

引用格式:Chen Xiuzhi, Chen Shuisen, Su Yongxian, *et al.* Study on the Low Temperature and Chilling Injuries of Typical Crops Using Passive Microwave Remote Sensing in Guangdong Province during Snow Disaster of 2008 [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(3): 387-395. [陈修治, 陈水森, 苏泳娴, 等. 基于被动微波遥感的 2008 年广东省春季低温与典型作物寒害研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 387-395.]

## 基于被动微波遥感的 2008 年广东省 春季低温与典型作物寒害研究

陈修治<sup>1,2,3,4,5</sup>, 陈水森<sup>3</sup>, 苏泳娴<sup>1,3,4</sup>, 李丹<sup>1,3,4</sup>, 韩留生<sup>1,3,4</sup>

- (1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南 郑州 450003; 3. 广州地理研究所, 广东 广州 510070; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 5. 东华理工大学江西省数字国土重点实验室, 江西 抚州 344000)

摘要:以 2008 年作物寒害为例,基于 AMSR-E 亮温和地面气象温度数据构建了广东省气温反演模型,平均误差为 2.5 °C。寒害期间,全省最低气温均小于 9 °C,大部分地区降温幅度在 5~15 °C 之间,降温持续天数均在 10 d 以上。综合最低气温、降温幅度和降温持续天数 3 个重要因子,构建了广东省寒害指数。结果显示,寒害程度从北部山区向南部沿海平原逐步递减;严重寒害主要发生在北部山区,较严重寒害发生在中部地区,以平行于海岸线的狭长带状形式分布,一般寒害和无寒害区域主要分布在沿海地区。其中,严重和较严重寒害约占省域总面积的 40.1%,遭受严重寒害和较严重寒害的典型亚热带作物园地面积占总园地面积的 49.61%。

关键词:被动微波遥感; AMSR-E; 作物寒害; 寒害指数; 低温

中图分类号: TP 79; S 426 文献标志码: A 文章编号: 1004-0323(2012)03-0387-09

### 1 引言

寒害是指温度不低于 0 °C 时,热带、亚热带作物在冬末春初生育期,因气温降低引起作物生理机能受损(组织未结冰),导致作物干枯甚至死亡的一种农业气象灾害<sup>[1-4]</sup>。通常气温在 10 °C 左右时,会对作物产生轻微影响,气温达到 4~5 °C 时,作物将受到严重损害。华南地区是我国热带、亚热带作物(香蕉、荔枝、龙眼、甘蔗、芒果等)的主要生产基地<sup>[4]</sup>,冬末春初常遭遇强冷空气影响,造成气温迅速大范围下降,形成作物寒害,严重危害着华南地区热带、亚热带经济作物生产。国内学者利用多年寒害资料和同期气候资料对华南地区作物寒害进行了大量研究,发现广东省春冬季寒害频繁,其平均周期约为

5 a<sup>[5]</sup>。寒害程度呈现 20 世纪 70 年代最强,60 年代次之,80 年代最弱,90 年代又变为逐步增强的趋势<sup>[6-7]</sup>。香蕉、荔枝、芒果等果树寒害的临界气温约为 5 °C,极端最低气温、最大降温幅度、持续日数和有害积寒是香蕉、荔枝、芒果最重要的致灾因子<sup>[8-10]</sup>,也是构建作物综合寒害指标的重要组成因素<sup>[2]</sup>。广东东部和珠江三角洲西部,为荔枝寒害经济损失轻度风险区;珠江三角洲东部和广西东南部为香蕉、荔枝、芒果寒害经济损失中度风险区;广东的从化、增城、高州以及广西东南部的少部分地区为香蕉、荔枝、芒果寒害经济损失重度风险区<sup>[11]</sup>。部分学者<sup>[12-13]</sup>基于 EOS/MODIS 卫星遥感影像 NDVI 值,结合 GIS 分析和数理统计方法,实现了对 2008

收稿日期:2011-08-19;修订日期:2012-02-19

基金项目:广东省科技计划项目(2010B020315016, 2010B020315029, 2007B020500002-7, 2011B020313001),中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放研究基金课题(AMF 201111),国家自然科学基金青年基金项目(40701127),江西省数字国土重点实验室开放基金项目(DLLJ201107)。

作者简介:陈修治(1986-),男,安徽淮北人,博士研究生,主要从事微波遥感研究。E-mail:chen\_xz86@163.com。

通讯作者:陈水森(1965-),男,江西高安人,研究员,主要从事定量遥感与 GIS 应用研究。E-mail:css@gdas.ac.cn。

年华南地区作物寒害程度和范围的动态监测和预警,寒害预测结果与实际寒害调查结果基本一致,灾害面积测算误差在 5% 左右。

然而,基于地面气候资料的作物寒害研究,只能直接反映观测点的寒害状况,不能直观反映大范围连续区域的寒害空间分布特征;基于热红外遥感技术的作物寒害研究,又受雨雪、多云等极端天气的影响比较大。被动微波遥感受大气干扰小,能够全天候地监测地面信息<sup>[14]</sup>,地表温度模拟精度可达到 2~3 °C<sup>[15-18]</sup>,在极端天气条件下监测作物寒害具有独特的优越性。因此,本研究采用 AMSR-E 被动微波遥感数据对广东省作物寒害进行研究。

