,第65、66、70项大气环流指数每年6—8月无数据,不参与时段组合,所有时段共组合9457个大气环流指数。表达方式为大气环流指数编号、开始月份、结束月份,例如 $a_1s_{10}d_4$, a_1 代表第1项大气环流指数, $s_{10}d_4$ 代表时段为上年10月至当年4月,其中 s 表示上年, d 表示当年。

橡胶树白粉病的发生、发展、流行与冬春季地面气象要素关系十分密切,因此选择上年10月至当年4月作为因子膨化时段组合的时间范围。采用因子膨化法,按照连续的1个月、2个月、……、7个月对18项地面气象要素进行时段组合,共组合504个地面气象要素,并计算地面气象要素在各时段组合的平均值。表达方式为地面气象要素编号、开始月份、结束月份,例如 $m_2s_{10}d_1$, m_2 代表平均最高温度, $s_{10}d_1$ 代表上年10月至当年1月。

1.2.3 筛选关键因子及构建等级指标

分别计算各个时段组合的大气环流指数、地面气象要素与橡胶树白粉病病情指数之间的相关系数,并采用双尾 t 检验进行显著性检验,分别在0.001、0.01、0.05水平下筛选出对海南省橡胶树白粉病病情指数影响显著的关键因子。若同类中多个因子相互关联,只挑选其中对橡胶树白粉病病情指数影响最显著的1个因子;对于同一个因子的多个时段,只选择持续时间长、差异最显著的时段。

根据橡胶树白粉病病情指数的等级划分,计算每个关键因子在橡胶树白粉病轻度、中度、重度各发生等级时的平均值,以此构建海南省橡胶树白粉病发生的等级指标。

1.2.4 橡胶树白粉病病情指数预测模型建立及检验

通常情况下,每年冬季多为橡胶树白粉病侵染期,春季多为橡胶树白粉病流行传播期,考虑到病害预测时效性,选择当年2、3、4月作为预测月。选取1962—2007年通过0.001水平显著检验的大气环流指数和地面气象要素为预测因子,采用多元回归分析方法(周文杰等,2016;巩文峰等,2018),分别建立

基于大气环流指数、地面气象要素、大气环流与地面气象综合因子的海南省橡胶树白粉病病情指数中长期预测模型。2008—2009年数据用于交叉验证,使用复相关系数 R 和统计量 F 进行回归方程的显著性检验,用预测精度评价模拟效果,预测精度 $= (1 - |(模拟值 - 实测值)| / 实测值) \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 海南省橡胶树白粉病病情指数

1962—2009年海南省橡胶树白粉病病情指数呈明显上升趋势(图1),平均每年以0.61的速度上升。20世纪60年代,橡胶树白粉病病情指数呈波动上升趋势,20世纪70年代前中期橡胶树白粉病病情指数呈下降趋势,1973年降到最低值,为5.4,到20世纪70年代末期明显上升,到2004年达到最高值,为69.5,2004年之后橡胶树白粉病病情指数呈下降趋势。

2.2 影响橡胶树白粉病的大气环流指数及指标

74项大气环流指数中,通过0.001水平显著检验的大气环流指数有21项,其中副热带高压类大气环流指数有17项,所占比例为80.95%,显著影响时段数为344个;极涡类大气环流指数有3项,所占比例为14.29%,显著影响时段数为39个;槽类大气环流指数有1项,所占比例为4.76%,显著影响时段数为19个。北半球大气环流对海南省橡胶树白粉病病情指数的影响程度由高到低依次为副热带高压类、极涡类、槽类、环流类、其它类。副热带高压类(除西太平洋副高西伸脊点)、槽类与海南省橡胶树白粉病病情指数呈正相关,西太平洋副高西伸脊点、极涡类与海南省橡胶白粉病病情指数呈负相关,其

中极涡类的北美区极涡面积指数和槽类的印缅槽对海南省橡胶树白粉病病情指数影响最显著,最大相关系数分别是-0.607、0.543(图2)。大气环流指数对海南省橡胶树白粉病病情指数的显著影响时段为上年7月至当年4月。

