

刘尉, 王重洋, 李丹, 姜浩, 陈水森. 结合被动微波和光学遥感的“超级寒潮”广东地表温度特征及其对马铃薯生长的影响[J]. 热带地理, 2018, 38(1): 61-71.

LIU Wei, WANG Chongyang, LI Dan, JIANG Hao, CHEN Shuisen. Land Surface Temperature Characteristic in Guangdong during a Super Cold Wave and Its Impact on Potato Growth Combining Microwave and Optical Remote Sensing[J]. Tropical Geography, 2018, 38(1): 61-71.

结合被动微波和光学遥感的“超级寒潮”广东地表温度特征及其对马铃薯生长的影响

刘尉^{1,2,3,4}, 王重洋^{1,2,4}, 李丹², 姜浩², 陈水森²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 广东省地理空间信息技术与应用公共实验室, 广东省遥感与GIS应用重点实验室, 广东省遥感大数据应用工程技术研究中心, 广州地理研究所, 广州 510070; 3. 广东省气候中心, 广州 510080; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 利用被动微波可穿透云层的优势, 基于 GCOM-W1/AMSR2 (Global Change Observation Mission-Water/Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) 星载被动微波传感器的多通道亮度温度数据, 反演了 2016 年 1 月下旬“超级寒潮”过程的广东省每日地表温度, 分析了寒潮过程中广东省地表温度的时空变化特征。结果表明: 在寒潮前后, 广东省地表温度呈现出明显的先下降而后上升的趋势, 寒潮过程带来的地表最低温度在广东北部大部分地区达到了 277 K (4℃), 西南大部分地区为 280~282 K (7~9℃), 其余大部分地区 278~279 K (5~6℃); 降温幅度在广东南部地区达到了 8~12 K (8~12℃), 北部大部分地区为 5~7 K (5~7℃)。此外, 利用归一化植被指数 (NDVI) 对植被生长的指示作用, 基于 HJ-1 A/B 卫星的 CCD 传感器的多通道反射率数据, 计算了近 3 年冬季广东省典型马铃薯种植区域马铃薯叶片的 NDVI 值, 结果表明: 马铃薯叶片的 NDVI 值在此次寒潮过程后出现了明显的下降, 大部分地区 (55.4%) 马铃薯 NDVI 降低了 0.1~0.2, 部分地区 (17.2%) 马铃薯 NDVI 下降了 0.2~0.3; 进一步对比此次“超级寒潮”后同时段的前 2 年数据, 发现寒潮后马铃薯叶片 NDVI 相对于正常年份也低了 0.2, 表明马铃薯叶片 NDVI 下降的主要原因是寒潮带来的低温, 而不只是马铃薯的正常老化现象。NDVI 的降低表明大部分地区马铃薯生长受到了抑制, 马铃薯生长状况的这一变化也通过现场调查得到了证实。

关键词: 寒潮; 光学遥感; 被动微波; 可见光; 马铃薯; 地表温度; NDVI; 广东

中图分类号: S127; S426; TP79

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221 (2018) 01-0061-11

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.002958

广东省位于中国大陆南缘, 毗邻南海, 地处低纬, 既有光热资源丰富的大陆性气候特点, 又有雨水充沛、空气湿润的海洋性气候特征, 对于发展农业来说, 是一块得天独厚的“宝地”。但是, 广东地处东亚季风带, 北倚欧亚大陆, 冬半年常受来自西伯利亚的强大寒冷空气影响, 寒冷空气带来的低温往往给广东省农业生产造成重大损失, 使农作物遭受大面积损害 (罗晓玲等, 2001; 刘玲等, 2003)。仅 20 世纪 90 年代的 4 次寒害 (1991、1993、1996、1999 年) 就给广东农业造成了 213 亿元的经济损失 (吕勇平等, 2000), 其中 1999 年的寒害仅对梅州市就造

成热带亚热带水果、经济林和经济作物等约 10 亿元的损失 (陈朝辉等, 2000)。虽然相对于高纬度地区, 广东受冷空气入侵影响的频次和强度都要更低一些, 但是如果冷空气强度达到寒潮级别, 其强烈的降温作用将使寒潮经过地区的农业生产遭受重大影响。另外, 寒潮活动与人类健康及死亡率也有着重要联系 (Barnett et al., 2005, 2012; De et al., 2005; Montero et al., 2010)。有研究表明, 近 52 年入侵广东的寒潮在频次和强度上均呈现明显的下降趋势 (Liu W et al., 2015)。尽管如此, 2016 年 1 月下旬, 一场被称作百年一遇的“超级寒潮”入侵了包括广

收稿日期: 2016-09-04; 修回日期: 2017-01-17

基金项目: 广东省科学院实施创新驱动发展能力建设专项 (2017GDASCX-0101); 广东省科技计划项目 (2015B070701020、2016A020210060)

作者简介: 刘尉 (1981-), 男, 湖南人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事农业气象、遥感与 GIS 应用, (E-mail) liuwe@grmc.gov.cn

通信作者: 陈水森 (1965-), 男, 江西人, 研究员, 博士, 主要从事定量遥感研究, (E-mail) css@gdas.ac.cn.

东在内的华南地区, 并给冬季农业生产带来了严重影响。

气象站观测作为气象要素、天气现象以及气象灾害的传统地基观测手段, 通过对近地面温度的离散多点监测, 可以实现对冷空气带来低温灾害的监测预警。虽然传统的地面自动气象观测站点一直在增加, 地面观测站网布局也得到了很大优化, 但在一些地处偏远的地区依然没有气象观测站的覆盖, 且每个站点的观测结果都仅能反映局部小区域(几 m^2 或者十几 m^2)的近地面特征。由于太阳照射、地形、地表覆盖以及诸如土壤湿度等地表物理参数的影响, 地表面温度在空间上是复杂且非线性分布的, 如果地面观测站点不足, 那么在利用多点观测值进行区域平均值计算时必然会产生很大误差。因此, 利用传统多点观测手段实现更大空间尺度上地面温度平均态的测量, 其代表性和准确度都是不确定的(Owe et al., 2001a)。另一方面, 评价寒害低温对作物生长的影响, 往往只能依靠有限的人力, 在有限的区域内进行现场调查完成, 因此目前大量农业生产动态和农业灾情等信息, 依赖的还是传统的统计汇报或信息员报送方式, 政府部门所得到的农情并不准确也不及时。因此, 在寒害的监测预警, 以及寒害对农业灾损评估方面, 传统的观测、调查手段无疑难以做到大范围、全覆盖、高效率 and 全过程, 在空间尺度和时效性以及执行成本各方面都不能满足决策、农业生产、居民生活的需求。人们迫切需要利用更先进的手段来加强对这一灾害性天气的监测、预警及评估工作, 以提供更及时、充分、准确的数据支持。

遥感技术可以迅速地从更大的空间尺度监测灾害的发生、发展及空间分布, 可以为农业部门决策者和田间管理人员提供及时的农情信息, 以便采取各种“促、调、控”措施, 达到减轻灾害、增收增效的目的, 对农业生产具有重要的经济意义。在遥感监测寒害过程研究方面, 王春林等(2007)利用MODIS资料实现了对某次冬季低温过程的地表温度反演, 为遥感寒害低温监测提供了思路; 陈修治等(2011, 2012)利用AQUA/AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS)反演了2008年低温灾害时期的地表温度, 并提出作物综合寒害指标, 为作物寒害估计提供了技术支撑。在利用遥感资料反演得到地表温度的基础上, 有学者利用温度—作物寒害等级指标, 建立了作物寒害预警等级的分布。如张雪芬等(2006)利用NOAA/AVHRR