## 2 研究区域与数据

广东省北部多山,沿海多平原,境内山川纵横,地势北高南低。显著的季风气候、南岭山脉和特定的环流形势,是孕育广东地区寒害的温床<sup>[9]</sup>。20 世纪 90 年代以来,寒害频率逐年上升,平均达每年 1 次,严重危害占近 40%,给作物生产带来了严重损失<sup>[19-20]</sup>,本文选取 2008 年广东省作物寒害进行研究,具有一定的代表性。

AMSR-E 微波辐射计数据共有 6 个频率(6.9、10.7、18.7、23.8、36.5、89.0 GHz),两个极化方式(水平极化和垂直极化),12 个通道,空间分辨率分别为 50、50、25、25、15、5 km<sup>[21-22]</sup>,地面气候数据由广东省气象局提供。由于 AMSR-E 遥感数据过境广东省时间基本稳定在凌晨 4:00~6:00 以及下午 16:00~18:00 之间。本研究选取凌晨过境的 AMSR-E 数据,并粗略认为此时对应的地面气温为日最低气温。

## 3 研究方法

基于 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日 AMSR-E 亮度温度数据和准同步地面气象数据,建立基于不同微波极化差异指数(MPDI)阈值的气温反演模型,模拟广东省全省气温,分析 2008 年广东省春季低温时空分布规律,建立寒害综合指数,进行广东省典型作物寒害评估和验证。

### 3.1 微波极化差异指数(MPDI)

微波极化差异指数(MPDI)是指微波垂直极化亮温和水平极化亮温之差与之和的比值<sup>[33]</sup>。由于植被对地表上行辐射中的垂直极化辐射有明显的衰减作用,因此,植被越多的地区,MPDI 值越低<sup>[23]</sup>。可见,MPDI 是表征地表植被覆盖程度的一个有效指标。研究表明<sup>[34]</sup>,MPDI>0.04 时,植被影响可以被忽略,即可认为地表类型是无植被覆盖地表;MPDI<0.04 时,应该考虑植被的消光系数,即属有植被覆盖地表。

$$MPDI = \frac{T_{bv} - T_{bh}}{T_{bv} + T_{bh}} \quad (1)$$

其中: $T_{bv}$  为垂直极化通道亮温, $T_{bh}$  为水平极化通道亮温。

### 3.2 气温反演模型

陈修治等<sup>[18]</sup>基于 2008 年 1 月 25 日~2 月 5 日 AMSR-E 亮温与地面气象数据,在使用 MPDI 指数对广东全省进行植被覆盖程度分类的基础上,建立了不同植被覆盖程度下的广东省地表温度 AMSR-E 反演模型(表 1)。其中 LST 代表地表温度,单位 °C; $T_{fp}$  分别代表 AMSR-E  $f$  频率  $p$  极化波段的亮温。

表 1 广东省地表温度 AMSR-E 反演模型

Table 1 AMSR-E model for retrieving land surface temperature of Guangdong province

MPDI 阈值	地表温度 AMSR-E 反演算法	$R^2$	交叉验证	
			RMSE/°C	平均误差/°C
<0.06	$LST = 0.00104 \times T_{6.9H} + 0.01801 \times T_{18.7V} - 0.01151 \times T_{18.7H} - 0.00201 \times T_{23.8V} + 0.00271 \times T_{23.8H} + 56.82032$	0.781	1.56	1.25
0.06~0.07	$LST = 0.00110 \times T_{6.9H} + 0.00998 \times T_{36.5V} - 0.00457 \times T_{36.5H} + 52.19068$	0.716	1.47	0.91
0.07~0.08	$LST = 0.00122 \times T_{6.9H} + 0.01109 \times T_{18.7V} - 0.00823 \times T_{18.7H} + 0.00500 \times T_{23.8V} + 62.21144$	0.716	1.92	1.10
0.08~0.09	$LST = 0.01496 \times T_{36.5V} - 0.00720 \times T_{36.5H} + 52.18968$	0.757	1.89	1.10
>0.09	$LST = 0.01783 \times T_{18.7V} - 0.00922 \times T_{18.7H} + 58.03248$	0.818	1.84	1.30

根据 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日实测地表温度与气温数据(图 1,广东省气象局提供),本文进一步推导了模拟广东省气温的 AMSR-E 反演模型(表 2)。其中, LAT 代表气温,单位是 °C;  $T_{fp}$  分别代表 AMSR-E  $f$  频率  $p$  极化波段的亮温。可见,基于 AMSR-E 的广东省气温反演模型精度基本维持在 2.5 °C 左右。

3.3 寒害综合指数

最低气温、降温幅度、降温持续天数是表征寒害强度的 3 个重要指标<sup>[22]</sup>,其中最低气温是指一定时间范围内某区域的空气温度最低值;降温幅度是指某区域范围一定时间段内最大降温温差;降温持续天数是指某区域范围一定时间段内持续降温的天数。表 3 列出了 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日广东