影响橡胶树白粉病发生等级的大气环流指数关键因子依次为北半球副高面积指数、北半球副高强度指数、西太平洋副高西伸脊点、北美区极涡面积指数、亚洲区极涡强度指数和印缅槽,最大相关系数分别是0.535、0.491、-0.525、-0.607、-0.489、0.543。根据大气环流指数各关键因子在橡胶树白粉病各发生等级中的平均值构建基于大气环流指数的橡胶树白粉病发生等级指标(表1)。以关键因子 $a_1s_{10}d_4$ 为例,海南省橡胶树白粉病病情指数等级为轻度、中度和重度的年份中,上年10月至当年4月北半球副高面积指数较48年平均值分别偏小5.634、偏小3.379和偏大18.153。

2.3 影响橡胶树白粉病的地面气象要素及指标

通过0.001水平显著检验的地面气象要素分别是平均最高气温、相对湿度、平均气温 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的日数、小雨日数、平均风速,与橡胶树白粉病病情指数的最大相关系数分别是0.453、-0.528、0.480、0.624、-0.495,显著影响时段数分别有1、3、2、22、14个。平均最高气温、相对湿度、平均气温 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的日数影响时段集中在冬季,影响最显著时段分别为上年10月至当年1月、上年10至12月、当年1月;小雨日数和平均风速影响时段集中在冬春季节,影响最显著时段分别为上年10月至当年1月和上年11月至当年1月。

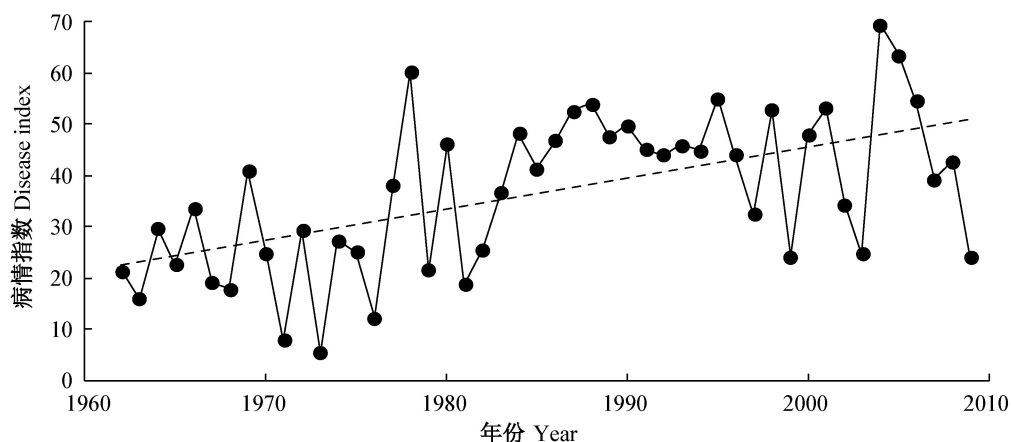


图1 1962—2009年海南省橡胶树白粉病病情指数

Fig. 1 Disease index of rubber tree powdery mildew in Hainan Province from 1962 to 2009

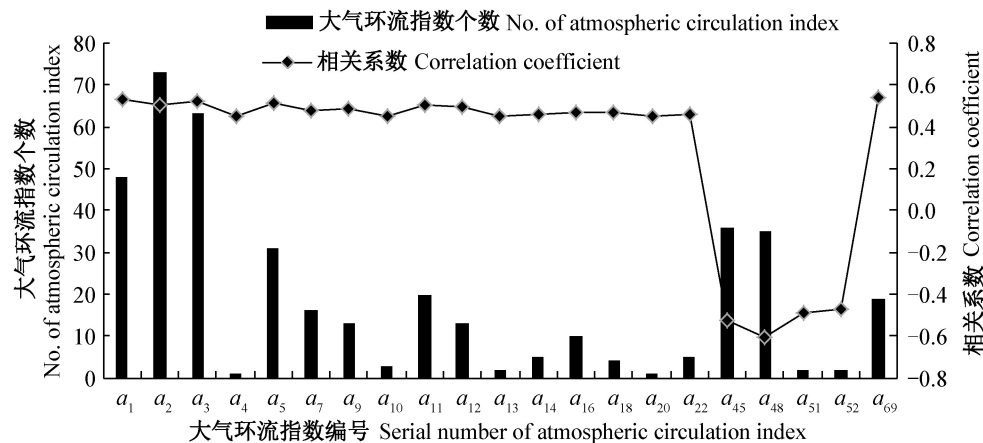


图2 影响海南省橡胶树白粉病病情指数的大气环流指数

Fig. 2 Atmospheric circulation index of influencing the disease index of rubber tree powdery mildew in Hainan Province