(Advanced Very High Resolution Radiometer)反演了地表最低温度, 基于冬小麦低温寒害模型, 得出冬小麦寒害发生的空间分布, 并统计出不同寒害等级的面积, 从而实现了冬小麦寒害的遥感监测与不同寒害面积的精确计算。

利用低温作物寒害模型, 仅能模拟得到作物灾害的可能发生等级, 如要实现作物寒害损失的真实估计, 则必须以作物为对象开展针对性的遥感应应用研究。在植被遥感中, 归一化植被指数NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子, 被认为是监测地区或全球农作物植被状态和生态环境变化的有效指标(赵英时等, 2003)。李章成等(2008)也通过分析冬小麦冻害实验前后的叶片高光谱特征, 证实了随着寒害对作物损伤的加深, 其NDVI有减少趋势。基于作物的这一特征, 众多学者利用NDVI实现了对作物的灾害评估。如杨邦杰等(2002)基于NOAA/AVHRR数据发现冬小麦在低温胁迫后NDVI值出现大幅下降; 丁美花等(2009)、何燕等(2009)利用植被指数差异法, 对比广西2008年甘蔗在冰冻灾害前后及正常年的NDVI值, 发现甘蔗NDVI值在灾后出现了大幅下降, 并通过实地调查验证了研究结果; 其他多项研究也都证实了NDVI在作物寒害损失评估方面的应用价值(匡昭敏等, 2009; 林海荣等, 2009; 谭宗琨等, 2010; 胡列群等, 2011; 陈小敏等, 2013)。另外, 也有研究表明: 冬小麦受灾前后EVI指数(Enhanced Vegetation Index)的变化与冻害程度呈显著线性相关, 能对冬小麦冻害受灾范围和程度进行有效评估(董燕生等, 2012)。

作物寒害的发生往往与低温的持续时间有关, 而红外遥感由于其传感器重返周期长, 且容易受到云雨影响而无法应用, 相关研究往往只能获取到寒害过程某一时间点的地面监测数据, 很难反映出低温的长时段变化特征。而微波信号具有穿透云层的特点, 从而使被动微波遥感具有全天候的观测优势, 因此本文利用具有较高时间分辨率(约2 d)的星载被动微波传感器AMSR2(Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)的亮度温度数据, 对2016年1月“超级寒潮”的地表温度进行连续多时相、大尺度的反演监测, 同时结合HJ1A/B双子星座的CCD1/2光学遥感数据计算典型冬种作物——马铃薯的NDVI值, 以实现作物寒害损失的估计。以期对利用被动微波结合可见光遥感进行寒害监测及作

物灾害影响评估的相关工作提供参考。

1 研究区、数据和方法

1.1 研究区概况

2016年1月下旬的“超级寒潮”入侵了广东,众多报道表明,此次寒潮过程对广东的农业生产带来了严重影响(何奎山,2016)。故选择广东省为寒害地表温度监测的研究区域。广东省人口为104 300 000人,面积为179 770 km²,北部地区山岭众多,南部邻接中国南海。因地处热带亚热带季风气候区,经

常受到低纬度热带天气系统和/中/高纬度天气系统的影响,天气复杂多变。广东省惠东县地处南海之滨,属亚热带海洋性气候,全年无霜,冬季少雨、阳光充足、气候暖和,是冬种马铃薯的理想种植地区,已成为全国冬种面积最大、产量最高的县区(陈洪,2008)。全县马铃薯种植面积达0.867万hm²,基本集中在沿海地区,即本研究区稔平半岛(图1)。此次“超级寒潮”对冬种马铃薯生长造成了严重影响,因此选择稔平半岛的马铃薯主要种植镇——稔山镇、铁涌镇和平海镇开展研究。

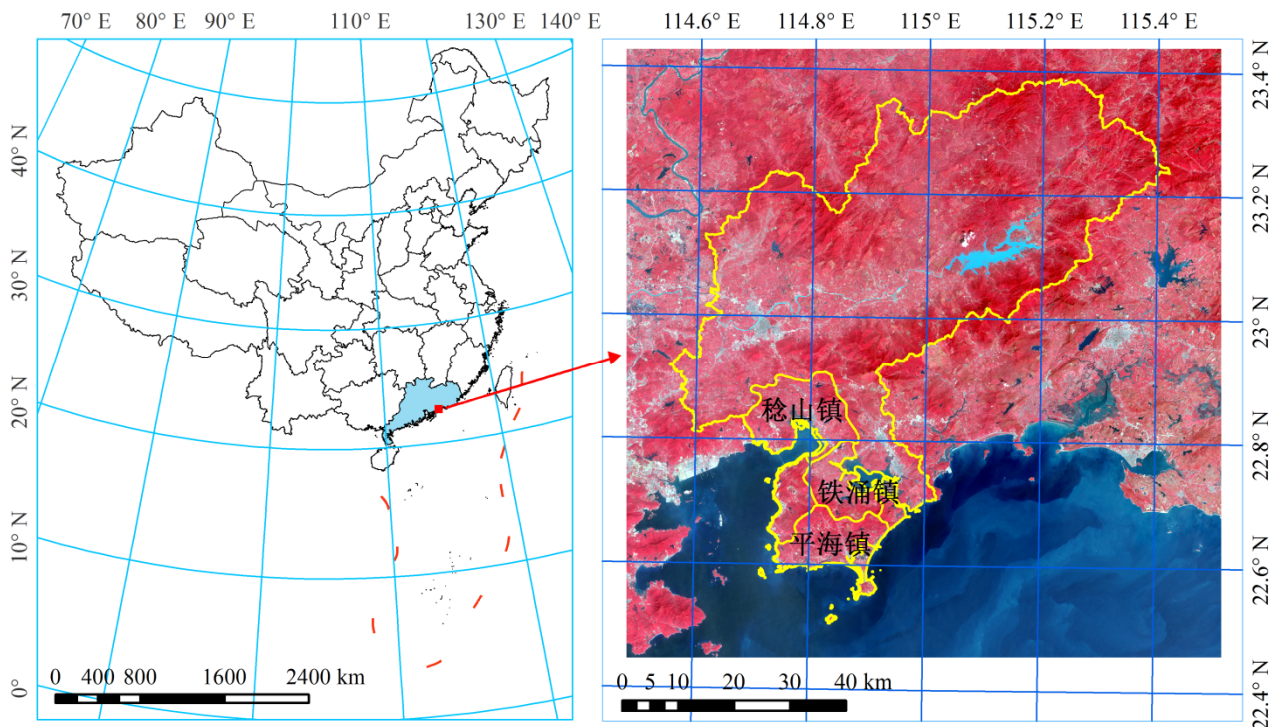


图1 广东省的地理位置及作物寒害研究区-惠东稔平半岛假彩色合成影像

Fig.1 Position of Guangdong Province and the Rening Peninsula in false color image

1.2 研究时段

广东省86个国家级地面气象观测站资料(广东省气候中心)表明:入侵广东的此次寒潮过程为2016-01-22-26,强烈的降温过程使得广东1月全省平均气温达到了近39年以来的最低值3.6℃,且仅仅高于1977年1月平均的历史最低值3.1℃。全省86个站点共有45%站点的日平均气温和14%站点的日最低气温达到了历史记录中的最低值。除此之外,在广东省的珠三角地区以及南部部分市县出现了历史罕见的冰冻和降雪天气,从而使广东降雪南线被南推至广东沿海地区。因此本研究的地面温度监测过程时段确定为2016-01-20-31。