省各地最低气温( $T$ )、降温幅度( $\Delta T$ )和降温持续天数( $D$ )。

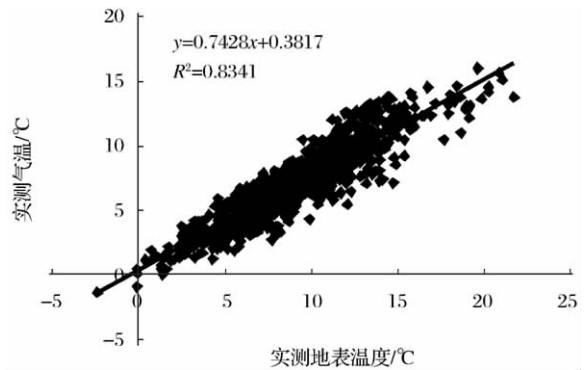


图 1 地表温度与气温的线性拟合关系

Fig. 1 Fitting relation between land surface temperature and air temperature

表 2 广东省气温 AMSR-E 反演模型

Table 2 AMSR-E model for retrieving air temperature of Guangdong province

MPDI 阈值	地表温度 AMSR-E 反演算法	$R^2$	交叉验证	
			RMSE/°C	平均误差/°C
<0.06	$LAT = -0.51381 \times T_{6.9H} - 0.49097 \times T_{18.7V} + 0.49972 \times T_{18.7H} + 0.51251 \times T_{23.8V} - 0.51156 \times T_{23.8H} + 75.97954$	0.74	1.90	2.05
0.06~0.07	$LAT = -0.51373 \times T_{6.9H} - 0.50178 \times T_{36.5V} + 0.50906 \times T_{36.5H} + 69.74686$	0.67	1.65	1.98
0.07~0.08	$LAT = -0.51357 \times T_{6.9H} - 0.50028 \times T_{18.7V} + 0.50413 \times T_{18.7H} - 0.50848 \times T_{23.8V} + 83.23737$	0.70	2.34	2.30
0.08~0.09	$LAT = -0.49507 \times T_{36.5V} + 0.50552 \times T_{36.5H} + 69.74551$	0.70	2.28	2.27
>0.09	$LAT = -0.49121 \times T_{18.7V} + 0.5028 \times T_{18.7H} + 77.61142$	0.78	2.42	2.40

表 3 广东省各地最低气温、降温幅度以及降温持续天数情况

Table 3 Lowest air temperature, temperature cooling difference and temperature cooling duration in Guangdong province

地名	$T/°C$	$\Delta T/°C$	$D/d$	地名	$T/°C$	$\Delta T/°C$	$D/d$
乐昌	-0.7	13.4	13	揭西	3.1	19.4	23
仁化	1.9	13.3	17	丰顺	3.6	19.3	25
南雄	0.4	14.2	15	潮州	5.1	17.2	24
连南	-0.6	13.2	13	饶平	5.1	15.9	21
连州	-1.8	14.3	13	普宁	6.6	16.9	21
连山	-3.9	16.6	13	揭阳	5.5	16.8	25
阳山	-0.6	12.8	13	汕头	6.9	15.5	26
乳源	-0.3	14.4	14	惠来	7.8	14.3	24
曲江	2.0	13.1	15	潮阳	8.0	15.3	25
佛岗	0.6	18.5	21	澄海	6.8	15.3	25
英德	1.0	16.0	17	南澳	7.5	15.0	26
始兴	1.1	14.4	19	信宜	3.5	20.2	20
翁源	0.4	18.7	20	罗定	4.3	17.6	18
连平	0.2	19.0	23	阳春	4.5	19.0	22

续表 3

地名	$T/^\circ\text{C}$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	$D/d$	地名	$T/^\circ\text{C}$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	$D/d$
新丰	-0.1	21.3	26	新兴	3.7	16.7	17
和平	-0.4	16.9	22	云浮	2.0	16.5	15
平远	-0.2	19.0	22	鹤山	4.1	16.9	22
龙川	0.8	17.8	25	开平	3.8	17.4	23
兴宁	1.3	18.6	24	新会	3.9	18.6	25
蕉岭	0.9	18.3	26	恩平	5.4	18.6	29
大埔	4.6	15.2	23	台山	4.4	16.9	25
梅县	6.5	14.0	23	顺德	4.1	16.8	19
封开	0.1	16.7	13	番禺	3.7	17.2	22
郁南	0.4	16.8	13	中山	5.1	16.0	17
德庆	2.3	15.9	15	斗门	4.6	17.7	19
怀集	0.5	17.8	15	珠海	5.9	16.1	20
广宁	0.6	18.0	16	惠东	4.4	17.0	22
四会	1.6	18.9	18	深圳	4.8	16.7	22
高要	2.7	19.4	22	海丰	6.7	15.3	23
三水	2.1	16.5	20	汕尾	5.8	16.3	23
清远	2.4	17.2	18	陆丰	5.5	17.0	22
花都	2.6	18.4	20	遂溪	5.6	20.6	21
从化	1.5	17.9	20	高州	6.2	16.8	23
广州	3.4	17.9	21	廉江	5.1	20.4	19
南海	3.6	17.3	21	化州	6.7	19.0	23
东莞	3.7	17.5	22	吴川	7.2	18.5	23
龙门	1.3	20.1	21	湛江	6.3	19.5	24
河源	0.9	19.0	25	茂名	6.6	16.0	22
增城	3.0	18.4	24	阳江	5.2	19.3	27
博罗	5.4	16.6	21	电白	6.8	17.8	21
惠阳	3.9	18.0	22	上川岛	5.1	19.3	23
五华	2.2	17.1	24	雷州	6.7	18.6	24
紫金	1.6	16.2	21	徐闻	7.8	20.3	25