a_1 : 北半球副高面积指数; a_2 : 北非副高面积指数; a_3 : 北非大西洋北美副高面积指数; a_4 : 印度副高面积指数; a_5 : 西太平洋副高面积指数; a_7 : 北美副高面积指数; a_9 : 南海副高面积指数; a_{10} : 北美大西洋副高面积指数; a_{11} : 太平洋副高面积指数; a_{12} : 北半球副高强度指数; a_{13} : 北非副高强度指数; a_{14} : 北非大西洋北美副高强度指数; a_{16} : 西太平洋副高强度指数; a_{18} : 北美副高强度指数; a_{20} : 南海副高强度指数; a_{22} : 太平洋副高强度指数; a_{45} : 西太平洋副高西伸脊点; a_{48} : 北美区极涡面积指数; a_{51} : 亚洲区极涡强度指数; a_{52} : 太平洋区极涡强度指数; a_{69} : 印缅槽。 a_1 : The northern hemisphere subtropical high area index; a_2 : the North African subtropical high area index; a_3 : the North African Atlantic-North American subtropical high area index; a_4 : the Indian subtropical high area index; a_5 : the western Pacific subtropical high area index; a_7 : the North American subtropical high area index; a_9 : the South China Sea subtropical high area index; a_{10} : the North American-Atlantic subtropical high area index; a_{11} : the Pacific subtropical high area index; a_{12} : the northern hemisphere subtropical high intensity index; a_{13} : the North African subtropical high intensity index; a_{14} : the North African-Atlantic-North American subtropical high intensity index; a_{16} : the western Pacific subtropical high intensity index; a_{18} : the North American subtropical high intensity index; a_{20} : the South China Sea subtropical high intensity index; a_{22} : the Pacific subtropical high intensity index; a_{45} : the West Pacific subtropical high extension ridge point; a_{48} : the North American polar vortex area index; a_{51} : the Asian polar vortex intensity index; a_{52} : the Pacific polar vortex intensity index; a_{69} : the India-Burma trough.

表1 基于大气环流指数的海南省橡胶树白粉病发生等级指标

Table 1 Rank indicator for the rubber tree powdery mildew occurrence based on atmospheric circulation index in Hainan Province

关键因子 Key factor	关键因子含义 Meaning of key factor	相关系数 Correlation coefficient	橡胶树白粉病发生等级指标 Rank indicator for the rubber tree powdery mildew occurrence			48年 平均值 48 year average
			轻 Light	中 Medium	重 Heavy	
$a_1s_{10}d_4$	上年10月—当年4月北半球副高面积指数 Northern hemisphere subtropical high area index from previous October to current April	0.535	25.276	27.531	49.063	30.910
$a_{12}s_8d_4$	上年8月—当年4月北半球副高强度指数 Northern hemisphere subtropical high intensity index from previous August to current April	0.491	86.968	87.818	135.580	96.525
$a_{45}d_1d_4$	当年1—4月西太平洋副高西伸脊点 West Pacific subtropical high extension ridge point from current January to April	-0.525	131.589	123.260	101.556	121.620
$a_{48}s_2s_4$	上年2—4月北美区极涡面积指数 North American polar vortex area index from previous February to April	-0.607	203.857	194.813	189.444	196.444
$a_{51}s_5s_6$	上年5—6月亚洲区极涡强度指数 Asian polar vortex intensity index from previous May to June	-0.489	38.679	36.040	34.000	36.427
$a_{69}s_8s_9$	上年8—9月印缅槽 India-Burma trough from previous August to September	0.543	21.000	23.900	27.222	23.677

影响橡胶树白粉病发生等级的地面气象要素关键因子依次为平均最高气温、相对湿度、平均气温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的日数、小雨日数、平均风速,根据地面气象要素各关键因子在橡胶树白粉病各发生等级中的平均值,构建基于地面气象要素的橡胶树白粉病发生等