1.3 被动微波遥感数据及地温反演方法

数据包括:2016年1月下旬AMSR2传感器14个通道(06、07、10、18、23、36、89 GHz的水平垂直通道)的夜间亮温数据。AMSR2传感器是一种准实时的搭载在Global Change Observation Mission-Water(GCOM-W1)卫星上的被动微波传感器,其扫描方式为圆锥式扫描,幅宽为1 450 km(表1)。相邻2幅影像在中低纬度地区之间存在较大的盲区,因此1 d的拼接影像无法做到全覆盖,其影像完全覆盖这些地区约需要2~3 d。本文所用的AMSR2训练样本数据由86个国家气象站的经纬度数据提取获得,由于AMSR2影像在研究区的空间覆盖每日均不

表1 GCOM-W/AMSR2的相关参数

Tab.1 Specification of GCOM-W/AMSR2

频率/GHz	波段宽度/MHz	瞬时视场/km	采样间隔/km	极化方式	入射角/(°)	轨道高度/km	幅宽/km	天线直径/m	升交点地方时
6.93	350	62×35	10	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min
7.3	350	62×35	10	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min
10.65	100	42×24	10	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min
18.7	200	22×14	10	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min
23.8	400	26×15	10	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min
36.5	1 000	12×7	10	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min
89	3 000	5×3	5	V/H	55	700	1 450	2	T 13:30 ± 15 min

一致,故每日的训练数据量也不尽相同(表2)。由于海洋表面的微波辐射与地表微波辐射的性质完全不一样,以及AMSR2的空间分辨率较低(即瞬时视场较大,见表1),因此沿海陆地范围内的像元受到了海洋水体辐射影响,为了去除影响,本文删除了离海岸线10 km范围内的样本点。

已有研究表明:单通道被动微波亮温和地表温度之间具有非常好的线性关系(Owe et al., 2001b; De Jeu et al., 2003; Fily et al., 2003),也有学者开展了利用多通道方法进行被动微波反演地温的研究(Mao K B et al., 2007; Chen S S et al., 2011)。如Mao K B等(2007)指出利用多通道被动微波亮温进行地温反演,能有效地消除土壤水分、地表粗糙度、大气等地表参数的影响。因此,本文基于AMSR2多通道亮度温度数据以及地面气象观测站的同步地温观测数据,运用最小二乘法的多元线性回归方法来建立被动微波地表反演模型,并进一步基于该模型,得到研究区的每日被动微波遥感反演地温。

1.4 可见光遥感数据及处理方法

应用HJ1A/B双子星座的CCD1/2传感器冬种季的光学影像计算冬种马铃薯的NDVI,此处冬种季定义为:该年的11月至次年的3月。为了探讨寒潮过程前后马铃薯NDVI的变化,除了计算2015年冬种季马

铃薯的NDVI外,还计算了2013和2014年冬种季马铃薯的NDVI(表3),从而实现近3年马铃薯NDVI值的对比。其中,2013、2014年冬种季马铃薯无明显寒害过程影响,为“正常”季,2015年冬种季被定义为“寒潮”季。稔平半岛马铃薯种植面积的矢量数据用于提取该作物的NDVI值。对HJ星CCD数据的处理流程如图2所示。

2 结果与分析

2.1 AMSR2反演地温的时空分布特征

基于夜间的气象站地温数据和AMSR2的14个通道亮温数据,利用逐步回归方法建立了AMSR2亮度温度反演地表温度的经验模型。逐步回归方法给出了7个基于不同因变量的模型,各模型之间的决定系数和标准误差略有差异。基于模型复杂程度和精度的平衡考虑,选取其中的一个模型作为应用:

$$LST = 46.95 + 0.97 \times TB23V - 0.41 \times TB18H + 0.40 \times TB10V - 0.11 \times TB06H \quad (1)$$

式中:TB23V表示23 GHz垂直极化通道亮温;TB18H表示18 GHz水平极化通道亮温,其他类似。该模型的决定系数 R^2 为0.6,标准误差为2.8 K (2.8°C), F 值为194.2。

表3 本文应用的HJ1A/B卫星数据

Tab.3 List of HJ1A/B satellite data used in this study

传感器	时间	日序
HJA-CCD1	2013-11-25	329
HJB-CCD1	2013-12-20	354
HJA-CCD2	2014-01-14	14
HJA-CCD2	2014-02-02	33
HJB-CCD1	2014-02-24	55
HJA-CCD1	2014-11-23	327
HJA-CCD1	2014-12-17	351
HJB-CCD1	2015-01-08	8
HJB-CCD1	2015-02-13	44
HJB-CCD2	2015-11-27	331
HJB-CCD2	2015-12-18	352
HJB-CCD1	2016-01-08	8
HJA-CCD1	2016-02-08	39
HJB-CCD1	2016-03-01	60

表2 每日AMSR2夜间的训练数据样本量

Tab.2 Sample size for each nighttime of the research area

时间	样本量/个
2016-01-20	67
2016-01-21	84
2016-01-22	21
2016-01-23	84
2016-01-24	0
2016-01-25	84
2016-01-26	28
2016-01-27	84
2016-01-28	73
2016-01-29	39
2016-01-30	84
2016-01-31	3
总和	651