本文使用主成分分析法,将最低气温、降温幅度、降温持续天数分解为几个不相关的、互相垂直的主成分变量,并将方差占总方差 75% 以上的主成分变量组合,定义为表征寒害强度的综合寒害指标(式 2)。可见,最低气温越低、降温幅度越大、持续时间越久,综合寒害指标越大,作物寒害的程度越严重。

$$F = -0.756T + 0.611\Delta T + 0.915D + A \quad (2)$$

其中:A 为常数,当  $T > 5^\circ\text{C}$  时,  $A = 0$ ; 当  $5 \geq T > 4^\circ\text{C}$  时,  $A = 19.08$ ; 当  $4 \geq T > 3^\circ\text{C}$  时,  $A = 38.16$ ; 当  $3 \geq T > 2^\circ\text{C}$  时,  $A = 57.24$ ; 当  $T \leq 2^\circ\text{C}$  时,  $A = 83.95$ 。

## 4 结果与讨论

4.1 基于 AMSR-E 亮度温度数据反演广东省气温  
利用广东省气温 AMSR-E 反演模型(表 2),本

文模拟了 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日全省最低气温分布状况。其中,全省大部分地区的最低气温在 2008 年 2 月 3 日达到最低值(图 2(a)),2008 年 2 月 3 日全省最高温度只有  $8.7^\circ\text{C}$ ,最低温度达到  $-2.1^\circ\text{C}$ ,小于  $5^\circ\text{C}$  的地区约占省域面积的 1/3,气温基本呈现北面山区温度(韶关市)较低,南部沿海(湛江、广州、汕头、潮州、揭阳)温度较高的趋势。

### 4.2 广东省春季低温时空分布规律

从 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日广东省遥感模拟最低气温曲线可以看出(图 3,以连山、雷州、南海、云浮为例),1 月 11 日~15 日 4 d 时间,气温从大约  $20^\circ\text{C}$  下降到  $5^\circ\text{C}$  左右,降温  $15^\circ\text{C}$ ; 1 月 21 日~2 月 2 日 12 d 时间,气温持续降低,最大降幅达  $25^\circ\text{C}$  左右,最低达到  $4.3^\circ\text{C}$ ,低温天气一直持续到 2 月 16 日左右,历时达 26 d 之久。

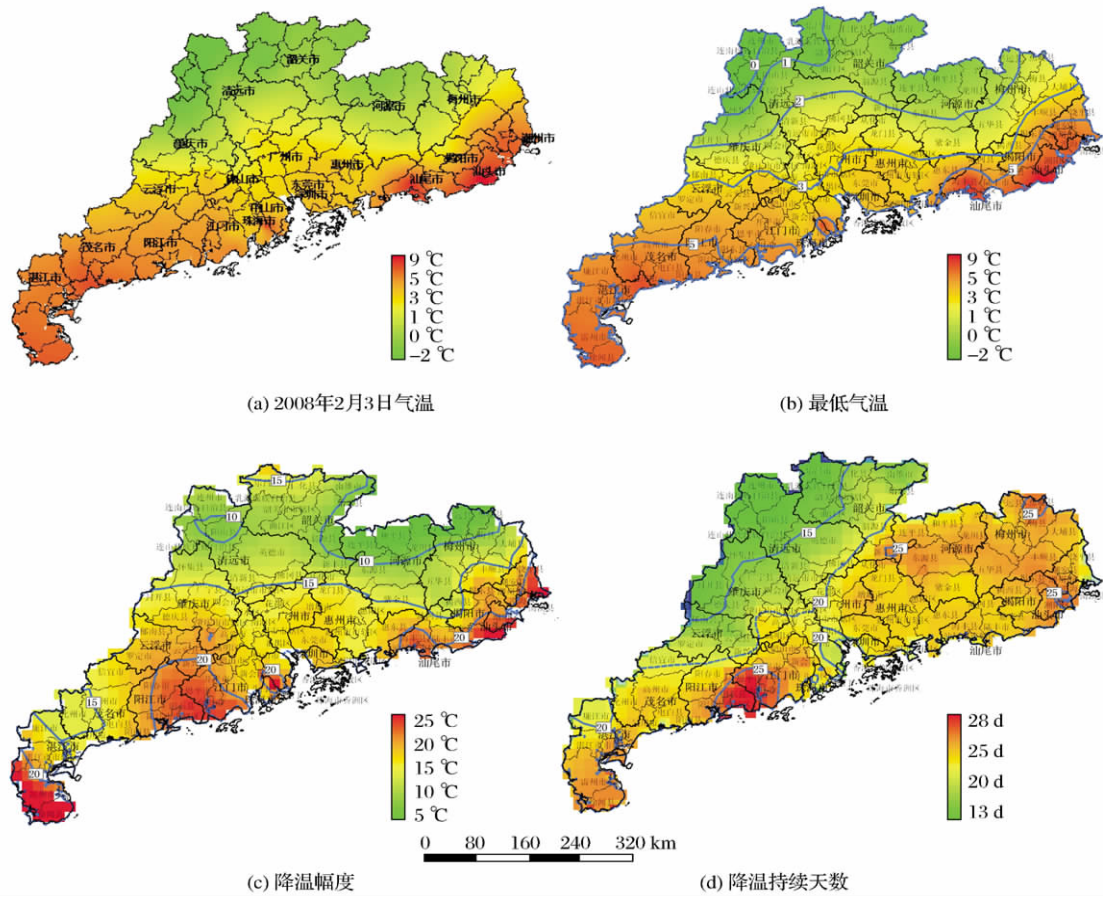


图 2 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日寒害期间广东省低温情况

Fig. 2 The low air temperature conditions in Guangdong province during the chilling injury period from Jan. 11th, 2008 to Feb. 29th, 2008

