

1961—2008 年广西经济林果寒害演变特征

匡昭敏^{1,2}, 潘学标^{1*}, 李莉², 容军³, 何燕², 罗永明², 欧钊荣²,
张行清², 陈超泉⁴, 孟翠丽²

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 广西壮族自治区气象减灾研究所, 南宁 530022; 3. 广西壮族自治区气象装备中心, 南宁 530022; 4. 桂林理工大学现代教育技术中心, 桂林 541004)

摘要: 研究气候变暖背景下寒害的演变特征可为气候变化应对策略的制定提供依据。该文利用广西 77 个气象站点 1961—2008 年资料, 选择极端最低气温、日最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 累积日数、日最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 积寒、24 h 最大降温幅度、日降水量 $\geq 5\text{ mm}$ 日数构建寒害指数(HI)模型, 分析了广西经济林果寒害频率、站次比和强度的年代际变化; 并应用 GIS 推算了寒害强度的空间分布。研究表明: 广西经济林果寒害频率、站次比和寒害强度 20 世纪 60 和 70 年代较重, 90 年代较轻; 与气候变暖对应, 48 a 来广西寒害总体呈减小趋势, 但 21 世纪初(2001—2008 年)寒害频率、站次比和寒害强度比 90 年代增加。广西经济林果商业种植区主要分布在寒害强度为 0.24 以下的苍梧、蒙山、来宾、都安、巴马、百色等县市以南的大部地区。

关键词: 气候变化, 果树, 冷害效应, 演变特征, 广西

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.z1.035

中图分类号: S165+.25; S59

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-Supp.1-0201-08

匡昭敏, 潘学标, 李莉, 等. 1961—2008 年广西经济林果寒害演变特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 1): 201—208.

Kuang Zhaomin, Pan Xuebiao, Li Li, et al. Evolutive characteristics of cold damage of economic forest fruits in Guangxi during 1961 to 2008[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(Supp.1): 201—208. (in Chinese with English abstract)

0 引言

寒害是指热带、亚热带植物在冬季生育期间受到一个或多个低温天气过程(一般在 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$, 有时低于 0°C)影响, 造成植物生理机制障碍, 导致减产或死亡。按照寒害的概念界定, 实际寒害发生过程中可能伴随着霜冻、冻害的发生^[1]。统计资料表明, 寒害是广西龙眼、荔枝、香蕉等经济林果重要气象灾害, 研究其时空演变特征, 以采取积极的应对措施, 防御和减轻寒害的危害, 保障广西经济林果业的可持续发展有重大意义。

在以前的工作中, 已经对寒害的概念进行过界定^[1], 目前对华南龙眼、荔枝、香蕉等经济林果寒害的研究多停留于在冻害、冷害、霜冻等单一指标的研究^[2-4], 且大部分研究是针对典型年份进行调查分析和案例研究^[5-13], 杜尧东等^[14-15]研究了广东省香蕉与荔枝寒害的致灾因子和综合气候指标, 并应用综合气候指标对广东香蕉与荔

枝的历年寒害情况进行了分析。国外学者则主要研究低温对作物生理和生化方面的影响^[16-19], 研究寒害对龙眼、荔枝、香蕉的危害。国内外对华南龙眼等经济林果寒害的时空演变特征进行系统性分析的研究仍鲜有报道。

由于寒害分为平流型寒害、辐射型寒害和混合型寒害^[1], 只用单一的气象要素作为致灾因子往往仅能表征某种类型的寒害, 而不能实现对经济林果平流型寒害、辐射型寒害和混合型寒害的全面表征, 有必要选取寒害出现过程中的多个致灾因子, 构建成综合指标来全面表征不同类型的华南经济林果寒害。因此, 在前人研究成果的基础上^[14], 本文选取寒害过程中的极端最低气温、日最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 累积日数、日最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 积寒、24 h 最大降温幅度、日降水量 $\geq 5\text{ mm}$ 日数等 5 个致灾因子, 构建经济林果寒害指数(HI), 分析广西经济林果寒害发生频率和强度的时空演变规律, 旨在明确广西经济林果寒害时空变化规律, 为应对全球气候变化背景下制定抗寒减灾对策、作物布局和技术措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

1.1.1 研究区域地理概况

广西壮族自治区地处中国南疆, 位于 $104^{\circ}26'-112^{\circ}04'E$, $20^{\circ}54'-26^{\circ}24'N$ 。处于云贵高原的东南边缘, 两广丘陵的西部。整个广西地势是四周为山区与高原, 中部与南部为平地。

收稿日期: 2011-08-16 修订日期: 2012-04-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD32B02, 2008BAK50B02-02); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 10123009-4); 广西自然科学基金项目(桂科自 0832205)。

作者简介: 匡昭敏(1968—), 女, 广西北流市人, 高级工程师, 博士生, 主要研究灾害的监测、预警和评估技术及 GIS、RS 技术的应用。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100093。Email: kzhaomin@163.com。

*通信作者: 潘学标, (1962—)男, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事农业防灾减灾领域研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。

Email: panxb@cau.edu.cn

1.1.2 研究区域的气候现状

最近中国近百年在全球气候变暖的背景下,广西气候变暖明显,尤以冬季突出。本文统计了来自于广西全区气象站点的广西 1961—2008 年共 48 a 的观测资料,得到广西年平均气温升高了 0.66℃,升温速率为 0.14℃/10 a。年平均气温自上世纪 80 年代后期开始振荡上升,90 年代后期以来,升温更加显著。从气温变化的季节性来看,1961—2008 年各季平均气温都呈上升趋势,其中冬季上升趋势最为明显,升温速率达 0.26℃/10 a;秋季升温速率仅次于冬季,为 0.15℃/10 a;春季、夏季升温速率较小,为 0.08℃/10 a。48 a 中,广西冬季平均气温上升了 1.22℃,春季、夏季平均气温上升了 0.38℃,秋季平均气温上升了 0.71℃。