级指标(表2)。以关键因子 $m_2s_{10}d_1$ 为例,海南省橡胶树白粉病病情指数发生等级为轻度、中度和重度的年份中,上年10月至当年1月平均最高温度较48年平均值分别偏低 0.286°C 、偏低 0.121°C 和偏高 0.779°C 。

表2 基于地面气象要素的海南省橡胶树白粉病发生等级指标

Table 2 Rank indicator for the rubber tree powdery mildew occurrence based on surface meteorological elements in Hainan Province

关键因子 Key factor	关键因子含义 Meaning of key factor	相关系数 Correlation coefficient	橡胶树白粉病发生等级指标 Rank indicator for the rubber tree powdery mildew occurrence			48年 平均值 48 year average
			轻Light	中Medium	重Heavy	
$m_2s_{10}d_1$	上年10月—当年1月平均最高温度($^{\circ}\text{C}$) Average maximum temperature from previous October to current January	0.453	25.503	25.668	26.568	25.789
$m_7s_{10}s_{12}$	上年10—12月相对湿度(%) Relative humidity from previous October to December	-0.528	82.960	81.805	80.448	81.888
$m_9d_1d_1$	当年1月平均气温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的日数(d) The days of average temperature above 20°C in current January	0.480	7.286	10.960	14.889	10.625
$m_{14}s_{10}d_1$	上年10月—当年1月小雨日数(d) The days of light rain from previous October to current January	0.624	21.304	22.500	23.639	22.365
$m_{18}s_{11}d_1$	上年11月—当年1月平均风速($\times 10^{-1} \text{ m/s}$) Average wind speed from previous November to current January	-0.495	25.385	22.745	21.005	22.147

2.4 海南省橡胶树白粉病病情指数预测模型

以1962—2007年通过0.001水平显著检验的大气环流指数和地面气象要素为预测因子,分别建立海南省橡胶树白粉病病情指数中长期预测模型。当年2月的3个预测模型中,基于大气环流指数、地面气象要素、大气环流与地面气象综合因子的海南省橡胶树白粉病病情指数预测模型的复相关指数 R 分别为0.749、0.745、0.838,预测精度分别为77.5%、74.7%、94.6%;当年3月的3个预测模型中,复相关指数 R 分别为0.747、0.745、0.825,预测精度分别为74.3%、74.7%、98.3%;当年4月的3个预测模型中,复相关指数 R 分别为0.757、0.745、0.812,预测精度分别为78.8%、74.7%、96.8%。当年2—4月的9个预测模型中,基于大气环流与地面气象综合因子的橡胶树白粉病病情指数预测模型的复相关指数 R 最高,比其它2个模型高0.06以上;预测精度最高,比其它2个模型的预测精度提高了17个百分点以上(表3)。

3 讨论

本研究结果显示,上年2—4月北美区极涡面积指数与海南省橡胶树白粉病病情指数负相关,且相

关系数最高;上年8—9月印缅槽与海南省橡胶树白粉病病情指数正相关,且相关系数最高。冷空气入侵的气象条件十分有利于橡胶树白粉病菌的孢子产生、成熟和释放(余卓桐等,1985)。极涡是大规模冷空气的表征,极涡面积越大,强度越强,冷空气积聚越多(于彩霞等,2014);当北美区极涡面积指数偏大,表明入侵冷空气次数多、强度强。陈艳(2006)和贾小龙等(2008)研究结果表明,秋季印缅槽偏强,高原东侧的西南季风异常活跃,加强了孟加拉湾和南海的水汽输送,使我国华南地区的大气有暖湿不稳定特性。霍治国和王石立(2009)研究结果显示,若秋季气温和湿度偏高,病害进入越冬阶段将推迟,在冬季前的侵染繁殖时间及冬季的繁殖时间将延长,增加当年的越冬基数,第2年侵染基数也增加。因此,本研究选取上年2—4月北美区极涡面积指数和上年8—9月印缅槽2个大气环流指数是科学合理的。

曹学仁等(2015)研究发现,在大多数情况下,厄尔尼诺发生的次年,海南省橡胶树白粉病病情指数增加,拉尼娜发生的次年,海南省橡胶树白粉病病情指数减小;厄尔尼诺与南方涛动(El Niño-southern oscillation, ENSO)对海南省橡胶树白粉病的发生程度也有一定影响。而大气环流指数与ENSO事件关