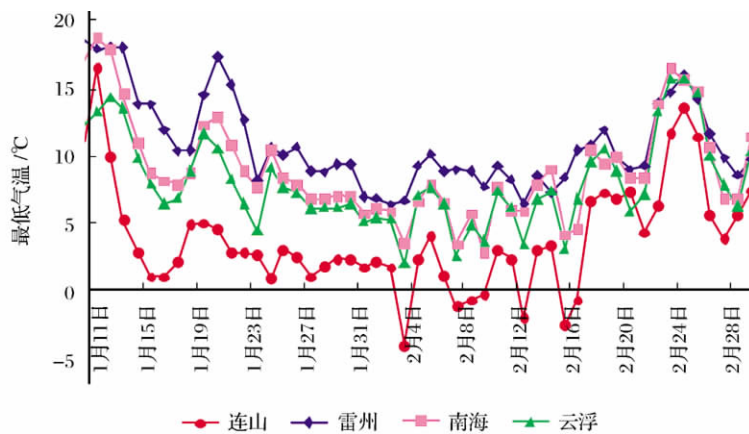


图 3 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日广东省最低气温曲线图

Fig. 3 Lowest air temperature in Guangdong during the time period from Jan. 11th, 2008 to Feb. 29th, 2008

从图 2(b)可见,全省最低气温均小于 9 °C,其中,最低温度低于 0 °C 的地区分布在清远市西北部的连州、连南以及连山地区(面积 3 271. 38 km<sup>2</sup>);最低气温低于 5 °C 的地区主要分布在广东省中部、北部地区(面积 89 614. 63 km<sup>2</sup>)。从图 2(c)可见,广东省绝大部分地区降温幅度在 5 ~ 15 °C 之间(面积

108 907. 26 km<sup>2</sup>);只有东北部的河源市、梅州市以及清远市部分地区降温幅度小于 5 °C (面积 15 949. 36 km<sup>2</sup>);降温幅度在 15 °C 以上的地区主要分布在东部沿海、南部沿海、西南部沿海(湛江市)等地区(面积 50 993. 45 km<sup>2</sup>)。从图 2(d)可见,全省降温持续天数均在 10 d 以上;中北部地区均在 10 d

(面积为 22 512.12 km<sup>2</sup>) 到 15 d 左右 (面积为 40 452.43 km<sup>2</sup>);南部沿海和东部的大部分地区降温持续天数都在 20 d 以上(面积为 106 536.68 km<sup>2</sup>);韶关市、阳江市、江门市、梅州市部分地区甚至达到 25 d 之久(面积 6 366.32 km<sup>2</sup>)。

4.3 广东省寒害指数空间分布状况

基于寒害指数 F(式(2)),本文计算了 86 个县市

的寒害指数值,如表 4 和图 4(a)所示。结合前人研究成果<sup>[10-13]</sup>,将广东省寒害程度按照表 5 所示的标准划分为 4 类。其中,严重寒害主要发生在广东省北部山区,包括河源市、韶关市、清远市、肇庆市大部分地区以及云浮市、广州市、惠州市和梅州市北部地区,面积为 38 071.65 km<sup>2</sup>;较严重寒害主要发生在广东省中部地区,以平行于海岸线的狭长带状形式

表 4 广东省各地区寒害综合指数

Table 4 Values of the chilling injury index in Guangdong province

地名	F 值	地名	F 值	地名	F 值	地名	F 值
乐昌	104.56	封开	105.97	丰顺	70.11	中山	21.48
仁化	106.19	郁南	105.81	潮州	28.61	斗门	43.80
南雄	106.05	德庆	78.94	饶平	25.07	珠海	23.68
连南	104.36	怀集	108.17	普宁	24.55	惠东	46.27
连州	105.94	广宁	109.13	揭阳	28.98	深圳	45.78
连山	108.94	四会	110.76	汕头	28.04	海丰	25.33
阳山	104.12	高要	87.18	惠来	24.80	汕尾	26.62
乳源	105.79	三水	84.03	潮阳	26.18	陆丰	26.36
曲江	104.17	清远	82.40	澄海	27.08	遂溪	27.57
佛岗	114.01	花都	84.82	南澳	27.29	高州	26.62
英德	108.53	从化	112.05	信宜	66.16	廉江	25.99
始兴	109.30	广州	65.74	罗定	43.05	化州	27.59
翁源	113.37	南海	65.22	阳春	47.42	吴川	26.91
连平	116.45	东莞	66.19	新兴	61.12	湛江	29.11
新丰	120.83	龙门	114.46	云浮	106.24	茂名	24.92
和平	114.71	河源	117.75	鹤山	46.44	阳江	32.57
平远	115.84	增城	88.17	开平	66.96	电白	24.95
龙川	117.10	博罗	25.28	新会	69.45	上川岛	28.98
兴宁	116.29	惠阳	66.34	恩平	33.82	雷州	28.26
蕉岭	118.24	五华	87.98	台山	48.95	徐闻	29.38
大埔	45.93	紫金	111.85	顺德	43.63		
梅县	24.69	揭西	68.71	番禺	66.00		