1.2 资料来源

气象资料选取广西壮族自治区 77 个资料序列较完整的气象站点 1961—2008 年逐日观测资料,包括:最低气温、平均气温、降雨量等。

1.3 经济林果寒害指标及计算方法

最新研究表明^[14],龙眼等经济林果寒害的临界温度为 5.0℃,即日最低气温在 5.0℃以下才会使龙眼、荔枝、香蕉受害。寒害发生期指上年 11 月至当年 3 月期间(如文中的 2008 年寒害,即指 2007 年 11 月至 2008 年 3 月期间发生的寒害,依此类推),当日最低气温≤5℃时,寒害过程开始;当日最低气温>5.0℃时,寒害过程结束^[20]。应用杜尧东等^[14]的研究成果进行验证后,为弥补其仅选用寒害过程的极端最低气温、日最低气温≤5.0℃累积日数、日最低气温≤5.0℃积寒、最大降温幅度等 4 个因子计算香蕉、荔枝寒害的综合气候指标,这个指标尚不能充分反映类似 2008 年这种严重湿冷型寒害之不足,本文增加寒害过程的日降雨量≥5 mm 日数这一致灾因子,共选用 5 个致灾因子构建经济林果寒害指数(HI)。

1.3.1 寒害指数的计算方法

首先,对 5 个致灾因子的原始值进行数据标准化处理。标准化处理的计算公式如下

$$X_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n}} \quad (1)$$

式中, X_i 为某一致灾因子第*i*年的标准化值; x_i 为某一致灾因子第*i*年的原始值; \bar{x} 为相应致灾因子的多年平均值;*i*为年份;*n*为总年数。

将 5 个致灾因子的标准化值分别乘以影响系数后求和,作为寒害指数。即

$$HI = \sum_{j=1}^5 a_j X_j \quad (2)$$

式中,HI 为各年寒害指数; X_1 为各年极端最低气温的标准化值; X_2 为各年日最低气温≤5.0℃累积日数的标准化值; X_3 为各年 24 h 最大降温幅度的标准化值; X_4 为各年日最低气温≤5.0℃积寒的标准化值; X_5 为各年日降水量≥5 mm 日数的标准化值; a_i 为相应因子的影响系数。

寒害致灾因子的影响系数的计算可选用不同方法,本研究采用主成份分析法。表 1 为影响系数 a_i 在广西各地的参考取值区间,由于各地的影响系数计算方法比较繁琐,若出于简便,各因子的影响系数可直接取平均值。

表 1 各致灾因子影响系数 a_i 取值
Table 1 Reference values of a_i in Guangxi

	致灾因子				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
a_i 的取值区间	-0.198~ -0.306	0.261~ 0.339	0.038~ 0.259	0.262~ 0.343	0.117~ 0.307
a_i 的平均值	-0.262	0.298	0.155	0.299	0.235

1.3.2 经济林果寒害等级指标

为了更好地反映较大范围内的区域寒害发生程度,在这里引入寒害发生频率,并定义寒害发生站次比和寒害强度。

依据寒害指数的量级大小,结合历史灾情实况和近 10 多年来寒害的实地调研结果综合分析,将经济林果寒害分为轻度($HI < 0.3$)、中度($0.3 \leq HI < 0.8$)、重度($0.8 \leq HI < 2.0$)、极重($2.0 \leq HI$) 4 个等级。

1) 寒害频率 P_i

根据寒害分级标准,计算每年寒害发生期(上年 11 月至当年 3 月期间)寒害的发生频率 P_i ,即某站不同等级寒害发生的年数与统计资料年数之比

$$P_i = \frac{N}{n} \times 100\% \quad (3)$$

式中, N 为某站出现不同等级寒害年数, n 为统计年数,下标 i 指代区别不同站代号。按不同等级的寒害发生年数计算不同等级寒害频率。

2) 寒害站次比 P_j

寒害站次比 P_j 。 P_j 是用某一区域内寒害发生站数多少占全部站数的比例来评价寒害影响范围的大小,可用以下公式表示

$$P_j = \frac{m}{M} \times 100\% \quad (4)$$

式中, M 为研究区域内总气象站数; m 为发生寒害的站数;下标 j 指代不同年份的代号。寒害发生站次比 P_j 表示一定区域寒害发生的范围的大小,也间接反映寒害影响范围的严重程度。

寒害的影响范围定义:当 $P_j \geq 85\%$ 时,为全域性寒害;当 $85\% > P_j \geq 50\%$ 时为区域性寒害;当 $50\% > P_j \geq 30\%$ 时为部分区域性寒害;当 $30\% > P_j \geq 10\%$ 时为局域性寒害;当 $P_j < 10\%$ 时为无明显寒害发生。