系密切,如印缅槽指数与前期0—11个月的太平洋海温指数正相关,与南方涛动指数负相关(李栋梁

等,2007),进一步说明本研究选用的大气环流指数指示性较好。

表3 海南省橡胶树白粉病病情指数的预测模型

Table 3 Prediction model of rubber tree powdery mildew disease index in Hainan Province

预测时间 Prediction time	因子时段 Factor period	预测模型 Prediction model	R	F	预测精度 Prediction accuracy (%)
当年2月 Current February	上年1月—当年1月 Previous January to current January	$z=221.525-0.245x_{a3s8s12}-0.261x_{a45s11d1}-0.61x_{a48s2s4}-1.085x_{a51s5s6}+0.685x_{a69s8s9}$	0.749	10.213	77.5
	上年10月—当年1月 Previous October to current January	$z=168.645+0.802y_{m2s10d1}-2.402y_{m7s10s12}+0.735y_{m9d1d1}+2.113y_{m14s10d1}-0.467y_{m18s11d1}$	0.745	9.963	74.7
	上年1月—当年1月 Previous January to current January	$z=467.983-0.714x_{a3s8s12}-0.388x_{a45s11d1}-0.461x_{a48s2s4}-0.840x_{a51s5s6}+0.915x_{a69s8s9}+0.949y_{m2s10d1}-3.358y_{m7s10s12}+0.336y_{m9d1d1}-0.589y_{m14s10d1}+0.220y_{m18s11d1}$	0.838	8.237	94.6
当年3月 Current March	上年1月—当年2月 Previous January to current February	$z=203.251+0.107x_{a3s8s12}-0.493x_{a18s8d2}-0.233x_{a45s11d1}-0.579x_{a48s2s4}-1.023x_{a51s5s6}+0.729x_{a69s8s9}$	0.747	8.230	74.3
	上年10月—当年2月 Previous October to current February	$z=168.645+0.802y_{m2s10d1}-2.402y_{m7s10s12}+0.735y_{m9d1d1}+2.113y_{m14s10d1}-0.467y_{m18s11d1}$	0.745	9.963	74.7
	上年1月—当年2月 Previous January to current February	$z=453.188-0.457x_{a3s8s12}-0.513x_{a18s8d2}-0.396x_{a45s11d1}-0.413x_{a48s2s4}-0.749x_{a51s5s6}+0.975x_{a69s8s9}+0.496y_{m2s10d1}-3.238y_{m7s10s12}+0.239y_{m9d1d1}-0.590y_{m14s10d1}+0.125y_{m18s11d1}$	0.825	6.572	98.3
当年4月 Current April	上年1月—当年3月 Previous January to current March	$z=181.371-0.059x_{a1s10d3}+0.057x_{a12s10d3}-0.160x_{a45d1d3}-0.523x_{a48s2s4}-1.002x_{a51s5s6}+0.592x_{a69s8s9}$	0.757	8.525	78.8
	上年10月—当年3月 Previous October to current March	$z=168.645+0.802y_{m2s10d1}-2.402y_{m7s10s12}+0.735y_{m9d1d1}+2.113y_{m14s10d1}-0.467y_{m18s11d1}$	0.745	9.963	74.7
	上年1月—当年3月 Previous January to current March	$z=408.523-0.700x_{a1s10d3}+0.236x_{a12s10d3}-0.331x_{a45d1d3}-0.367x_{a48s2s4}-0.683x_{a51s5s6}+1.053x_{a69s8s9}-0.996y_{m2s10d1}-2.690y_{m7s10s12}+0.347y_{m9d1d1}-0.505y_{m14s10d1}+0.252y_{m18s11d1}$	0.812	5.976	96.8

x 为大气环流指数, x 下标为大气环流指数编号; y 为地面气象要素, y 下标为地面气象要素编号; z 为预测当年橡胶树白粉病病情指数。 x is the atmospheric circulation index, x subscript is the atmospheric circulation index number; y is the surface meteorological elements, y subscript is the surface meteorological elements number, and z is the prediction of the current rubber tree powdery mildew disease index.