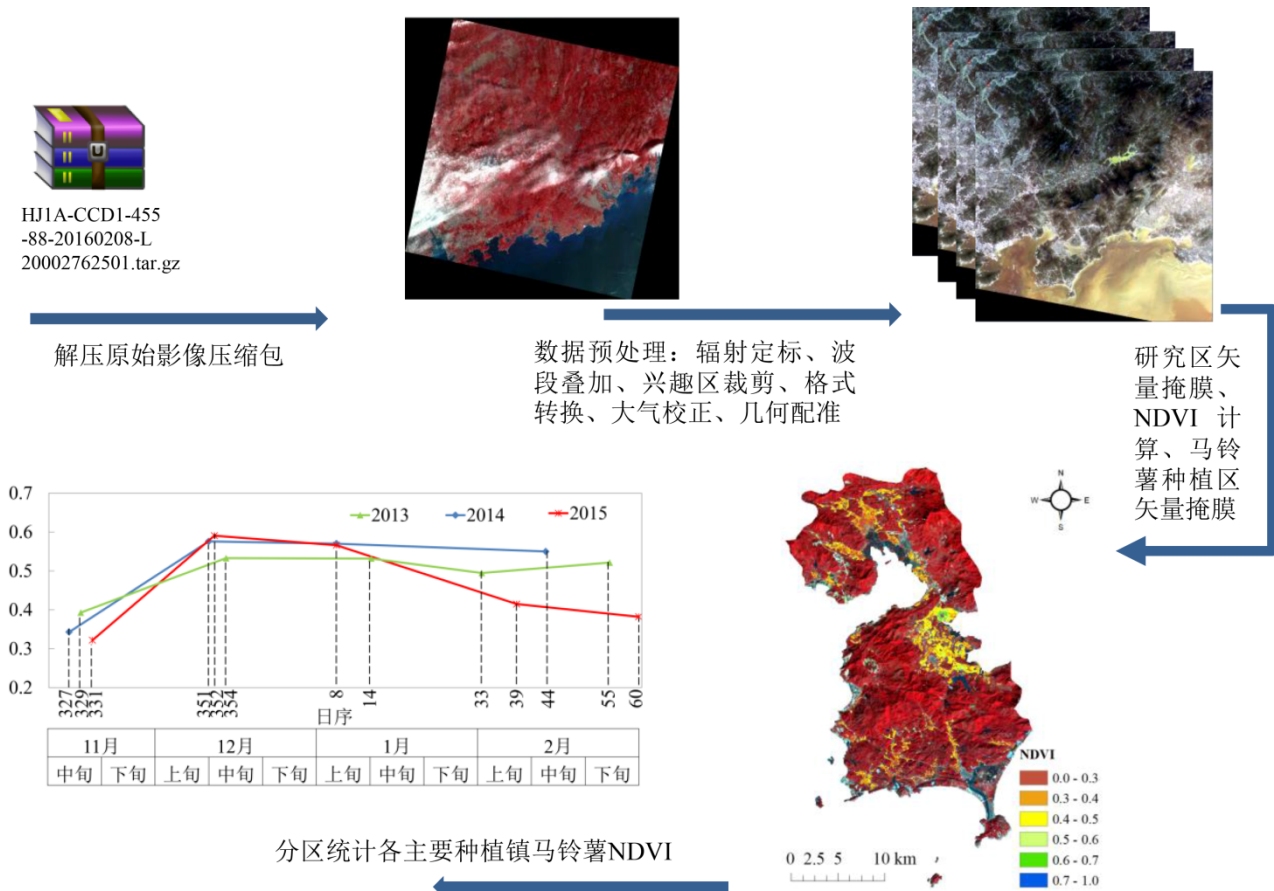


图2 HJ1A/B 卫星 CCD1/2 传感器数据的处理分析流程

Fig.2 Flowchart of HJ1/2 CCD 1/2 data processing and analyzing

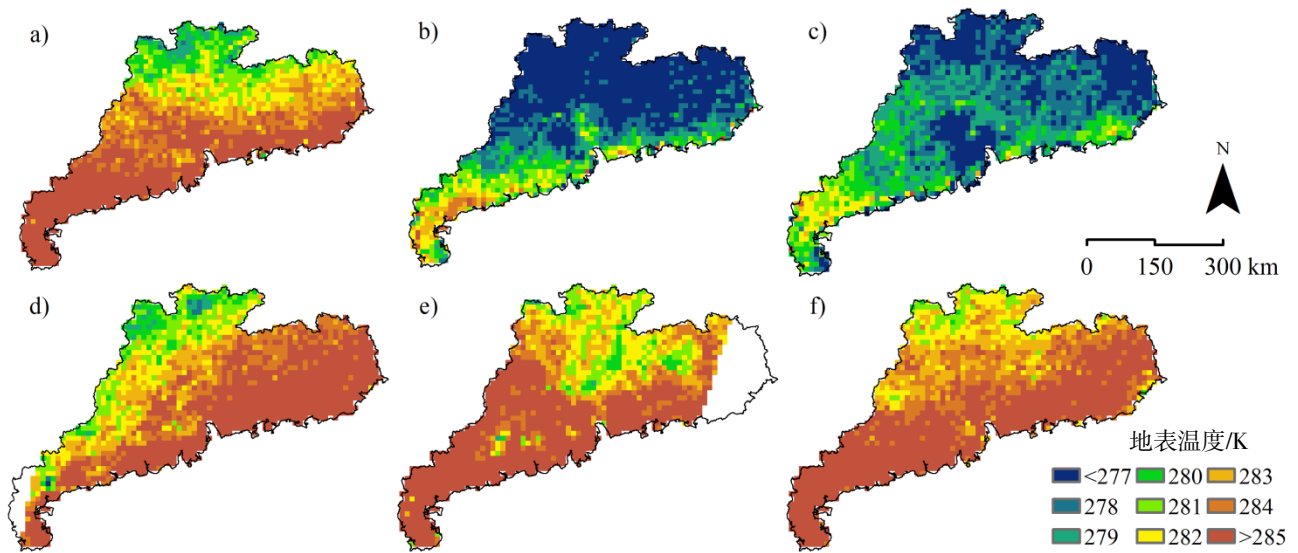
基于该多通道地温反演模型,反演了基于 AMSR2 被动微波亮温的每日夜间地温。从图3可以看出:在“超级寒潮”来临前、过程中及结束后,广东省地温出现了明显的变化:在寒潮来临前的 2016-01-21(图3-a),粤北大部分地区地温为 281~283 K (8~10℃),粤西南大部分地区高于 286 K (13℃);当“超级寒潮”于 1月22日入侵广东后,全省地表温度出现显著下降,1月23日(图3-b)粤北大部分地区及珠三角的部分地区地温降到了 277 K (4℃)以下;1月25日(图3-c)全省大部分地区地温仍然维持在 280 K (7℃)以下,其中粤北低温范围略有缩小,其余地区低温范围略有扩大,说明寒潮的主体已经从北部逐渐南移,从而低温影响范围也逐渐南移,但南部最低温度并没有达到粤北的低温程度,说明寒潮在南移过程中,其强度出现了明显减弱。气象观测资料表明:此次“超级寒潮”过程在 1月26日便趋于结束,图3d-f也反映出 1月27日后广东省大部分地区地温逐渐回升的现象,至 1月30日,全省大部分地区地温已经达到并超过了寒

潮来临前的温度。图3显示的寒潮前后广东省地温分布表明,基于 AMSR2 反演得到的地温能够很好地反映寒潮由北向南推进,又进而减弱消退的全过程。

基于上述反演的每日夜间地温,统计得到此次寒潮过程的最低地温(图4-a)和降温幅度(图4-b)。图4-a表明此次寒潮过程使粤北大部分地区最低地温降到了 277 K (4℃)以下,西南大部分地区处于 280~282 K (7~9℃)之间,其余大部分地区为 278~279 K (5~6℃)。图4-b显示广东省南部地区的降温幅度比北部地区更大:南部大部分地区降温幅度为 8~12 K (8~12℃),北部大部分地区为 5~7 K (5~7℃)。这是由于在此次“超级寒潮”来临之前,广东北部已经经历了一系列弱冷空气过程而使地表温度达到了一个相对较低的水平,而此次“超级寒潮”势力强劲,入侵到了全省大部分地区并带来大范围的低温,从而致使此前温度相对较高的南部地区出现了更大的降幅。

2.2 马铃薯NDVI的时空变化特征

根据上述地温反演分析结果,可以看出此次“超



图注: a-f 分别代表 2016-01-21、23、25、27、28、30 的反演地温; d、e 中的空白区域为传感器幅宽未能覆盖的区域。

图 3 “超级寒潮”前后 AMSR2 遥感反演广东省地温每日分布

Fig.3 Images of retrieved LST in Guangdong Province before and after the “super cold wave”