3) 区域寒害强度 S_{ij}

S_{ij} 用来评价寒害严重程度,单站的某时段内的寒害强度可由 HI 值反映,HI 值越大,表示寒害越严重。某区域内多年的寒害程度可由下式得到

$$S_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m HI_{ij} \quad (5)$$

式中, S_{ij} 为 i 年的区域寒害强度, m 为发生寒害的站数, HI_{ij} 为第 j 站第 i 年的寒害指数。

4) 单站寒害强度空间推算模型

广西地形地貌复杂, 由于经度、纬度、海拔及下垫面特性不同, 气候资源存在明显的空间差异, 在广西目前仅有 90 个气象观测站点, 因而应用每县一站的气象观测资料计算得到的寒害强度难以真实客观地反映县域内寒害强度的空间分布。因此, 为了比较客观地反映广西不同地域的寒害强度, 应用 GIS 建立基于地理信息的小网格寒害强度空间推算模型, 并通过推算模型模拟出广西无测站地区的寒害强度。寒害强度与当地的经度、纬度、海拔、坡度、坡向等地理因子关系密切, 广西经济林果寒害强度与地理因子的关系模型可表示为

$$HI = f(\varphi, \lambda, h) + \varepsilon \quad (6)$$

ε 为余差项, 称为综合地理残差, 可认为 φ, λ, h 所拟合的气候学方程的残差部分, 即

$$\varepsilon = HI(\text{实测值}) - f(\varphi, \lambda, h) \quad (7)$$

式 (6-7) 中, HI 为寒害强度; φ, λ, h 分别代表纬度、

经度、海拔高度等地理因子; 函数 $f(\varphi, \lambda, h)$ 称为寒害强度的气候学方程。

把广西 77 个气象站寒害强度的多年平均值及对应站点的经度、纬度、海拔、坡度、坡向等地理信息数据, 应用逐步回归分析方法, 建立广西经济林果寒害强度的空间推算模型

$$HI = -2.157 + 0.031\varphi + 0.015\lambda \quad (8)$$

式中, HI 为寒害强度; φ, λ 分别代表纬度、经度。

该推算模型的复相关系数为 0.620, F 值为 23.143, 均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验, 表明该方程回归效果较好, 具有良好的统计学意义, 可利用它进行寒害强度的细网格模拟分析。

2 结果与分析

2.1 经济林果寒害频率

2.1.1 寒害频率空间分布特征

依据公式 (3) 的计算结果, 广西各台站基于 HI 的寒害频率见图 1 和表 3。

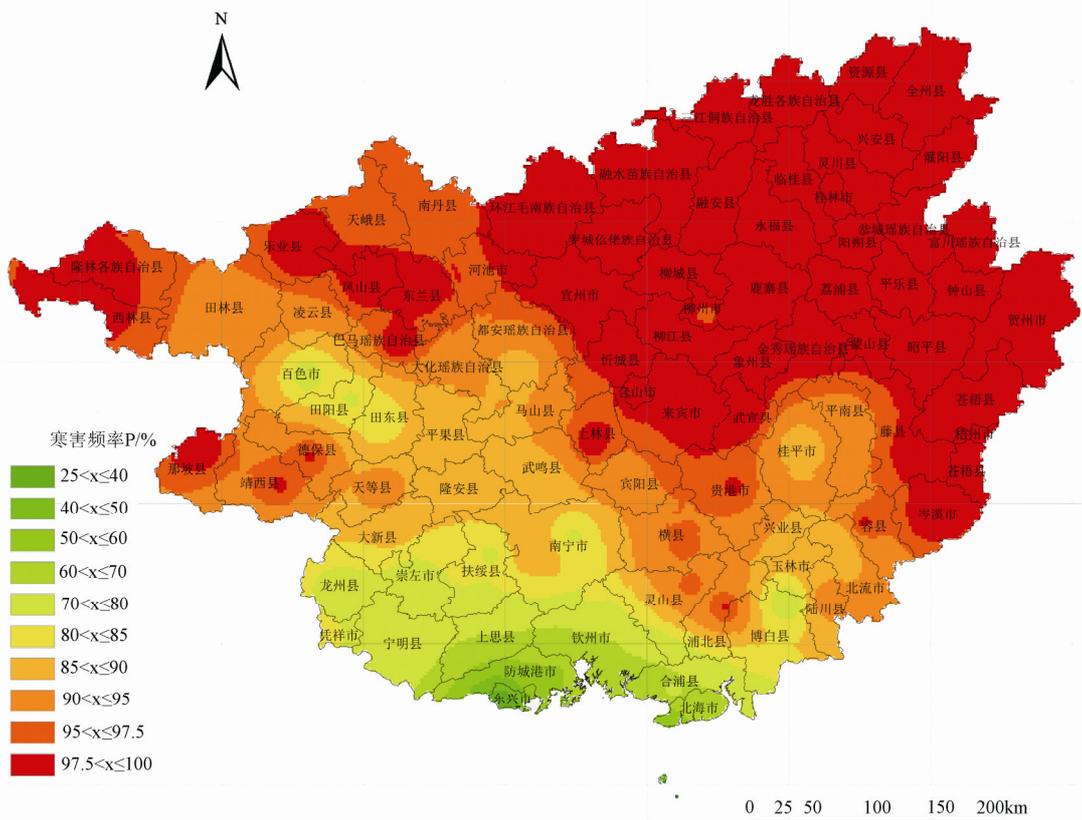


图 1 广西经济林果轻度以上寒害频率空间分布

Fig.1 Spatial distributions of cold damage frequency on economic forest fruits in Guangxi

大新、都安、马山、武鸣、平果、田东、桂平、玉林、北流、凭祥等地, 寒害频率在 81.3%~87.5%; 在崇左市大部以及百色、田阳、博白、合浦、钦州等地, 寒害频率在 68.8%~79.2%; 南部沿海地区, 寒害频率在 25%~59%, 最低为围洲岛只有 25%。中度以上寒害(含