刘静(2010)和Zhai et al.(2019)研究结果显示冬春气温影响橡胶树落叶和抽叶,若冬季气温较高,橡胶树落叶不彻底,易加重橡胶树白粉病病情。华南热带作物科学研究院植保研究所(1983)研究结果表明小雨能够使橡胶树叶片水膜消失,从而有利于橡胶树白粉病菌孢子的萌发和侵染;若冬季相对湿度较低、温度偏高,易造成干旱,干旱不仅有利于橡胶树白粉病菌孢子的产生和传播,而且致使橡胶树抽叶不整齐,叶片生长缓慢,延长感病期。余卓桐等(1985)研究结果表明,风不仅能影响白粉病菌孢子的释放和传播,而且给橡胶树叶片造成的伤口为病菌侵染创造了条件。蒋龙燕(2015)研究结果表明平均最高气温、相对湿度、平均温度皆与橡胶树白粉病

病情指数相关性较好,降水量与橡胶树白粉病病情指数相关性较差。本研究认为海南省橡胶树白粉病病情指数分别与上年10月至当年1月平均最高气温、当年1月平均气温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的日数和上年10月至当年1月小雨日数显著正相关;与上年10月至12月相对湿度和上年11月至当年1月平均风速呈显著负相关,与上述研究结果相符。

本研究基于大气环流与地面气象综合因子所构建的橡胶树白粉病病情指数预测模型,综合了大气环流指数较好的区域代表性、背景指示性和地面气象要素的时效性,预测精度达到了94.6%以上,此预测模型可以根据多变的气候条件适时而有效地预测病害,该预测模型是可行的,且具有较好的应用前

景。与蒋龙燕(2015)建立的基于旬、月、季、年关键气象要素的橡胶树白粉病病情指数预测模型相比,本研究所建立的模型精度更高、运用区域更广。虽然余卓桐等(2006)所建立的橡胶树白粉病预测模型考虑因子较全面、预测精度较高,但是其研究时段较短、未考虑长期气候环境的影响。

本研究仅作了2年的外推预测,模型预测的准确率和稳定性有待于在实际预测应用中不断补充和修正;其次本研究选取的气象站点覆盖面不全、区域代表性有限,难以全面反映全省范围内气候条件变化对橡胶树白粉病发生流行的影响;橡胶树白粉病发生流行受多因素影响,本研究仅考虑大气环流指数和地面气象要素等气象方面的因素,没有综合考虑橡胶园的地理位置、土壤、种植密度、林下作物等属性和人类生产活动的影响。

参 考 文 献 (References)