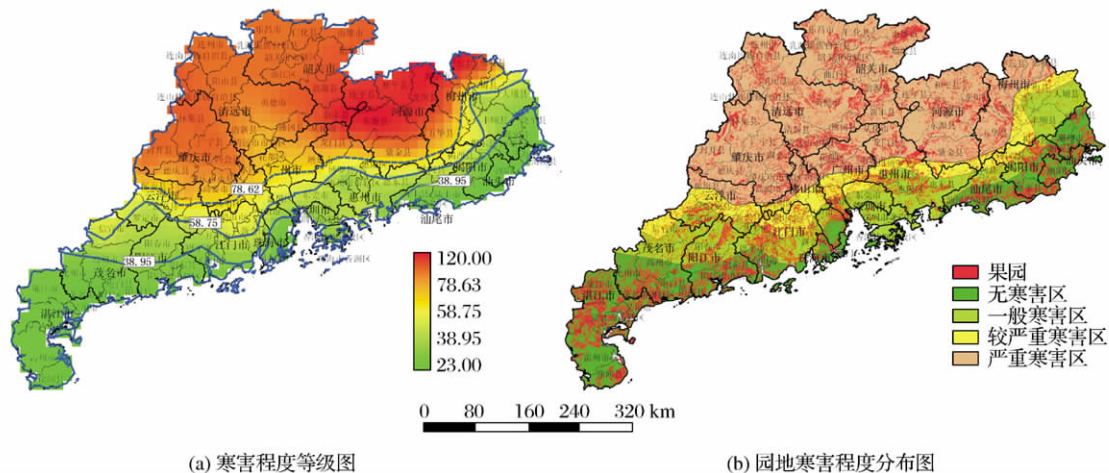


图 4 2008 年 1 月 11 日~2 月 29 日广东省寒害情况

Fig. 4 The chilling injury conditions of Guangdong province during the time period from Jan. 11th, 2008 to Feb. 29th, 2008

表5 广东省寒害等级分类标准

Table 5 Classification standards of chilly injury degree in Guangdong province

寒害程度	最低气温/℃	降温幅度/℃	降温持续天数/d	寒害指数
无寒害	$T > 5$	—	—	$F < 38.95$
	$5 \geq T > 4$	$< 15$	$< 15$	
一般	$5 \geq T > 4$	$\geq 15$	$\geq 15$	$58.75 > F \geq 38.95$
	$4 \geq T > 3$	$< 15$	$< 15$	
较严重	$4 \geq T > 3$	$\geq 15$	$\geq 15$	$78.62 > F \geq 58.75$
	$3 \geq T > 2$	$< 15$	$< 15$	
严重	$3 \geq T > 2$	$\geq 15$	$\geq 15$	$F \geq 78.62$
	$T < 2$	10	10	

分布,包括云浮市中部、广州市和梅州市南部以及江门市、中山市和惠州市北部,面积为33 389.13 km<sup>2</sup>;一般寒害和无寒害地区主要分布在广东省沿海地区,包括湛江市、茂名市、江门市、中山市、深圳市、惠州市、揭阳市和潮州市大部分地区,其面积分别为19 803.74 km<sup>2</sup>和86 929.31 km<sup>2</sup>。可见,广东省严重和较严重程度的寒害区域大约占省域总面积的40.10%,寒害程度总体呈现从北部山区向南部沿海平原逐步递减的形式。这主要是由于粤北山区最低气温较低,部分地区甚至会达到零下,且在冬季寒流过境时,南岭山脉会减缓寒流南下的速度,使得寒流在粤北山区滞留时间长,容易形成寒害,而广东省南部地区属沿海平原,受来自海洋的温暖湿润季风气候影响很大,一般不容易发生严重寒害。

#### 4.4 2008年广东省典型作物寒害评估与验证

广东省属典型的热带亚热带地区,是香蕉、荔枝、龙眼、甘蔗、芒果等热带、亚热带作物的主要生产基地(图4(b),红色地块为主要果园生产基地)。统计发现,遭受严重寒害的园地总面积为15 934.04 km<sup>2</sup>(占总园地面积的39.91%);遭受较严重寒害的园地面积为3 872.90 km<sup>2</sup>(占9.70%);遭受一般寒害的园地面积为7 148.78 km<sup>2</sup>(占17.90%);没有发生寒害的园地总面积为12 972.08 km<sup>2</sup>(占32.49%)。

由于无法获取2008年广东省各县市灾情气象数据,本文以2008年各县市平均果园亩产量为间接指标来评估寒害指数的可靠性和准确性。虽然果园亩产量还受其他很多因素的影响,但在2008年遭受特大作物寒害的情况下,作者认为寒害对果园亩产量的影响程度远大于其他外界因素对果园平均亩产量的影响,因此,用2008年各县市平均果园亩产量为间接指标来评估寒害指数在一定程度上是可行的。验证结果显示,寒害指数和园地亩产量呈显著线性负相关关系( $R^2=0.54$ )(图5),可见,园地寒害