中度, 下同)发生频率在 8.1%~43.2%, 平均为 31.0%; 重度以上寒害发生频率平均为 18.1%, 极重寒害频率平均为 3.1%。

从空间分布总体特征看, 以桂东北一带寒害频率最高, 其次是桂西北的高寒山区, 南部的东兴、北海等沿

海地区寒害频率最低。以上分析结果与实际寒害发生情况和已有研究结论基本一致^[4,6,25]。

2.1.2 寒害频率时间分布特征

广西经济林果各年代寒害频率见表 3, 轻度以上和中度以上的寒害频率均是 20 世纪 60 年代为最高值。而重度以上和极重的寒害频率则是 20 世纪 70 年代为最高值; 在年代变化趋势上, 除了中度以上的寒害频率自 20 世纪 60 年代至今一直处于减小趋势外, 其余轻度以上、重度

以上和极重的寒害频率都表现为自 20 世纪 70 年代开始减小, 到 20 世纪 90 年代减小到最小值, 而 2001—2008 年的寒害频率则重新呈现出增加态势, 尤其是重度以上的寒害频率比 90 年代明显增加。

综合看, 广西经济林果的寒害频率以 20 世纪 60 和 70 年代较严重, 90 年代较轻; 从 48 a 总体变化趋势上看, 轻度以上寒害呈现减小趋势, 但减小幅度不大; 而 2001—2008 年重度以上的寒害频率与 90 年代比则呈现增加趋势。

表 3 广西经济林果寒害各年代出现频率

Table 3 Cold damage frequency of different decades on economic forest fruits in Guangxi

年代	轻度以上频率/%	中度以上频率/%	重度以上频率/%	极重频率/%
20 世纪 60 年代	95.4	47.5	27.8	1.9
20 世纪 70 年代	89.5	37.8	27.9	10.6
20 世纪 80 年代	92.6	32.6	16.5	1.4
20 世纪 90 年代	87.1	18.8	7.0	0.1
2001—2008 年	87.2	18.4	11.4	1.5
平均	90.4	31.0	18.1	3.1

2.2 经济林果寒害演变特征

2.2.1 寒害年际演变特征

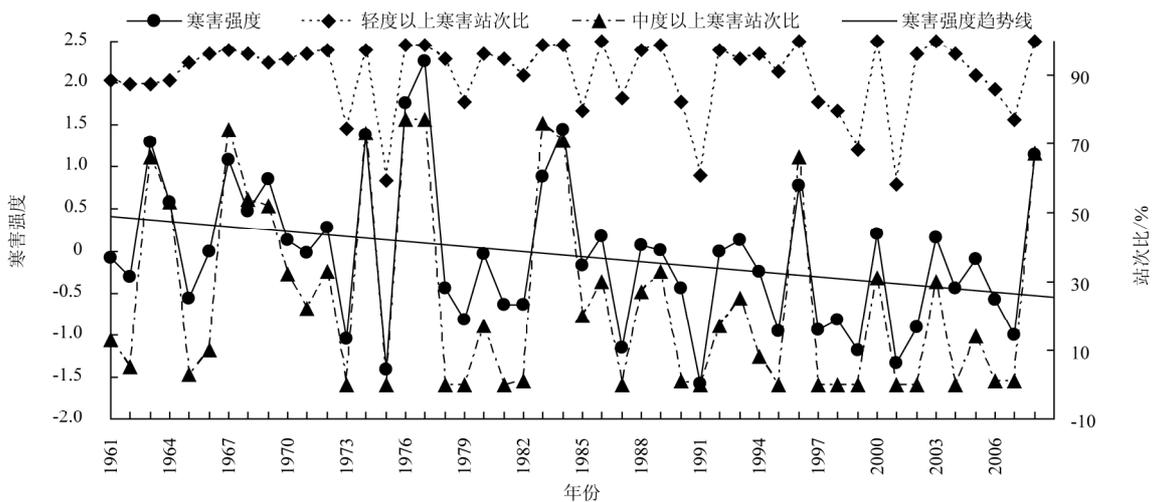
1) 寒害发生范围(站次比)

轻度以上寒害发生的站次比见图 2, 广西近 48 a 来站次比在 58.2%~100%波动变化, 表明每年广西均有半数以上的台站出现经济林果寒害。分析结果表明, 包括 2006 年等共 36 a 发生全域性寒害; 2001 年等 14 a 发生区域性寒害。从站次比的整体变化趋势看, 广西发生寒害的站次比 20 世纪 60、70 年代大多年份相对较高、发生寒害的范围相对较大, 20 世纪 90 年代大多年份相对较低、寒害范围相对小些, 而 2002、2004、2003、2008 的寒害

站次比均在 96%以上, 寒害发生范围有再扩大趋势。

中度以上寒害发生站次比历年在 0~77%波动(图 2)。其中, 利用线性回归分析计算获得寒害强度趋势线。大部分年份为无中度以上寒害(14 a)或无明显中度以上寒害(7 a); 有 6 a 为部分区域性中度以上寒害, 9 a 为区域性中度以上寒害; 12 a 为区域性中度以上寒害, 其中 1976、1977 年的中度以上寒害站次比达 77%, 是 1961 年以来广西中度以上寒害发生的范围最大。

综上, 广西经济林果寒害在 20 世纪 60、70 年代发生范围最大, 80、90 年代范围逐渐缩小, 进入 21 世纪后范围又有所扩大。



注: 实线为 1961—2008 年广西经济林果寒害强度变化特征

图 2 1961—2008 年广西经济林果寒害站次比和寒害强度变化特征

Fig.2 Annual variation characteristics of cold damage stations proportion and intensity on economic forest fruits in Guangxi