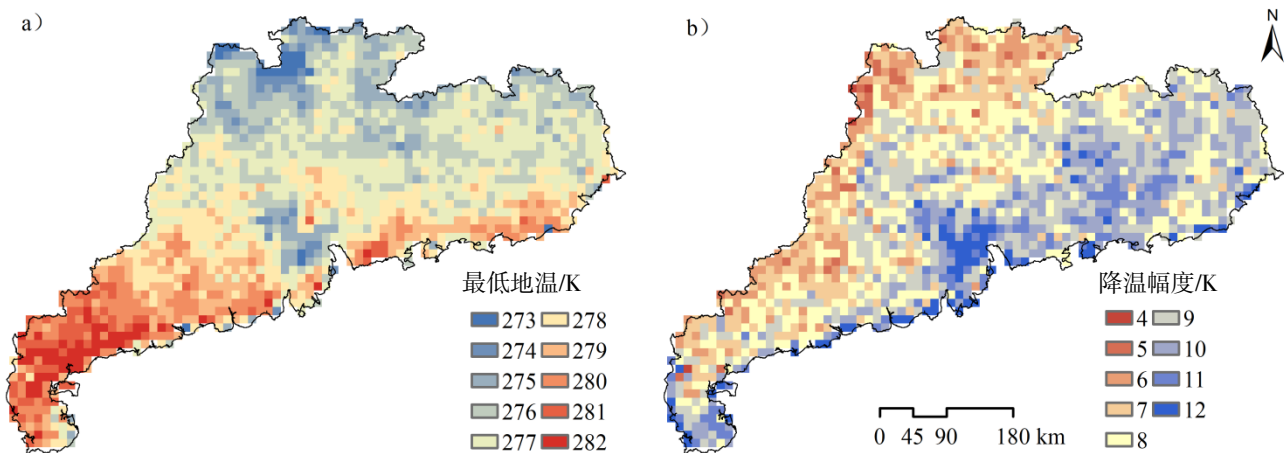


图 4 “超级寒潮”过程广东省最低地温 (a) 和地温降幅 (b) 分布

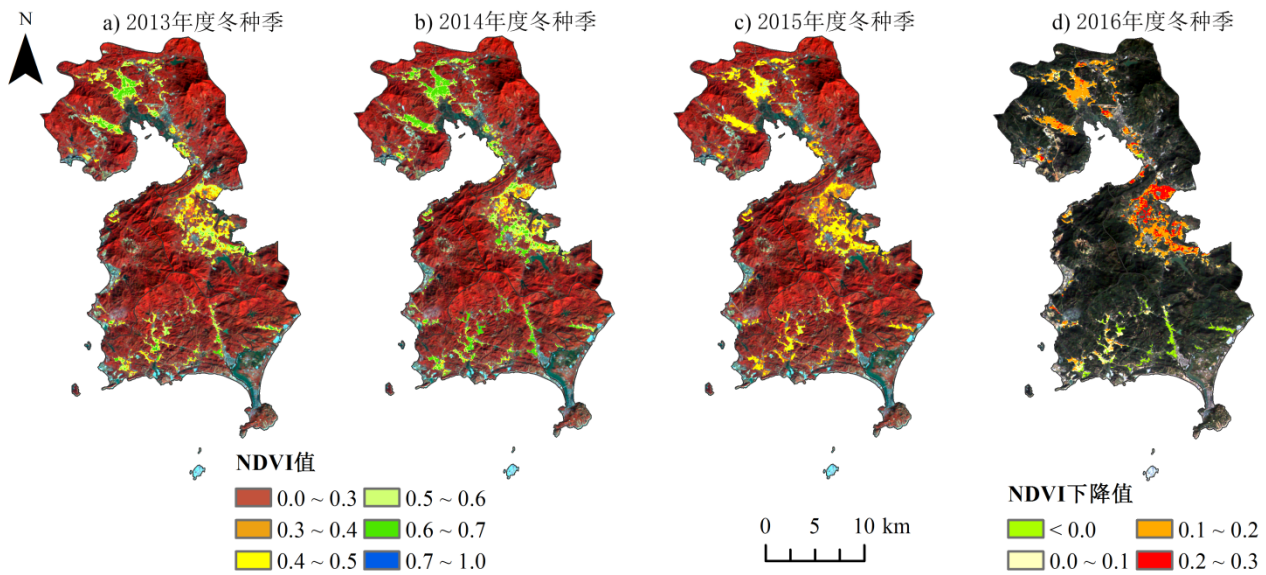
Fig.4 Image of minimum LST (a) and LST fall (b) in Guangdong Province during the “super cold wave”

级寒潮”带来了低于 283 K (10℃) 地表低温和较大的温度降幅,地表低温直接影响马铃薯的根系生长,进而影响马铃薯根系对叶片的营养供给;由于地表降温由空气低温造成,故地表降温也反映了气温的下降程度。地温与气温的共同下降,给马铃薯根系及叶片生长造成很大影响。为了探讨寒潮对广东典型冬种作物马铃薯生长的影响,计算研究区冬种马铃薯叶片在此次寒潮前后以及近 2 年正常生长进程中多个时相的 NDVI 值。

首先选取了与此次“超级寒潮”后(2016-02-08,图 5-c)同时段的前 2 年“正常”季影像,即 2014-02-02(图 5-a)和 2015-02-13(图 5-b)的 2

幅影像,计算研究区的马铃薯 NDVI 值。从这 3 幅影像可以看出,受低温影响的“寒潮”季的 NDVI 值(图 5-c)明显低于“正常”季的 NDVI 值(图 5-a、b):研究区马铃薯的 NDVI 在“正常”季时多为 0.5~0.7,而在“寒潮”季其值大多为 0.4~0.5,部分为 0.3~0.4,受“寒潮”影响的马铃薯叶片 NDVI 比正常的马铃薯低了 0.2 左右。

进一步利用此次“超级寒潮”后的 NDVI 栅格数据(图 5-c),减去“超级寒潮”前(2016-01-08)的 NDVI 栅格数据(未在文中展示),得到“超级寒潮”前后马铃薯 NDVI 的变化值(图 5-d),结合表 4 可以看出:中部和北部大部分种植区域(55.4%)



图注: a-c 的底图为研究区的假彩色合成影像, d 为研究区的真彩色合成影像。

图5 近3年研究区(稔平半岛)2月初马铃薯NDVI值分布(a、b、c)及2016年“超级寒潮”前后NDVI变化分布(d)
Fig.5 Distribution of winter planted potato's NDVI in Renping peninsula of February in recent three years (a, b, c) and NDVI's variation before and after the super cold wave in January 2016 (d)

表4 “超级寒潮”前后马铃薯NDVI值变化情况

Tab.4 Decrease of NDVI value after the “super cold wave”

NDVI 值变化范围	面积/km ²	比率/%
-0.5~0	49.74	11.1
0~0.1	67.49	15.0
0.1~0.2	248.96	55.4
0.2~0.3	77.44	17.2
0.3~0.44	5.37	1.2

NDVI值下降了0.1~0.2,中部部分种植区域(17.2%)下降了0.2~0.3,另有一小部分种植区域(15%)略下降了0~0.1;相比之下,在南部部分区域(11.1%)NDVI值略有上升或持平,可能是因为寒潮强度在研究区南部地区已略有减弱所致。

上述分析表明,马铃薯叶片NDVI的下降主要由此次“超级寒潮”带来的低温引起,而不只是马铃薯叶片的正常老化现象。

研究区稔平半岛包括3个主要的马铃薯种植镇——稔山镇、铁涌镇和平海镇,3个镇分别位于稔平半岛的北部、中部和南部。为了进一步分区定量分析马铃薯在寒害前后及正常年份、寒潮年份的生长差异,计算了近3年冬种马铃薯各生育阶段在各镇平均的NDVI值(图6),可以看出:在马铃薯生长发育的起始阶段(11月)NDVI值大多<0.4;经过一个月的生长至12月,NDVI值上升为0.5~0.6,并保持

该水平至次年1月上中旬;在“正常”冬种季,马铃薯的NDVI值将保持在较高水平即0.5~0.6,但在“寒潮”季,各镇乡的马铃薯NDVI值相对于“正常”季低了0.2。

上述分析结果表明:在寒潮带来极端低温之后,冬种马铃薯叶片生长受到了明显抑制,大部分地区马铃薯NDVI值下降,可以认为在此次“超级寒潮”过程之后,大部分地区种植的马铃薯叶片受到了低温伤害,这与前人针对冬小麦(胡列群等,2011)、棉花(杨邦杰等,2002)、甘蔗(匡昭敏等,2009)、橡胶(陈小敏等,2013)等作物研究结果一致,即在寒害之后作物叶片的NDVI值出现大幅度降低。马铃薯主要种植镇——铁涌镇和稔山镇受害最为严重,这一通过遥感手段分析获得的灾情,在笔者对马铃薯种植专业户以及现场的调查也同样得到了证实(图7)。

