

引用格式: 苏亚丽, 郭旭东, 雷莉萍, 等. 基于多源卫星遥感的暴雨灾情时空动态信息的提取[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(7): 1004-1013. [Su Y L, Guo X D, Lei L P, et al. Spatio-temporal dynamic information extraction of heavy rain disaster impacts on the growth of crop using multi-satellites observing data[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(7): 1004-1013.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180065

基于多源卫星遥感的暴雨灾情时空动态信息的提取

苏亚丽^{1,3}, 郭旭东^{1*}, 雷莉萍², 汪晓帆¹, 吴长江²

1. 中国土地勘测规划院 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094; 3. 西安科技大学研究生院, 西安 710054

Spatio-temporal Dynamics of the Impacts of Rainstorm Disaster on Crop Growing Using Multi-satellites Remote Sensing

SU Yali^{1,3}, GUO Xudong^{1*}, LEI Liping², WANG Xiaofan¹, WU Changjiang²

1. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China;
2. Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
3. Xi'an University of Science and Technology Graduate School, Xi'an 710054, China

Abstract: The heavy rain may induce flood disaster inundating crop lands while the long period of the continues heavy rainfall may strongly affect the growth of crops even not evolving into a flood disaster. The impact of heavy rainfall on the growth of crops is a gradual process due to the long period of time needed for soil to become saturated. Multi-satellites remote sensing observations can capture and characterize the ground conditions over large area in multiply time. To develop the potential applications of the multi-satellites remote sensing observations, this paper proposes a method of extracting dynamic information of heavy rain disaster and its impacts on the growth of crops using multi-satellites data including Terra/MODIS, Landsat and Sentinel. We implemented the application of the proposed method in the studying area around Chaohu lake, where the heavy rainfall started from the end of June and continued to August in 2016, and a heavier rain in July brought about the flood in large crop areas. The beginning period and the duration of the heavy rainfall, leading to the impacts on the growth of crops, were identified using a dynamic threshold method of multi-temporal NDVI derived from MODIS. Based on this information, the area with crop fields impacted by heavy rainfall and flooded were obtained. On the other hand, the dynamic information of flooded lands was extracted by using Landsat observing data in July and Sentinel observation data in August, respectively. These results provide more accurate area of flooded crop fields, and can be used to modify the area derived from MODIS although they have only few temporal data available. In conclusion, multi-satellites remote sensing, as one of the tools for monitoring and assessing the influences of heavy rainfall, can obtain the dynamic information of the heavy rainfall impacts on the growth of crops in addition to flooded land area and the recovery of the farmland, which provide the supporting scientific data for the assessment of the loss caused by the disaster and making the disaster relief policy.

收稿日期: 2018-01-22; 修回日期: 2018-03-23.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFB0501505); 国土资源部土地利用重点实验室开放基金项目(KLLU201604)。

[**Foundation items:** The National Key Research and Development Program of China, No.2016YFB0501505; Ministry of Land and Resources Key Laboratory of Land Use Open Funding, No.KLLU201604.]