2) 区域寒害强度

由公式(5)计算结果表明, 近 48 a 来广西经济林果寒害强度在-1.6~2.3, 且有 36 a 寒害强度小于 0.3, 这表明广西发生寒害多数年份为轻度的寒害程度。由图 2 可

以看出, 广西经济林果寒害主要是轻度寒害和重度以上寒害, 发生中度寒害的年份只有 3 a。包括 1991 年在内共 8 a 寒害强度在-1.0 以下, 从实际情况看这些年份寒害几乎不成灾。1977 年等共 10 a 寒害强度在 0.8 以上, 为重

度以上寒害，其中 1977 年寒害强度达到 2.3，为近 48 a 寒害最严重的一年，即该年寒害强度为极重寒害；1976 年寒害强度为 1.8，为近 48 a 来广西寒害发生第二严重年。其余 30 a 寒害强度在-0.9~0.3。从图 2 可知，广西经济林果寒害发生的强度呈减弱趋势。

3) 寒害站次比与区域强度的年代际变化

图 3 为广西经济林果寒害站次比和寒害强度各年代比较，从图 3a 可以看出，轻度以上寒害站次比从 20 世纪 60 年代到 21 世纪初的波动幅度不大，20 世纪 60—80 年代较高，在 90% 以上，进入 90 年代以来略有减小，但减小趋势不明显，90 年代站次比为 87%，2001—2008 年为 88%；中度以上寒害各年代站次比则以 20 世纪 70 年代最高达 50%，60 年代高达 36%，从 70 年代至今呈不断减小

趋势，2001—2008 年减少到最低值 23%；而重度以上寒害 60、70 年代为高值分别达 27%、28%，从 80 年代开始减小，到 90 年代减小至最低只有 7%，而 2001—2008 年则呈增加趋势，站次比升至 11%。

从图 3b 可见，广西经济林果各等级寒害的寒害强度年代变化都表现为 20 世纪 60 年代、70 年代为较高值，80 年代和 90 年代逐渐减弱，到 90 年代减弱至最低值，2001—2008 年则重新增强，其中重度以上寒害的寒害强度增强较快，在 90 年代减至最低值 1.0 后，2001—2008 年)又升至 1.2，与 20 世纪 60 年代持平，而轻度以上和中度以上寒害的寒害强度分别在 90 年代减至最低值后，2001—2008 年都只增强了 0.1，而中度以上寒害 2001—2008 年的寒害强度也与 20 世纪 60 年代持平。

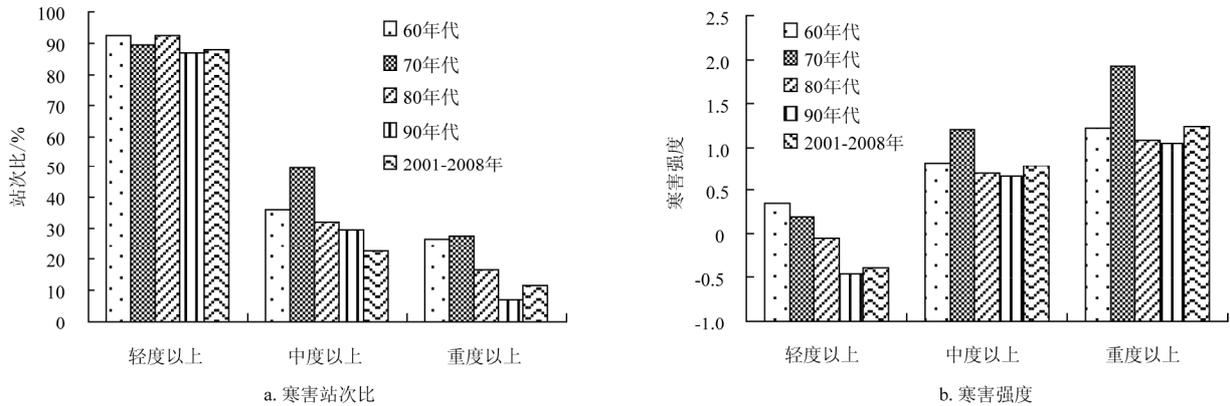


图 3 广西经济林果寒害站次比和寒害强度各年代比较

Fig.3 Comparison in different decades on cold damage stations proportion and cold damage intensity for economic forest fruits in Guangxi

2.2.2 冬季气温年代变化与经济林果寒害的年代变化分析

从图 4 可见，广西冬季（上年 12 月至当年 2 月）平均气温、平均最低气温从 60 年代至今都是上升的态势，即广西冬季气候变暖，而经济林果寒害的寒害强度均值以及重度以上寒害的出现频率、寒害站次比从 60 年代至 90 年代与冬季气温的变化相反，这一时期随着冬季气温的升高，寒害的强度、频率和发生范围都是减

小的态势，但是进入 21 世纪以来，虽然冬季气温继续升高，2001—2008 年冬季平均气温为 15.0℃，90 年代为 14.9℃，但经济林果寒害强度以及重度以上寒害的出现频率、寒害站次比与 90 年代比并没有减少，反而增加，寒害强度、重度以上寒害的出现频率和寒害站次比分别为-0.21、11.4%、2.5%，90 年代分别为-0.32、7%、1.6%，说明在气候变暖的背景下，出现极端气候事件的可能性增大。