3 结论与讨论

利用遥感技术反演大范围地表温度,相对于传统的地面观测手段,具有“大范围、全覆盖、高效率”的优势,但具有较高空间分辨率的热红外反演地温技术在多云雨的广东地区难以开展应用,因此,本文利用不受云覆盖影响的星载被动微波传感器AMSR2亮度温度反演了2016年1月下旬“超级寒潮”

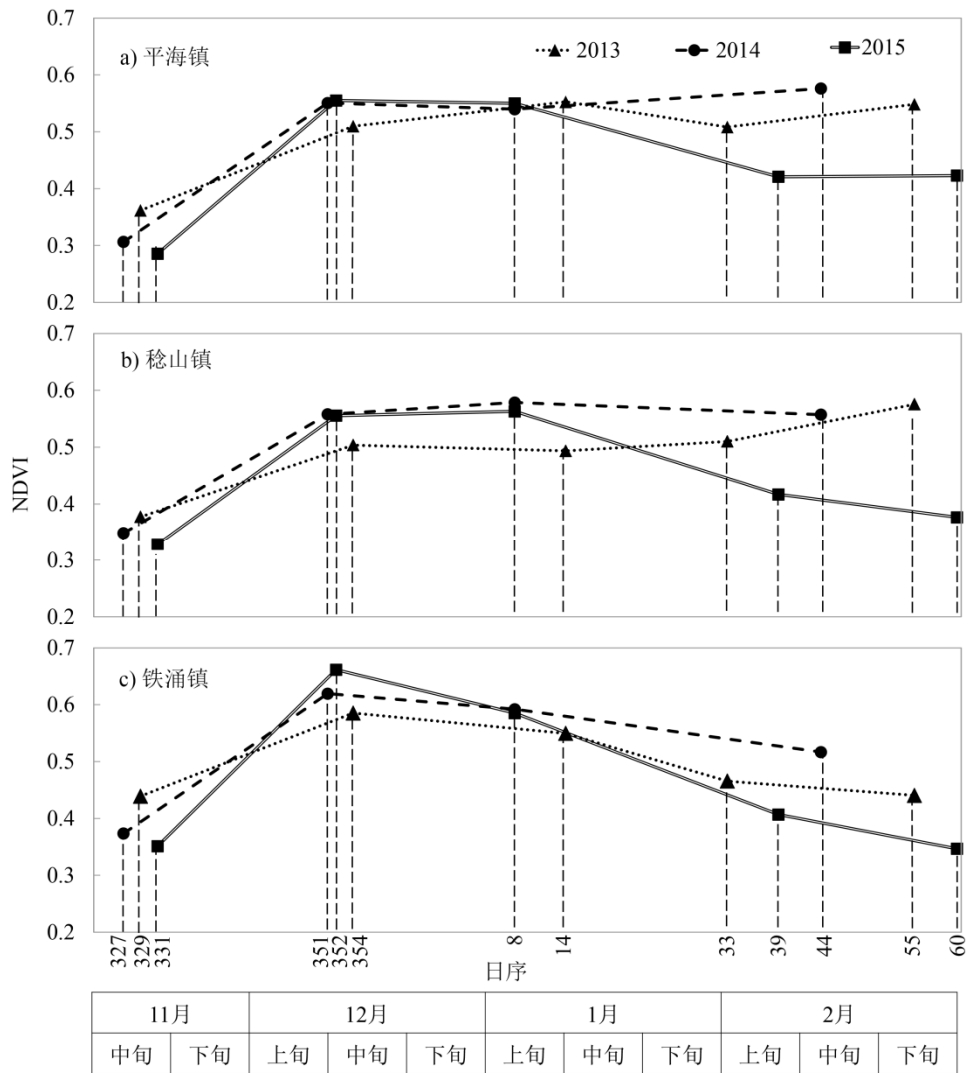


图6 近3年冬种季稔平半岛主要种植镇马铃薯 NDVI 变化

Fig.6 Potato's NDVI variation of recent three years

2015-02-05

2016-02-24

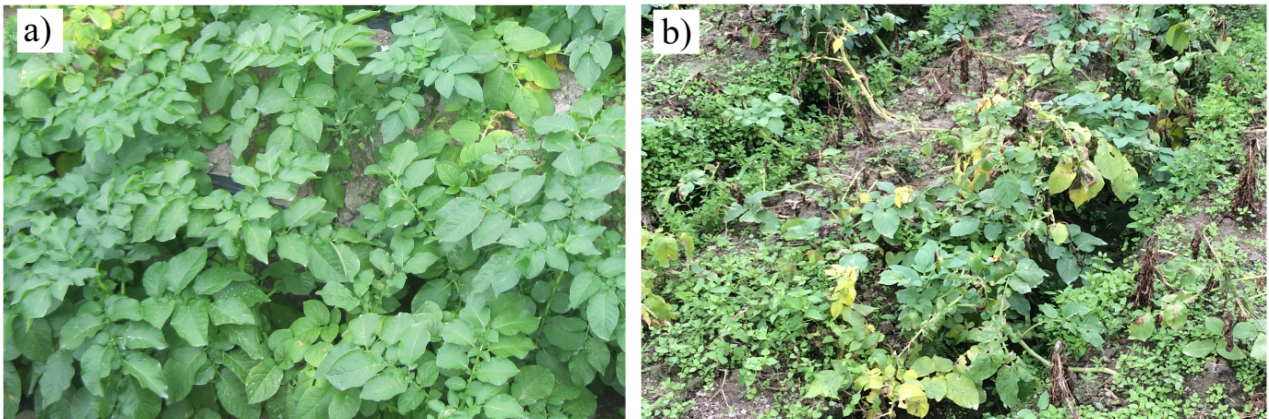


图7 正常生长季 (a) 及此次“超级寒潮”过程后 (b) 马铃薯冬季生长状况对比

Fig.7 potato's growing condition in normal year (a) and after 2016 super-cold year (b)

影响下的广东省地表温度。同时,利用NDVI对作物生长状况的指示作用,基于HJ1 A/B双子星的可见光传感器CCD数据,计算了广东省典型种植区的马铃薯NDVI数据,并评估了马铃薯的生长状况。得出的主要结论为:

1) 基于AMSR2反演得到的地表温度,在时间和空间上很好地反映了寒潮前后广东省地表温度的变化趋势,即寒潮来临时温度迅速下降,寒潮结束后温度迅速回升:在“超级寒潮”过程中,广东北部大部分地区地表最低温度达到了277 K (4℃)以下,西南大部分地区为280~282 K (7~9℃);降温幅度在广东南部大部分地区达到了8~12 K (8~12℃),而在北部大部分地区为5~7 K (5~7℃),这次寒潮过程中,利用卫星传感器反演得到的广东省地表温度的时空变化特征,与气象台站观测到地表温度变化特征相符,表明被动微波遥感在多云覆盖影响的地区如华南地区,对低温过程的监测具有准确性,也具有可用性。

2) 以广东省典型马铃薯种植区稔平半岛为例,计算该区域3个主要马铃薯种植镇的马铃薯叶片NDVI值。对比此次寒潮前后的NDVI值,发现寒潮后大部分地区(55.4%)马铃薯NDVI降低了0.1~0.2,部分地区(17.2%)马铃薯NDVI下降了0.2~0.3,小部分地区(15%)马铃薯NDVI降低了0~0.1。相较于无明显寒潮过程的2013和2014年冬种季,在经历了2015年冬种季“超级寒潮”后,马铃薯的NDVI值明显低于前2年。但是目前尚没有研究表明马铃薯NDVI值与其产量之间的定量关系,因此,NDVI的降低仅仅能够定性地反映出马铃薯产量的变化趋势,不能以此为依据开展对马铃薯减产的定量分析。