程度越严重(即寒害指数越高)的地区,其亩产量一般也相对越低,验证结果从一定程度上说明寒害指数的准确性。

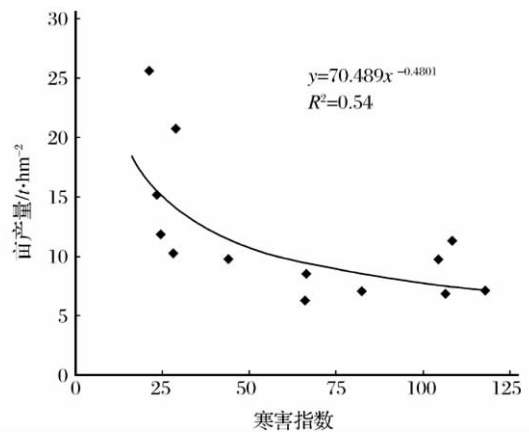


图5 作物寒害指数与园地平均亩产量的关系

Fig. 5 Relationship between chilling injury index and average output of orchards in Guangdong province

## 5 结语

2008年寒害期间,广东省大部分地区最低气温均低于5℃,降温幅度均在5~15℃之间,降温持续天数也都在10d以上。本研究基于主成分分析方法,综合考虑最低气温、降温幅度和降温持续天数3个因子构建了广东省作物寒害指数,并对2008年广东省作物寒害程度进行了等级划分。结果表明,寒害程度总体呈现从北部山区向南部沿海平原逐步递减的形式,严重寒害主要发生在北部山区,较严重寒害主要发生在中部地区,以平行于海岸线的狭长带状形式分布,一般寒害和无寒害地区主要分布在南部沿海地区。其中,广东省遭受严重和较严重寒害的地区约占省域总面积的40.10%,遭受严重寒害和较严重寒害的园地面积占总园地面积的49.61%。

## 参考文献 (References):

- [1] Wang Chunlin, Liu Jinluan, Zhou Guoyi, *et al.* Research on Real-time Cold-disaster Watching and Prediction in Guangdong Province based on GIS Technology[J]. *Journal of Applied Meteorological*, 2003, 14(4): 487-495. [王春林, 刘锦奎, 周国逸, 等. 基于 GIS 技术的广东荔枝寒害监测预警研究[J]. *应用气象学报*, 2003, 14(4): 487-495.]
- [2] Feng Yingzhu, Liang Hong, Huang Huang. Study on Index for Winter's Chilling Damage in Guangdong Province[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(1): 59-65. [冯颖竹, 梁红, 黄璜. 广东冬季寒害指标研究[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(1): 59-65.]
- [3] Lin Rinuan, Cui Qiaojuan, Zhu Zhengxin. Research on the Ground Early Warning Signal of Guangdong Economic Fruit Tree and Long-term Statistical Forecast Model[J]. *Journal of Applied Meteorological*, 2003, 14(4): 499-501. [林日暖, 崔巧娟, 朱正心. 广东经济林果寒害地面预警强信号和长期统计预报模式的研究[J]. *应用气象学报*, 2003, 14(4): 499-501.]
- [4] Du Yaodong, Mao Huiqin, Liu Jinluan. Study on Probability Distribution Models of Cold Damage in South China[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(2): 103-107. [杜尧东, 毛慧琴, 刘锦奎. 华南地区寒害概率分布模型研究[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 103-107.]
- [5] Liu Ling, Gao Suhua, Huang Zengming. Impacts of Cool Injury in Winter on Banana Yields in Guangdong Province[J]. *Meteorological*, 2003, 29(10): 46-59. [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): 46-59.]
- [6] Feng Yingzhu, Liang Hong, Huang Huang. Spatiotemporal Distribution of Winter's Chilling Damage in Guangdong[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(2): 23-28. [冯颖竹, 梁红, 黄璜. 广东冬季寒害的时空分布规律[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(2): 23-28.]
- [7] Du Yaodong, Li Chunmei, Mao Huiqin, *et al.* Temporal and Spatial Distribution of Integrated Chilling Injury Index for Banana in Guangdong Province[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2008, 29(4): 467-471. [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.]
- [8] Du Yaodong, Li Chunmei, Mao Huiqin. 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. [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.]
- [9] Du Yaodong, Li Chunmei, Tang Lisheng, *et al.* Risk Identification of Winter's Cold Damage in Guangdong Province[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2008, 17(5): 82-86. [杜尧东, 李春梅, 唐力生, 等. 广东地区冬季寒害风险辨识[J]. *自然灾害学报*, 2008, 17(5): 82-86.]
- [10] Mo Miao, Wei Fang, Su Chunqin, *et al.* Investigation on Chilling Damage of Mango Industry on Youjiang river Valley[J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2009, 30(1): 52-54. [莫蕊, 韦芳, 苏春芹, 等. 广西右江河谷 2008 年芒果低温寒害调查分析[J]. *气象研究与应用*, 2009, 30(1): 52-54.]
- [11] Liu Jinluan, Du Yaodong, Mao Huiqin. Risk Analysis and Zonation of Cold Damage to Litchi in South China[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(3): 126-130. [刘锦奎, 杜尧东, 毛慧琴. 华南地区荔枝寒害风险分析与区划[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(3): 126-130.]
- [12] Kuang Zhaomin, Li Qiang, Yao Yongmei, *et al.* Application of EOS/MODIS Data to Monitoring Sugarcane Cold Disaster[J]. *Journal of Applied Meteorological*, 2009, 20(3): 361-364. [匡昭敏, 李强, 尧永梅, 等. EOS/MODIS 数据在甘蔗寒害监测评估中的应用[J]. *应用气象学报*, 2009, 20(3): 361-364.]
- [13] Tan Zongkun, Ding Meihua, Yang Xin, *et al.* Monitoring the Chilling and Freezing Injuries of Sugarcane in Guangxi Early 2008 by Use of EOS/MODIS Data[J]. *Meteorological*, 2010, 36(4): 116-119. [谭宗琨, 丁美花, 杨鑫, 等. 利用 MODIS 监测 2008 年初广西甘蔗的寒害冻害[J]. *气象*, 2010, 36(4): 116-119.]
- [14] Chen Xiuzhi, Chen Shuisen, Li Dan, *et al.* Progress in Land Surface Temperature Retrieval from Passive Microwave Remote Sensing Data[J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(8): 59-67. [陈修治, 陈水森, 李丹, 等. 被动微波遥感反演地表温度研究进展[J]. *地球科学进展*, 2010, 25(8): 59-67.]
- [15] Njoku E G, Li L. Retrieval of Land Surface Parameters Using Passive Microwave Measurements at 6 to 18 GHz[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 37(1): 1-43.
- [16] Chen S S, Chen X Z, Chen W Q, *et al.* A Simple Retrieval Method of Land Surface Temperature from AMSR-E Passive Microwave Data—A Case Study over Southern China During the Strong Snow Disaster of 2008[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2010, 13: 140-151.
- [17] Mao Kebiao, Shi Jiancheng, Li Zhaoliang. A Simple Method to Retrieve Surface Temperature Using Physical Statistical Algorithm based on Passive Microwave AMSR-E[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2006, 36(12): 1170-1176. [毛克彪, 施建成, 李召良. 一个针对被动微波 AMSR-E 数据反演地表温度的物理统计算法[J]. *中国科学: D 辑*, 2006, 36(12): 1170-1176.]
- [18] Chen Xiuzhi, Chen Shuisen, Su Yongxian, *et al.* Retrieving Land Surface Temperature from AMSR-E Remote Sensing Data—A Case Study over Guangdong Province during the Spring Cold Disaster in 2008[J]. *Remote Sensing Information*, 2011, (5): 38-46. [陈修治, 陈水森, 苏泳娴, 等. 利用 AMSR-E 遥感数据反演地表温度—以 2008 年广东省春季寒害为例[J]. *遥感信息*, 2011, (5): 38-46.]
- [19] Du Yaodong, Li Chunmei, Tang Lisheng, *et al.* Risk Identification of Winter's Cold Damage in Guangdong Province[J].