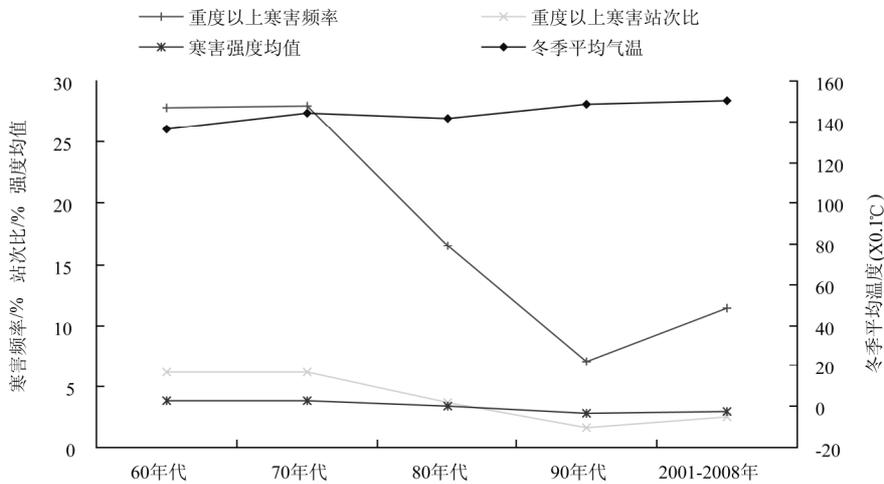


图 4 广西冬季气温与经济林果寒害年代变化情况

Fig.4 Comparison in different decades on winter average air temperature and cold damage for economic forest fruits in Guangxi

2.2.3 寒害强度空间分布特征

图 5 为广西经济林果寒害强度多年均值的空间分布情况，从图 5 中可见，处于桂东北的桂林市大部地区及贺州市北部的寒害强度（HI 值）最大，多在 0.30 以上，柳州市、河池市、贺州市 3 市大部及梧州市、玉林市 2 市局部地区寒害强度次之，在 0.24~0.30，南部的防城港市、北海等沿海地区、博白县、崇左市西南部及百色市右江河谷地区寒害强度最轻，多在 0.15 以下，其余地区在 0.15~0.24。图 5 中，苍梧、蒙山、武宣、来宾、忻城、都安、大化、巴马、百色等市县一带以南的大部地区的寒害强度在 0.24 以下，而这一区域正是目前广西经济林果的商业种植区，而在此线以北的大部地区，龙眼、荔枝、香蕉等经济林果的种植面积很小，产量很低，商业价值不高。此研究结果与前人的研究结果一致^[4,6,21]。

枝、香蕉等经济林果的种植面积很小，产量很低，商业价值不高。此研究结果与前人的研究结果一致^[4,6,21]。

2.3 分析验证

研究表明，经济林果寒害指数（HI）能很好地反映广西经济林果寒害的年际变化和空间变化，适用性强。对照文献^[22]的灾情记载，本研究结果与实际灾情基本一致。2008 年在中国南方地区出现了大范围持续低温、雨雪、冰冻天气，得到的寒害指数（HI）值为 1.1，在近 48 a 年中寒害强度排第 6 位，仅次于 1977、1976、1984、1974、1963 年，为 90 年代以来最强的一年，而站次比为 100%，很好体现了 2008 年初的这次寒害在广西的发生强度和发生范围。