利用AMSR2数据反演得到的地表温度,不便应用于作物寒害模型,从而未能对作物的损失进行预警。有研究表明(Jang K et al., 2014),被动微波亮温数据与地表面气温具有很好的相关性,在此后的工作中可以尝试直接利用AMSR2亮温数据开展对近地面气温的反演,从而实现了对作物的寒害预警。

此次寒潮带来的寒害发生后,笔者对遥感监测的典型种植区马铃薯受灾情况进行了现场调查,实际情况与遥感监测情况较符合。这进一步表明了NDVI可以很好地反映作物生长状况,具有定性评价作物寒害损失的能力。

归一化植被指数在农作物寒害监测中的应用,主要是依据植被叶片组织对近红外波段(0.84~0.87 μm)有强烈反射,而对红光波段(0.62~0.67 μm)

有强烈的吸收等来判别植被与非植被、植被与植被之间的长势差异、是否遭受灾害影响等(丁美花等, 2009)。但作物在各个生长阶段NDVI的变化值与作物产量的定量关系非常复杂,因此利用NDVI开展对作物损失的定量研究还需要开展大量工作。

本文开展的研究是近些年来首次结合被动微波遥感及可见光遥感对寒害过程、及作物寒害损失开展的工作,对相关研究具有比较重要的参考价值。

参考文献 (References):

- BARNETT A G, DOBSON A J, MCEL DUFF P, SALOMAA V, KUULASMAA K, SANS S, 2005. Cold periods and coronary events: an analysis of populations worldwide. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 59 (7): 551-557.
- BARNETT A G, HAJAT S, GASPARRINI A, ROCKLOV J, 2012. Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112 (10): 218-224.
- 陈洪,曹先维,全锋,2008.惠东县马铃薯产业现状及发展对策. *中国马铃薯*, (6): 380-381.
- 陈朝辉,李永兴,方国祥,王儒胜,李斌,2000.梅州山区热带水果和经济作物的地域布局——梅州市“99寒害”水果经作受灾调查. *热带地理*, 20 (3): 199-204. [CHEN Chaohui, LI Yongxing, FANG Guoxiang, WANG Rusheng, LI Bin, 2000. Regional distribution of tropical fruit plants and cash crops in mountain regions of Meizhou. *Tropical Geography*, 20 (3): 199-204.]
- CHEN S S, CHEN X Z, CHEN W Q, SU Y X, LI D. 2011. 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. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13 (1): 140-151.
- 陈修治,陈水森,苏泳娴,陈艳乔,李丹,2011.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. *遥感信息*, (5): 38-46. [CHEN Xiuzhi, CHEN Shuisen, SU Yongxian, CHEN Yanqiao, LI Dan, 2011. Retrieving Land Surface Temperature from AMSR-E Remote Sensing Data—A Case Study over Guangdong During Spring Cold Disaster in 2008. *Remote Sensing Information*, (5): 38-46.]
- 陈修治,陈水森,苏泳娴,李丹,韩留生,2012.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. *遥感技术与应用*, 27 (3): 387-395. [CHEN Xiuzhi, CHEN Shuisen, SU Yongxian, LI Dan, HAN Liusheng, 2012. Study on the Low Temperature and Chilling Injuries of Typical Crops Using Passive Microwave Remote Sensing in Guangdong Province during Snow Disaster of 2008. *Remote Sensing Technology and Application*, 27 (3): 387-395.]
- 陈小敏,陈汇林,陶忠良,2013.2008年初海南橡胶寒害遥感监测初探. *自然灾害学报*, 22 (1): 24-28. [CHEN Xiaomin, CHEN Huilin, TAO Zhongliang, 2013. A preliminary study on remote sensing monitoring of rubber tree cold injury in Hainan Province during early 2008. *Journal Of Natural Disasters*, 22 (1): 24-28.]

- DE U S, SINGH A, PANDEY S N, 2005. Heat and cold waves affecting India during recent decades. *International Journal of Meteorology*, 30 (303): 323-331.
- DE JEU R A M, OWE M, 2003. Further validation of a new methodology for surface moisture and vegetation optical depth retrieval. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (22): 4559-4578.
- 丁美花, 谭宗琨, 何燕, 孙涵, 杨鑫, 欧钊荣, 2009. 基于MODIS数据的甘蔗冻害监测——以广西来宾市为例. *热带作物学报*, 30 (7): 918-922. [DING Meihua, TAN Zongkun, HE Yan, SUN Han, YANG Xin, OU Zhaorong, 2009. Monitoring of Sugarcane Frost Damage Based on MODIS Data-A Case Study of Laibin City of Guangxi. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 30 (7): 918-922.]
- 董燕生, 陈洪萍, 王慧芳, 顾晓鹤, 王纪华, 2012. 基于多时相环境减灾卫星数据的冬小麦冻害评估. *农业工程学报*, 28 (20): 172-179. [DONG Yansheng, CHEN Hongping, WANG Huifang, GU Xiaohe, WANG Jihua, 2012. Assessing freeze injury to winter wheat with multi-temporal HJ-1 satellite imagery. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28 (20): 172-179.]
- FILY M, ROYER A, GOITA K, PRIGENT C, 2003. A simple retrieval method for land surface temperature and fraction of water surface determination from satellite microwave brightness temperatures in sub-arctic areas. *Remote Sensing of Environment*, 85: 328-338.
- MAO K B, SHI J C, LI Z L, QIN Z H, LI M C, XU B, 2007. A physics-based statistical algorithm for retrieving land surface temperature from AMSR-E passive microwave data. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50 (7): 1115-1120.
- MONTERO J C, MIRON I J, CRIADO-ALVAREZ J J, LINARES C, DIAZ J, 2010. Mortality from cold waves in Castile-La Mancha, Spain. *Science of Total Environment*, 408 (23): 5768-5774.
- 何燕, 谭宗琨, 丁美花, 欧钊荣, 李艳兰, 2009. 2008年罕见低温冻害对广西甘蔗及蔗糖业的影响. *灾害学*, 24 (1): 68-72. [HE Yan, Tan Zongkun, Ding Meihua, Ou zhaorong, LI Yanlan, 2009. Infrequent Disaster of the Cold and Freezing Disaster and Their Impacts on Sugar cane Production in Guangxi. *Journal of catastrophology*, 24 (1): 68-72.]
- 何奎山, 2016. 寒潮过后塘鱼冻死菜价上涨. *南方都市报*, 2016-01-26 (A2).
- 胡列群, 武鹏飞, 李新建, 周立平, 2011. 基于ETM+影像的棉花低温冷害遥感监测方法研究. *中国农学通报*, 27 (4): 459-463. [HU Liequn, WU Pengfei, LI Xinjian, ZHOU Liping, 2011. The Remote Sensing Monitoring Method Analysis of Cold Damage Cotton Based on ETM+ Images. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27 (4): 459-463.]
- JANG K, KANG S, KIMBALL J S, HONG S Y, 2014. Retrievals of all-weather daily air temperature using MODIS and AMSR-E data. *Remote Sensing*, 6: 8387-8404.
- 匡昭敏, 李强, 尧永梅, 丁美花, 2009. EOS/MODIS数据在甘蔗寒害监测评估中的应用. *应用气象学报*, 20 (3): 360-364. [KUANG Zhaomin, LI Qiang, YAO Yongmei, DING Meihua, 2009. Application of EOS/MODIS Data to monitoring Sugarcane cold damage. *Journal of Applied Meteorological Science*, 20 (3): 360-364.]
- 李章成, 周清波, 吕新, 林海荣, 李森, 2008. 冬小麦拔节期冻害后高光谱特征. *作物学报*, 34 (5): 831-837. [LI Zhangcheng, ZHOU Qingbo, LÜ Xin, LIN Hairong, LI Sen, 2008. Hyperspectral Features of Winter Wheat after Frost Stress at Jointing Stage. *Acta agronomica sinica*, 34 (5): 831-837.]
- 林海荣, 李章成, 周清波, 吕新, 2009. 基于ETM植被指数和冠层温度差异遥感监测棉花冷害. *棉花学报*, 21 (4): 284-289. [LIN Hairong, LI Zhangcheng, ZHOU Qingbo, LÜ Xin, 2009. Monitoring frost disaster of cotton based on difference of vegetation index and canopy temperature by remote sensing. *Cotton Science*, 21 (4): 284-289.]
- 刘玲, 高素华, 黄增明, 2003. 广东冬季寒害对香蕉产量的影响. *气象*, 29 (10): 46-50. [LIU Ling, GAO Suhua, HUANG Zengming, 2003. Impacts of Cool Injury in winter on Banana Yields in Guangdong Province. *Meteorological Monthly*, 29 (10): 46-50.]
- LIU W, HUANG S Y, LI D, WANG C Y, ZHOU X, CHEN S S, 2015. Spatiotemporal computing of cold wave characteristic in recent 52 years: a case study in Guangdong Province, South China. *Natural Hazards*, 79: 1257-1274.
- 罗晓玲, 张勇, 汤海燕, 涂悦贤, 2001. 冬季寒害对广东种养业的严重影响及其对策. *自然灾害学报*, 10 (1): 107-113. [LUO Xiaoling, ZHANG Yong, TANG Haiyan, TU Yuexian, 2001. Serious influence of winter cold disaster on Plantation and aquaculture in Guangdong Province. *Journal of Natural Disaster*, 10 (1): 107-113.]
- 吕勇平, 张勇, 罗晓玲, 涂悦贤, 2000. 广东气象灾害对经济建设的影响. *热带地理*, 20 (3): 211-214, 218. [LÜ Yongping, ZHANG Yong, LUO Xiaoling, TU Yuexian, 2000. Influence of meteorological disasters' on economic construction of Guangdong. *Tropical Geography*, 20 (3): 211-214, 218.]
- OWE M, VAN DE GRIEND A A, 2001a. On the relationship between thermodynamic surface temperature and high-frequency (37GHz) vertically polarized brightness temperature under semi-arid conditions. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (17): 3521-3532.
- OWE M, DE JEU R A M, WALKER J P, 2001b. A methodology for surface soil moisture and vegetation optical depth retrieval using the microwave polarization difference index. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, 39 (8): 1643-1654.
- 谭宗琨, 丁美花, 杨鑫, 欧钊荣, 何燕, 匡昭敏, 2010. 利用MODIS监测2008年初广西甘蔗的寒害冻害. *气象*, 36 (4): 116-119. [TAN Zongkun, DING Meihua, YANG Xin, OU Zhaorong, HE Yan, KUANG Zhaomin, 2010. Monitoring the chilling and freezing injuries of Sugarcane in Guangxi, early 2008 by use of EOS/MODIS Data. *Meteorological Monthly*, 36 (4): 116-119.]
- 王春林, 唐力生, 陈水森, 黄珍珠, 何健, 2007. 寒冷灾害监测中的全天候地表温度反演方法研究. *中国农业气象*, 28 (1): 80-87. [WANG Chunlin, TANG Lisheng, CHEN Shuisen, HUANG Zhenzhu, HE Jian, 2007. All-weather Applicable Methodology to Retrieve Land Surface Temperature for Cold Disaster Monitoring. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 28 (1): 80-87.]
- 杨邦杰, 王茂新, 裴志远, 2002. 冬小麦冻害遥感监测. *农业工程学报*, 18 (2): 136-140. [YANG Bangjie, WANG Maoxin, PEI Zhiyuan,