- Journal of Natural Disasters, 2008, 17(5): 82-86. [杜尧东, 李春梅, 唐力生, 等. 广东地区冬季寒害风险辨识[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(5): 82-86.]
- [20] Chen Shuisen. Guangdong Chilling Injury Status and Winter Agriculture Disaster Reduction Countermeasure[J]. Sustainable Development Report, 2006, 3(1): 21-23. [陈水森. 广东寒害现状与冬季农业减灾对策[J]. 可持续发展通报, 2006, 3(1): 21-23.]
- [21] Liu Zhiwu, Tang Anrong, Lei Zhidong. A Retrieval Model of Land Surface Temperature with ASTER Data and Its Application Study[J]. Progress in Geography, 2003, 22(5): 507-514. [刘志武, 党安荣, 雷志栋. 利用 ASTER 遥感数据反演陆地温度的算法及应用研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 507-514.]
- [22] Feng Yingzhu. Studies on the Fluctuation Patterns and Characteristics of Spatial Distribution of the Winter Chilling Damage in Guangdong[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2003. [冯颖竹. 广东冬季寒害时空分布规律的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003.]
- [23] Zhao Yingshi. The Principle and Method of Remote Sensing Application and Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2005. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.]

## Study on the Low Temperature and Chilling Injuries of Typical Crops Using Passive Microwave Remote Sensing in Guangdong Province during Snow Disaster of 2008

Chen Xiuzhi<sup>1,2,3,4,5</sup>, Chen Shuisen<sup>3</sup>, Su Yongxian<sup>1,3,4</sup>,  
Li Dan<sup>1,3,4</sup>, Han Liusheng<sup>1,3,4</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China;

2. CMA/Henan Key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique, Zhengzhou 450003, China; 3. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China;

4. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. Digital Land Key Laboratory of Jiangxi Province, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

**Abstract:** Using AMSR-E brightness temperatures and in-situ temperatures, this paper establish an air temperature inversion model (error=2.5 °C) during the 2008 chilling injury. The minimum air temperatures are all smaller than 9 °C. The temperature cooling duration in most areas is larger than 10 day. We further establish a chilling injury index based on three important chilling injury factors (minimum air temperature, air temperature difference and temperature cooling duration). The chilling injury degree gradually decreases from northern mountain areas to southern coastal plain areas. Severe chilling injury mainly occurs in northern mountain areas. Less severe chilling injury occurs mainly in central regions, paralleling to the coastline. General chilling injury and no chilling injury mainly distribute in coastal regions. The severe and less severe chilling injury equals to 40.1% of the total area of Guangdong. Orchards suffering severe and less severe chilling injury reach 49.61% of the total orchard area.

**Key words:** Passive microwave remote sensing; AMSR-E; Crop chilling injury; Chilling injury index; Low temperature