- Cai ZY, Li GH. 2017. Diagnosis and control of common diseases of rubber trees. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 31–33 (in Chinese) [蔡志英, 李国华. 2017. 橡胶树常见病害诊断及防治. 北京: 中国农业出版社, pp. 31–33]
- Cai ZY, Shi YP, Jiang GZ, Liu YX, Zhang CS, Xiong YL, Wang JQ, Guo H, Ning LY, Li GH. 2018. Investigation and causes analysis of rubber powdery mildew and its controlling suggestions in Xishuangbanna region in 2017. China Plant Protection, 38(1): 29–33 (in Chinese) [蔡志英, 施玉萍, 蒋桂芝, 刘一贤, 张长寿, 熊延林, 王进强, 郭涵, 宁连云, 李国华. 2018. 2017年西双版纳地区橡胶树白粉病灾情调查与原因分析. 中国植保导刊, 38(1): 29–33]
- Cao XR, Che HY, Yang Y, Luo DQ. 2015. Relationship between ENSO and epidemics of powdery mildew of rubber tree in Hainan State Farm. Plant Protection, 41(6): 122–125 (in Chinese) [曹学仁, 车海彦, 杨毅, 罗大全. 2015. ENSO事件与海南农垦橡胶白粉病发生流行的关系. 植物保护, 41(6): 122–125]
- Chen XM, Chen HL, Li WG, Liu SJ. 2016. Remote sensing monitoring of spring phenophase of natural rubber forest in Hainan Province. Chinese Journal of Agrometeorology, 37(1): 111–116 (in Chinese) [陈小敏, 陈汇林, 李伟光, 刘少军. 2016. 海南岛天然橡胶林春季物候期的遥感监测. 中国农业气象, 37(1): 111–116]
- Chen Y. 2006. A study of the Southeast Asian summer monsoon onset, evolution and its influence on the weather and climate over the southwest of China. Ph. D Thesis. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology (in Chinese) [陈艳. 2006. 东南亚夏季风的爆发与演变及其对我国西南地区天气气候影响的研究. 博士学位论文. 南京: 南京信息工程大学]
- Fan HX, Tan XS. 1997. Rubber tree powdery mildew epidemic regularity and control technology. Plant Protection, 23(3): 28–30 (in Chinese) [范会雄, 谭象生. 1997. 橡胶树白粉病流行规律与防治技术. 植物保护, 23(3): 28–30]
- Gong WF, Shuai YT, Ma ZH. 2018. Interaction between *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* and meteorological factors and the model construction of temporal dynamic. Journal of Plant Protection, 45(1): 167–172 (in Chinese) [巩文峰, 帅玉婷, 马占鸿. 2018. 林芝地区小麦条锈菌与气象因子的关系及流行动态模型的构建. 植物保护学报, 45(1): 167–172]
- Hainan Statistical Bureau. 2010. Hainan statistical yearbook. Beijing: China Statistics Publishing House, pp. 239–280 (in Chinese) [海南省统计局. 2010. 海南省统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, pp. 239–280]
- Huang GX, Xu CG. 2012. Natural rubber diseases and insect pests in China. Beijing: China Agriculture Press, pp. 1–8 (in Chinese) [黄贵修, 许灿光. 2012. 中国天然橡胶病虫害. 北京: 中国农业出版社, pp. 1–8]
- Huo ZG, Wang SL. 2009. Agricultural and biological meteorological disasters. Beijing: Meteorological Press, pp. 163–213 (in Chinese) [霍治国, 王石立. 2009. 农业和生物气象灾害. 北京: 气象出版社, pp. 163–213]
- Jia XL, Zhang PQ, Chen LJ, Gao H, Zhu YF, Li W, Han RQ. 2008. Causality analysis of autumn rainfall anomalies in China in 2007. Meteorological Monthly, 34(4): 86–94 (in Chinese) [贾小龙, 张培群, 陈丽娟, 高辉, 朱艳峰, 李威, 韩荣青. 2008. 2007年我国秋季降水异常的成因分析. 气象, 34(4): 86–94]
- Jiang LY. 2015. The relationship between climate change and epidemic of rubber tree powdery mildew in Hainan Island. Master Thesis. Haikou: Hainan University (in Chinese) [蒋龙燕. 2015. 气候变化与海南橡胶树白粉病流行关系的分析. 硕士学位论文. 海口: 海南大学]
- Jiang Y, Huo ZG, Li SK, Bai QF. 2006. A comparative research on long-term forecasting models for countrywide wheat stripe rust. Journal of Natural Disasters, 15(6): 109–113 (in Chinese) [姜燕, 霍治国, 李世奎, 柏秦凤. 2006. 全国小麦条锈病长期预报模型比较研究. 自然灾害学报, 15(6): 109–113]
- Li DL, He JH, Tang X, Lei XT, Hou YL. 2007. The relationship between the intensity of surface heating fields over the Qinghai-Xizang Plateau and ENSO cycle. Plateau Meteorology, 26(1): 39–46 (in Chinese) [李栋梁, 何金海, 汤绪, 雷小途, 侯依玲. 2007. 青藏高原地面加热场强度与ENSO循环的关系. 高原气象, 26(1): 39–46]
- Liang YP, He QG, Liu WB, Lin CH, Miao WG, Zheng FC. 2016. Screening of *Arabidopsis thaliana* infected by rubber tree powdery mildew *Oidium heveae*. Journal of Plant Protection, 43(4): 567–572 (in Chinese) [梁羽萍, 何其光, 刘文波, 林春花, 缪卫国, 郑服从. 2016. 橡胶树白粉菌 *Oidium heveae* 侵染寄主拟南芥的筛选. 植物保护学报, 43(4): 567–572]
- Liu J. 2010. Recent advances in rubber powdery mildew research. Tropical Agricultural Science and Technology, 33(3): 1–5 (in Chinese) [刘静. 2010. 橡胶树白粉病的研究进展. 热带农业科技, 33(3): 1–5]