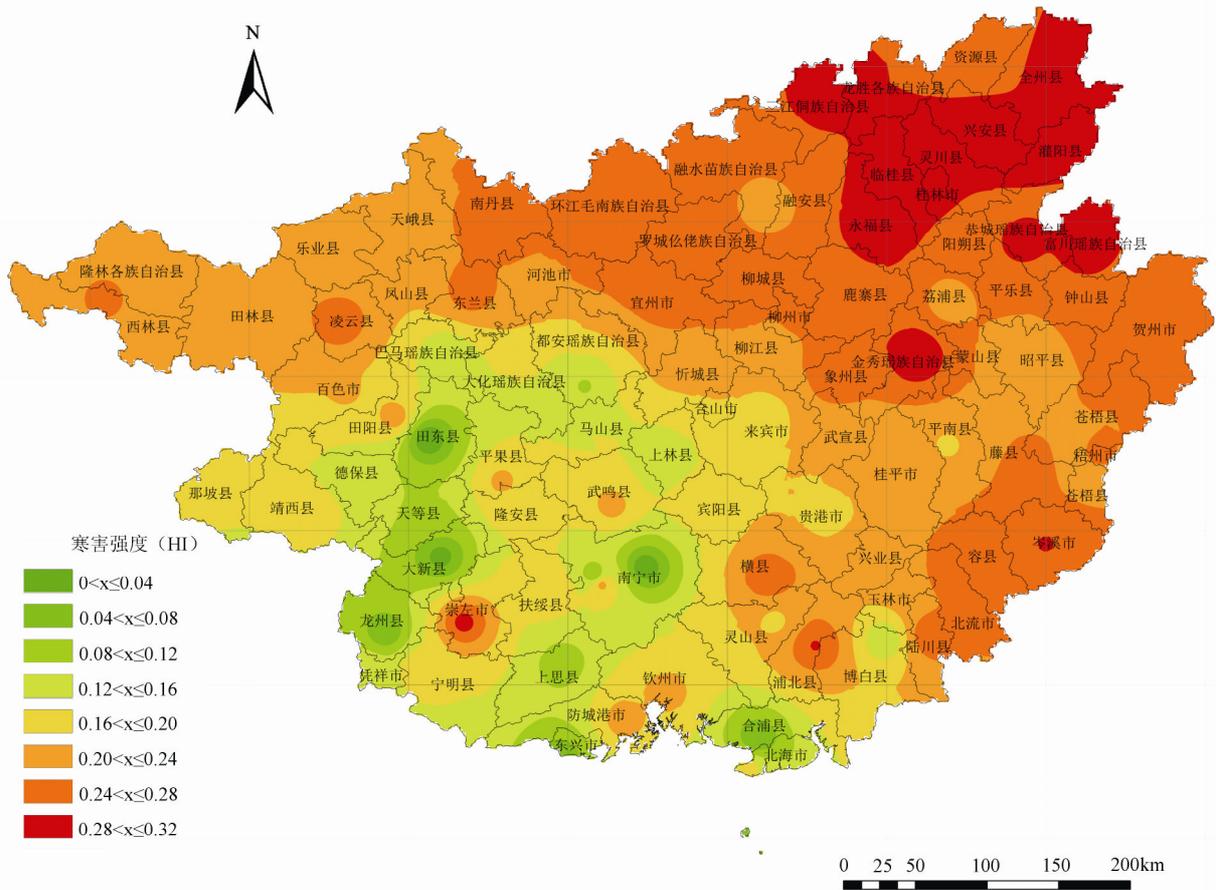


图 5 基于 GIS 的广西经济林果寒害强度空间分布
Fig.5 Spatial distributions of cold damage intensity in litchi, longan and banana in Guangxi

3 结论与讨论

1) 广西经济林果寒害频率以桂东北一带最高，其次是桂西北的高寒山区，南部的东兴、北海等沿海地区寒害频率最低。

2) 从年代变化看广西经济林果寒害频率、站次比和寒害强度以 20 世纪 60 和 70 年代较严重，90 年代较轻，从 48 a 总体变化趋势上看，轻度以上寒害呈现减小趋势，但减小幅度不大；2001—2008 年重度以上的寒害频率、站次比和寒害强度则呈现增加趋势。

3) 随着广西冬季气候变暖，从 20 世纪 60 年代至 90 年代经济林果寒害的寒害强度以及重度以上寒害的出现频率、寒害站次比都是减小的态势，但是进入 21 世纪，虽然冬季气温继续升高，经济林果重度以上寒害与 20 世纪 90 年代比并没有减少，反而增加，说明在气候变暖的背景下，出现极端气候事件的可能性增大。

4) 广西经济林果的商业种植区域主要分布在寒害强度在 0.24 以下的苍梧、蒙山、武宣、来宾、忻城、都安、大化、巴马、百色等市县一带以南的大部地区，研究结果与其他研究成果比较一致。

本文运用龙眼等经济林果寒害指数, 采用寒害站次比、寒害强度等指标, 系统分析了广西经济林果寒害随时间的演变规律, 明确了广西寒害特点。但对于龙眼、荔枝、香蕉等不同作物, 文中采用同一分级指标, 这可能还不能充分反映不同作物的寒害演变特征, 有待进一步研究细化针对不同作物的寒害等级指标来进行更深入的分析。

致谢: 感谢中国农业大学的张立祯老师和师妹李秋月为英文摘要所作的修改。

[参 考 文 献]