作者简介: 苏亚丽(1994-), 女, 硕士生, 研究方向耕地暴雨洪水灾害多源卫星遥感监测方法研究。

E-mail: syl1501235615@163.com

*通信作者: 郭旭东(1972-), 研究员, 主要从事景观生态学、土地利用变化与土地质量等研究。E-mail: sam9560@vip.sina.com

Key words: multi-satellites; disaster; rainstorm; farmland; disaster situation

***Corresponding author:** GUO Xudong, E-mail: sam9560@vip.sina.com

摘要 强暴雨淹没耕地形成灾害的同时,对耕地作物的生长也产生着极大的影响,而暴雨灾害对耕地作物生长的影响是一个渐变过程,需要由时空动态的观测进行监测。多源卫星遥感观测技术具有捕捉地面瞬间状态和刻画过程的优势。论文利用 Terra/MODIS、Landsat 和 Sentinel 卫星观测数据,挖掘多源卫星遥感观测数据,提出了一种利用 NDVI 变化的特征值进行灾情动态信息提取方法;并以 2016 年发生暴雨灾害的巢湖地区为实验区进行了方法的应用和讨论。结果表明,基于 MODIS 多时相 NDVI 变化结果提取的信息能够获得受灾害影响开始时期和持续时长等丰富的时空动态信息,根据这些信息可以统计得出大范围区域中受灾害影响的面积。另外,结合利用 30 m 和 10 m 的 Landsat 和 Sentinel 观测数据提取的水淹区,可为在暴雨致灾范围方面提供准确的参考信息。多源遥感作为评估灾情信息的依据之一,其获取的灾情动态信息能够为灾后耕地的恢复情况以及国家灾后损失评估和救助决策提供科学的数据依据。

关键词 多源卫星;灾害;暴雨;耕地;灾情

1 引言

自然灾害的发生、发展乃至演变成灾难,一直在不同程度地损害人类的生产和生活。从科学的意义上认识这些灾害的发生、发展以及尽可能减小它们所造成的危害,已是社会的一个共同主题。能够客观准确地获取地面真实状况的卫星遥感观测技术已经是自然灾害监测的重要手段之一,它可以为我们获取自然灾害具有的广泛性、区域性、时间动态性以及严重性等特点的灾情信息。特别是多源卫星遥感观测的协同应用已经成为灾害监测技术发展的重要趋势^[1]。在多种灾害种类中,本研究拟以强暴雨的气象灾害为对象,研究多源卫星遥感观测在暴雨天气灾害的发生、发展以及严重性的应用。

每年全球各地均会频繁地发生持续暴雨、洪水等气象灾害。一方面,由于连续的强降水或短时的强暴雨在地势低洼和地形闭塞地区雨水不能迅速宣泄而造成土壤水分过度饱和和地面积水,长期土壤水分的饱和也必然影响农作物的生长;另一方面,强暴雨导致河流湖泊水位漫堤泛滥成洪水淹没农田和人类居住地,造成人类正常生产和财产经济的损失。在进行此类灾害损失评估和灾害救助时,不但需要获取区域受害范围、程度及灾后农作物恢复情况等空间上的信息,而且也需要这些灾情随时间变化的动态信息。

受卫星重返周期长加之天气条件的影响,仅应用单颗卫星遥感获取灾情信息受到了极大的限制^[2-3],很难满足灾害时空信息获取的需求^[4-5]。随着在轨观测卫星的增加,通过多颗卫星观测各自拥有的空间和时间优势的互补,提取地表过程信息。通过对

这些地表过程信息的分析和处理,可以获取更为准确的暴雨洪水引起的灾害范围、程度、退水恢复以及随时间变化的灾情动态信息。在多源卫星数据的应用上,更多的研究主要集中于灾害空间信息的获取如受淹区域的提取等^[6-9],缺乏灾害发展过程的信息提取。在不同卫星的优势应用上,许多研究更多地利用了空间分辨率的互补,提高洪涝受灾区域的空间信息及地面类型信息的提取精度和效率^[10-12];一些研究利用 MODIS 多时相的优势评估了洪水灾害对作物产量的影响^[13-14]。在融合应用多源卫星数据的处理中,主要是将 Landsat 与多时相 MODIS 数据通过如 STARFM 等方法进行融合处理后得到有 30 m 的多时相数据^[15-16]。但该方法有两点很大的局限性,①需要有一定时相数且均匀分布于各季节的 Landsat 卫星数据才能保证数据的有效性和可靠性^[17];②该方法仅适用于那些常规地面未发生异常变化的年份,不能有效地应用于获取到如暴雨洪水淹没等灾害发生导致的异常变化数据。

针对灾害发生后数据的特殊性和融合处理的问题,本论文采取对各个卫星处理首先面向需求进行信息提取处理,然后由各卫星结果信息的综合分析和统计,从空间上和时间上获取准确的灾情动态信息。利用已经在轨运行多年的 Landsat 8 和 Terra/MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 以及最新发射的 Sentinel 卫星遥感提供的多期观测数据,针对暴雨灾害所导致的灾情动态信息如灾害范围、受灾程度及其发展、以及灾后恢复状况等,以 MODIS 时序变化特征为基础,建立一种多源遥感的灾害动态信息提取方法。该方法利用 Landsat 和 Sentinel 的空间分辨率优势辅助于 MODIS 多时相优势,一方面提取受灾区域范围、类型以及恢