2002. Monitoring Freeze Injury to Winter Wheat Using Remote Sensing. Transactions of the CSAE, 18 (2): 136-140.]
 赵英时, 陈冬梅, 杨立明, 等, 2003. 遥感应用分析原理与方法. 北京, 科学出版社, 272-286.
 张雪芬, 陈怀亮, 郑有飞, 邹春辉, 陈东, 付祥建, 2006. 冬小麦冻害

遥感监测应用研究. 南京气象学院学报, 29(1): 94-100. [ZHANG Xuefen, CHEN Huailiang, ZHENG Youfei, ZOU Chunhui, CHEN Dong, FU Xiangjian, 2006. Monitoring the Freezing Injury of Winter Wheat by Remote Sensing. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 29(1): 94-100.]

Land Surface Temperature Characteristic in Guangdong during a Super Cold Wave and Its Impact on Potato Growth Combining Microwave and Optical Remote Sensing

LIU Wei^{1,2,3,4}, WANG Chongyang^{1,2,4}, LI Dan², JIANG Hao², CHEN Shuisen²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangdong Key Laboratory of Remote Sensing and GIS Technology Application, Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China; 3. Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080, China; 4. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Under the background of climate warming, the frequency and intensity of cold wave that invaded Guangdong Province in South China were gradually decreasing in recent years. However, in late January of 2016, a named “super cold wave” invaded Guangdong and caused serious influence on agriculture production. Compared to traditional observation and investigation approaches, remote sensing has the feature of “large area, total coverage, high efficiency” in earth observation. In this paper, by the advantage of microwave at penetrating cloud, the data of multi-channel brightness temperature (TB) from the GCOM-W1/AMSR2 (Global Change Observation Mission-Water/Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) were used to inverse satellite-derived land surface temperature (LST). Based on the satellite-derived LST, Guangdong Province’s ground temperature spatio-temporal characteristic was analyzed. Results showed that ground temperature in Guangdong Province apparently decreased and then increased during the whole “super cold wave” process: the minimum LST reached low value under 277 K(4°C) in most of northern province, 280~282 K(7~9°C) in most of southwest and 278~279 K(5~6°C) in rest of the province; the temperature drop range reached 8~12 K(8~12°C) in most of southern Guangdong and 5~7 K(5~7°C) in most northern areas. Moreover, by using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)’s capability of indicating plant growth condition, based on multi-channel’s reflectance from HJ-1 A/B satellite’s CCD sensors, potato leaves’ NDVI in typical planted area of Guangdong in recent 3 years was calculated. Results showed that obvious declination of potato leaves’ NDVI after the “super cold wave” could be seen: NDVI decreased by 0.1~0.2 in most study areas (55.4% of planted area); NDVI decreased by 0.2~0.3 in most central areas (17.2% of planted area). NDVI value at the same period of the past two year was further analyzed; the result showed that NDVI after the “super cold wave” was lower than that of the “normal” year, indicating that the declination of potato leaves’ NDVI was mainly caused by low temperature of the cold wave, not only the result of aging phenomenon. The declination of NDVI indicated that the growth of the potato was restricted, that was confirmed by *in situ* investigation. In general, the capability of passive microwave remote sensing in retrieving continuous daily LST in frequent-cloudy area, such as South China, was shown in this study, indicating its potential value in monitoring cold disasters. On the other hand, based on optical remote sensing, NDVI’s potential in indicating plant growing condition was also further confirmed in this study. Combining both, this study realized the cold wave low temperature monitoring and plants’ cold injury evaluation. This study was a case firstly combining microwave and optical remote sensing on cold process monitoring and crop disaster assessment in recent years. It may have important reference value to related studies. In future work, early warning of cold disaster will also be realized by remote sensing if near-surface air temperature is retrieved and cold disaster modeling introduced.

Key words: cold wave; optical remote sensing; passive microwave; potato; land surface temperature NDVI; AMSR2; HJ-1 CCD; Guangdong