- [1] 霍治国, 王石立, 等. 农业和生物气象灾害[M]. 北京. 气象出版社, 2009: 52—53, 58.
Huo Zhiguo, Wang Shili, et al. Agricultural and biology meteorological disaster[M]. Bei Jing. Meteorological Press, 2009: 52—53, 58. (in Chinese with English abstract)
- [2] 庞庭颐. 荔枝等果树的霜冻低温指标与避寒种植环境的选择[J]. 广西气象, 2000, 21(1): 12—14.
Pang Tingyi. Frostbite low temperature index and selection of planting environment escaping cold for Fruiters such as litchi[J]. Journal of Guangxi Meteorology, 2000, 21(1): 12—14. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李艳兰, 苏志, 涂方旭. 若干气候因素对广西荔枝龙眼产量的影响[J]. 广西科学院学报, 2002, 18(3): 135—140.
Li Yanlan, Su Zhi, Tu Fangxu. The effects of climatic factors on yields of lichee and longan in Guangxi[J]. Journal of Guangxi Academy of Science, 2002, 18(3): 135—140. (in Chinese with English abstract)
- [4] 苏永秀, 丁美花, 李政, 等. GIS 在广西龙眼种植优化布局中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 145—149.
Su Yongxiu, Ding Meihua, Li Zheng, et al. Application of GIS to optimum distribution of Longan planting in Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(12): 145—149. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘玲, 高素华, 黄增明. 广东冬季寒害对香蕉产量的影响[J]. 气象, 2003, 29(10): 46—50.
Liu Ling, Gao Suhua, Huangzengming. Impacts of cool injury in winter on banana yields in Guangdong province[J]. Meteorology, 2003, 29(10): 46—50. (in Chinese with English abstract)
- [6] 何燕, 李政, 谭宗琨, 等. 基于 GIS 的广西香蕉低温寒害区划研究[J]. 果树学报, 2008, 25(1): 60—64.
He Yan, Li Zheng, Tan Zongkun, et al. Analysis of cold damage on banana in Guangxi based on GIS[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(1): 60—64. (in Chinese with English abstract)
- [7] 植石群, 刘锦奎, 杜尧东, 等. 广东省香蕉寒害风险分析[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 113—116.
Zhi Shiqun, Liu Jinluan, Du Yaodong, et al. Risk analysis of cold damage to banana in Guangdong Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(2): 113—116. (in Chinese with English abstract)
- [8] 袁亚芳. 宁德市龙眼冻害调查分析[J]. 福建果树, 2000, (2): 24—25.
Yuan Yafang. Longan freeze injury diagnosis of Ningde[J]. Fujian Fruits, 2000, (2): 24—25. (in Chinese with English abstract)
- [9] 陈国保. 极端寒冷天气对荔枝和龙眼成花的影响[J]. 作物杂志, 2008, (5): 70—73.
Chen Guobao. Influence of cold weather at the Beginning of 2008 on Flowering of Litchi and Longan[J]. Crops, 2008, (5): 70—73. (in Chinese with English abstract)
- [10] 朱建华. 对龙眼、荔枝、芒果冻、寒害若干问题的讨论[J]. 广西园艺, 2000, (Z1): 26—27.
Zhu Jianhua. Discussion of frozen of longan, litchi, mango [J]. Guangxi Horticulture, 2000, (Z1): 26—27. (in Chinese with English abstract)
- [11] 庄伊美. 厦门地区龙眼冻害调查报告[J]. 福建果树, 2000, (2): 18—19.
Zhuang Yimei. Report of investigation of longan freeze injury in Xia Men. [J]. Fujian Fruits, 2000, (2): 18—19. (in Chinese with English abstract)
- [12] 钟思强. 广西龙眼荔枝成花率低的原因分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 55—57.
Zhong Siqiang. A preliminary study on causes of low rate of floral initiation of longan and litchi in Guangxi province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2003, 24(4): 55—57. (in Chinese with English abstract)
- [13] 谭明, 霍治国, 李标, 等. 广西农作物受低温冻害影响评估报告[J]. 广西农学报, 2008, (Z1): 1—5.
Tan Ming, Huo Zhiguo, Li Biao, et al. Assessment report of low temperature freeze injury influence on crops in Guang Xi[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2008, (Z1): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杜尧东, 李春梅, 毛慧琴. 广东省香蕉与荔枝寒害致灾因子和综合气候指标研究[J]. 生态学杂志, 2006, 25(2): 225—230.
Du Yaodong, Li Chunmei, Mao Huiqin, et al. Disaster-inducing factors and integrated climatic index for banana and litchi chilling injuries in Guangdong province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(2): 225—230. (in Chinese with English abstract)
- [15] 杜尧东, 李春梅, 毛慧琴, 等. 广东省香蕉寒害综合指数的时空分布特征[J]. 中国农业气象, 2008, 29(4): 467—471, 476.
Du Yaodong, Li Chunmei, Mao Huiqin, et al. Temporal and Spatial Distribution of Integrated Chilling Injury Index for Banana in Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(4): 467—471, 476. (in Chinese with English abstract)
- [16] Chen Jianye, He Lihong, Jiang Yeming, et al. Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit[J]. Physiologia Plantarum, 2008, 132(3): 318—28.
- [17] Ding CK, Wang CY, Growth KC, et al. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit[J]. Planta, 2002, 214(6): 895—901.
- [18] Huang Chingjiang, Wu Meichiao. Differential effects of foods traditionally regarded as heating and cooling on prostaglandin

- E(2) production by a macrophage cell line[J]. *Journal of Biomedical Science*, 2002, 9(6): 596—606.
- [19] Sanchez-Bzllesta M T, Lluch Y, Gosalbes M J, et al. A survey of genes differentially expressed during long-term heat-induced chilling tolerance in citrus fruit[J]. *Planta*, 2003, 218(1): 65—70.
- [20] QX/T80—2007, 香蕉、荔枝寒害等级[S].
- [21] QX/T80—2007, Banana litchi cold damage rank[S]. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李娜, 霍治国, 贺楠, 等. 华南地区香蕉、荔枝寒害的气候风险区划[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1244—1251.
- Li Na, Huo Zhiguo, He Nan, et al. Climatic risk zoning for banana and litchi's chilling injury in South China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1244—1251. (in Chinese with English abstract)
- [23] 温克刚. 中国气象灾害大典--广西卷[M]. 气象出版社, 2007: 345—348.
- Ven Kegang. China meteorological disaster grand ceremony—Guangxi Part[M]. Meteorological Press, 2007: 345—348. (in Chinese with English abstract)

Evolutionary characteristics of cold damage of economic forest fruits in Guangxi during 1961 to 2008

Kuang Zhaomin^{1,2}, Pan Xuebiao^{1*}, Li Li², Rong Jun³, He Yan², Luo Yongming², Ou Zhaorong², Zhang Xingqing, Chen Chaoquan⁴, Meng Cuili²

(1. College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning 530022, China; 3. Guangxi Meteorological Equipment Center; Nanning 530022, China; 4. Modern Education Technology Center, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Analyzing the evolutionary characteristics of cold damage under climate change is important to provide theoretical evidences for instituting policies on issue of disaster prevention and mitigation. Cold damage index (HI) was established based on five climatic factors, such as the extreme minimum air temperature, the accumulative days below 5°C, the accumulated cold harmful temperature with daily minimum air temperature below 5°C, the maximum amplitude of daily temperature and accumulative days with daily precipitation above 5 mm. The weather data of 77 meteorological stations from 1961 to 2008 in Guangxi was analysed. The frequency, intensity, the ratio of 77 stations and inter-decadal variations of cold damage of economic forest fruits in Guangxi were studied using HI. The spatial distribution of cold damage intensity was generated by geographic information system (GIS). The results showed that the frequency, ratio of existing station and the intensity of cold damage were more serious in 1960s and 1970s, than that in 1990s; While it was increased in 2001 to 2008 compared with 1990s; overall, it had a slight decreasing from 1961 to 2008. The commercial growing region of economic forest fruits in Guangxi, where the cold damage intensity is less than 0.24, is distributed in the south of Guangxi, including CangWu, MengShan, LaiBin, DuAn, BaMa, BaiSe, etc.

Key words: climate change, fruits, cold effects, evolution, Guangxi