复的灾情空间信息,另一方面提取灾情恢复随时间变化的动态特征信息,为作物灾后损失评估和灾害救助决策提供有效准确的基础信息。

2 数据源与方法

2.1 研究区概况与数据源

本文以2016年夏季持续强降水导致暴雨灾害的长江中下游流域安徽省巢湖地区为研究区。研究区在2016年6月底开始降雨,在7月1日发生了超出100 mm的强暴雨,大范围区域被淹,对后期农作物的生长和种植产生很大影响。本文收集了巢湖地区受灾年2016年陆地卫星8号(Landsat-8)OLI(Operational Land Imager), Sentinel (Sentinel-2A)多光谱仪和Terra/MODIS的观测数据;同时,为获取研究区灾前背景信息,收集了未受灾年(2015年)观测数据,分别为Landsat-8 OLI观测的3个时相、Sentinel-2A光学观测数据2个时相。为了获取耕地农作物的多时相连续变化特征,研究利用了MODIS观测的2015年和2016年45个时相数据,各数据获取时间及其特征见表1。

Landsat-8 OLI数据来自于美国地质勘查局(U.S. Geological Survey-USGS)网站发布的经辐射校正和地形几何校正处理后的L1T数据产品;其多光谱空间分辨率为30 m,全色波段空间分辨率为15 m。

Sentinel-2A是2015年发射的一颗新型高分辨率多光谱成像卫星,在可见光和近红外(VNIR)和短波红外(SWIR)光谱波段上设置有13个光谱波段(4个10 m波段,6个20 m波段,3个60 m波段),主要用于陆地植被、土壤及水资源等在内的全球陆地观测^[18]。Sentinel-2A多光谱数据产品来自于欧空局发布的Level-1C级产品;数据为经辐射校正和正射校正处理后具有亚像元精度的100 km²×100 km²正射影像^[18]。

Terra/MODIS数据来源于美国NASA的EOS

系列卫星Terra观测获取的植被指数产品MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid (MOD13Q1)^[19]。该数据为16 d合成的NDVI植被指数数据产品,数据的空间分辨率为250 m,时间分辨率为16 d,1年共有23幅时相数据。16 d合成的NDVI数据是由最佳像元合成算法处理得到的数据产品。该算法以16 d为单位,在一定传感器观测角范围内选出具有最大NDVI值的像元作为最佳像元选出,通过逐像元16 d的最佳像元选择处理,合成得到一幅无云或受云影响最小、星下点最近的NDVI数据^[20]。在研究区收集了2015年23个时相和2016年22个时相(年末最后一个时相缺失)NDVI数据。

2.2 灾情动态信息提取的方法

利用250 m多时相MODIS数据提取暴雨导致作物受灾开始的时间、范围及其发展的变化。另一方面,利用30 m的Landsat和10 m的Sentinel观测数据,提取受暴雨灾害淹没的准确区域,修正空间分辨率较低的MODIS提取结果。最终通过多源卫星遥感观测数据的应用处理,提取受灾区域的受灾时间和程度、土地覆盖类型、以及灾后恢复情况信息,具体的技术方法流程如图1所示。

2.2.1 基于MODIS-NDVI时序变化的灾害特征值提取

耕地作物在受到连续暴雨降水导致的土壤水分饱和或强暴雨淹没后的影响,作物的生长和长势必然受到影响,其NDVI值必然比正常年份减小,如果作物的生长持续受到了影响,时间上的NDVI将会持续保持低值,因此利用NDVI多时相的变化特征(图2)可以进行暴雨对耕地作物影响程度的识别。

图2给出了受淹区域受灾年2016年和未受灾年2015年NDVI多时相变化特征;为分析NDVI季节变化受强降水的影响,图3给出了研究区合肥市气象观测站2016年降水量的日变化。其中,图2(a)–(f)表示均一耕地类型不同ROI样本区2015