- Liyanage KK, Khan S, Mortimer PE, Hyde KD, Xu J, Brooks S, Ming Z. 2016. Powdery mildew disease of rubber tree. *Forest Pathology*, 46: 90–103
- Liyanage KK, Khan S, Brooks S, Mortimer PE, Karunaratna SC, Xu J, Hyde KD. 2018. Morpho-molecular characterization of two *Ampelomyces* spp. (Pleosporales) strains mycoparasites of powdery mildew of *Hevea brasiliensis*. *Frontiers in Microbiology*, 9: 12
- Peries OS. 1979. Studies on the relationship between weather and incidence of leaf diseases of *Hevea*. *Planter*, 55: 158–169
- Priyadarshan PM. 2017. *Biology of Hevea rubber* (2nd edition). Cham, Switzerland: Springer Nature, pp. 179–181
- Research Institute of Plant Protection, Southern China Academy of Tropical Agricultural Sciences. 1983. Study on the prevalence of rubber powdery mildew (1959—1981). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 4(1): 75–84 (in Chinese) [华南热带作物科学研究院植保研究所. 1983. 橡胶白粉病流行规律的研究(1959—1981). *热带作物学报*, 4(1): 75–84]
- Shao ZZ, Yang XF, Xiao YQ, Chen JX, Li CC. 1995. A study on the yield loss of rubber tree powdery mildew on rubber. *Yunnan Tropical Crops Science and Technology*, 18(4): 5–13 (in Chinese) [邵志忠, 杨雄飞, 肖永清, 陈积贤, 李朝诚. 1995. 橡胶树白粉病对橡胶产量损失的研究. *云南热作科技*, 18(4): 5–13]
- Wen YT, He CP, Li JH, Xie CP. 2014. Occurrence, epidemic and control of powdery mildew on *Hevea brasiliensis* in Danzhou, Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 34(1): 71–75 (in Chinese) [文衍堂, 贺春萍, 李建辉, 谢昌平. 2014. 海南儋州橡胶白粉病发生流行与防控简讯. *热带农业科学*, 34(1): 71–75]
- Yu CX, Huo ZG, Zhang L, Xiao JJ, Lu XF, Wu L. 2014. Leading indicators of atmospheric circulation characteristics on rice planthopper occurrence in China. *Chinese Journal of Ecology*, 33(4): 1053–1060 (in Chinese) [于彩霞, 霍治国, 张蕾, 肖晶晶, 卢小凤, 吴立. 2014. 中国稻飞虱发生的大气环流指示指标. *生态学杂志*, 33(4): 1053–1060]
- Yu ZT, Luo DQ, Xie YX, Huang WR, Zhang YQ, Feng SF, Chen MR, Wang SC. 2006. A study on the decision model of the prevention and control of the main diseases of rubber trees. *China Tropical Agriculture*, (3): 26–29 (in Chinese) [余卓桐, 罗大全, 谢艺贤, 黄武仁, 张运强, 冯淑芬, 陈慕容, 王绍春. 2006. 橡胶树主要病害防治决策模型研究. *中国热带农业*, (3): 26–29]
- Yu ZT, Wang SC, Zhou CX. 1985. Study on the variation of spores in the air of powdery mildew. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, (2): 34–40 (in Chinese) [余卓桐, 王绍春, 周春香. 1985. 橡胶白粉菌空中孢子量变化规律研究. *热带作物研究*, (2): 34–40]
- Zhai DL, Yu HY, Chen SC, Ranjitkar S, Xu JC. 2019. Responses of rubber leaf phenology to climatic variations in Southwest China. *International Journal of Biometeorology*, 63(5): 607–616
- Zhou WJ, Zhao QZ, Jin GC, Yin XJ, Dai JG. 2016. Prediction model for occurrence rating of aphids in cotton based on temperature-humidity coefficient. *Journal of Plant Protection*, 43(6): 986–994 (in Chinese) [周文杰, 赵庆展, 靳光才, 尹小君, 戴建国. 2016. 基于温湿系数的棉蚜发生等级预报模型. *植物保护学报*, 43(6): 986–994]

(责任编辑:张俊芳)