表1 多颗卫星遥感观测数据产品信息

Tab. 1 Specification of Multi-satellites remote sensing observation data product

卫星/传感器	时间(覆盖景数)	产品级别	数据源
Landsat-8/OLI	2015-10-11(2景) 2016-01-15(2景) 2016-07-25(2景)	L1T	http://glovis.usgs.gov/
Sentinel-2A/MSI	2016-08-15(6景)	Level-1C	https://scihub.copernicus.eu/
Terra/MODIS	2015年1-12月45个时相(1景) 2016年1-12月45个时相(1景)	MOD13Q1	http://ladsweb.nascom.nasa.gov/

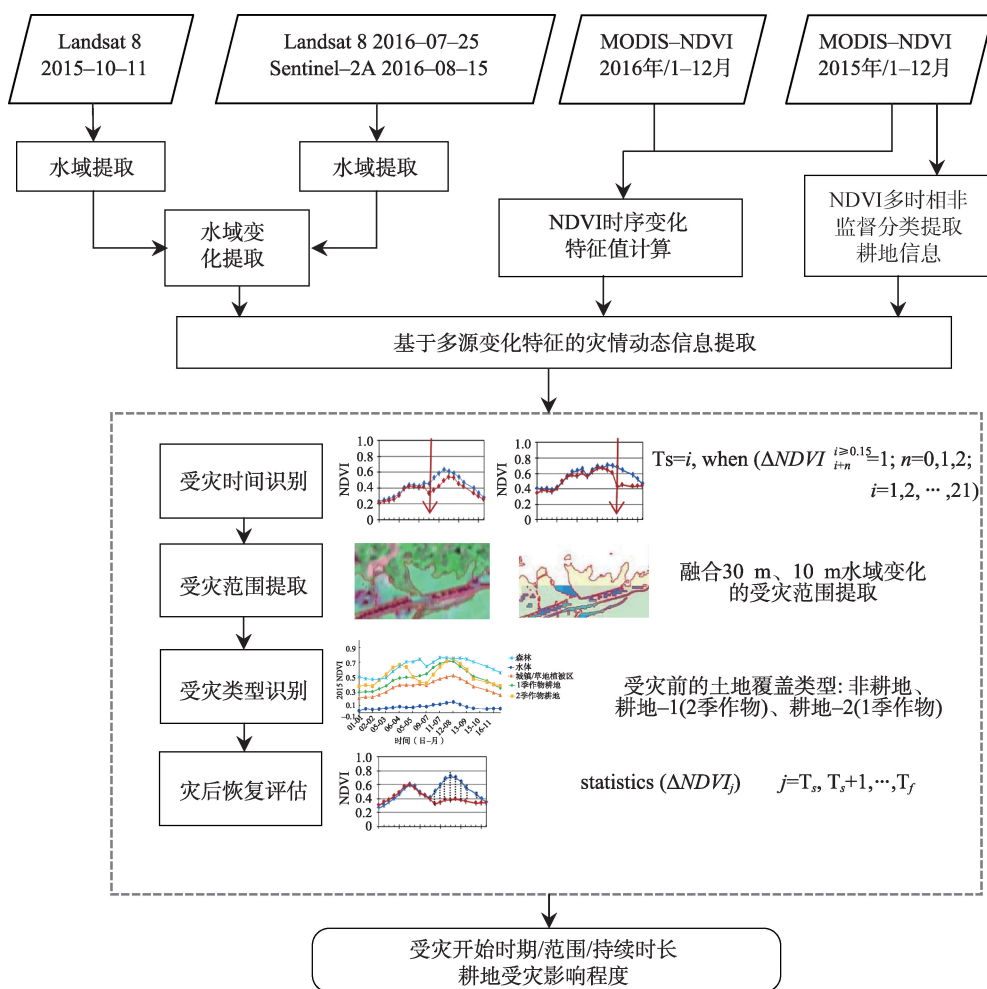


图1 基于多源卫星遥感的暴雨灾情动态信息提取方法流程

Fig. 1 Method of extracting dynamic information about rainstorm disaster based on Multi-Satellites Remote Sensing

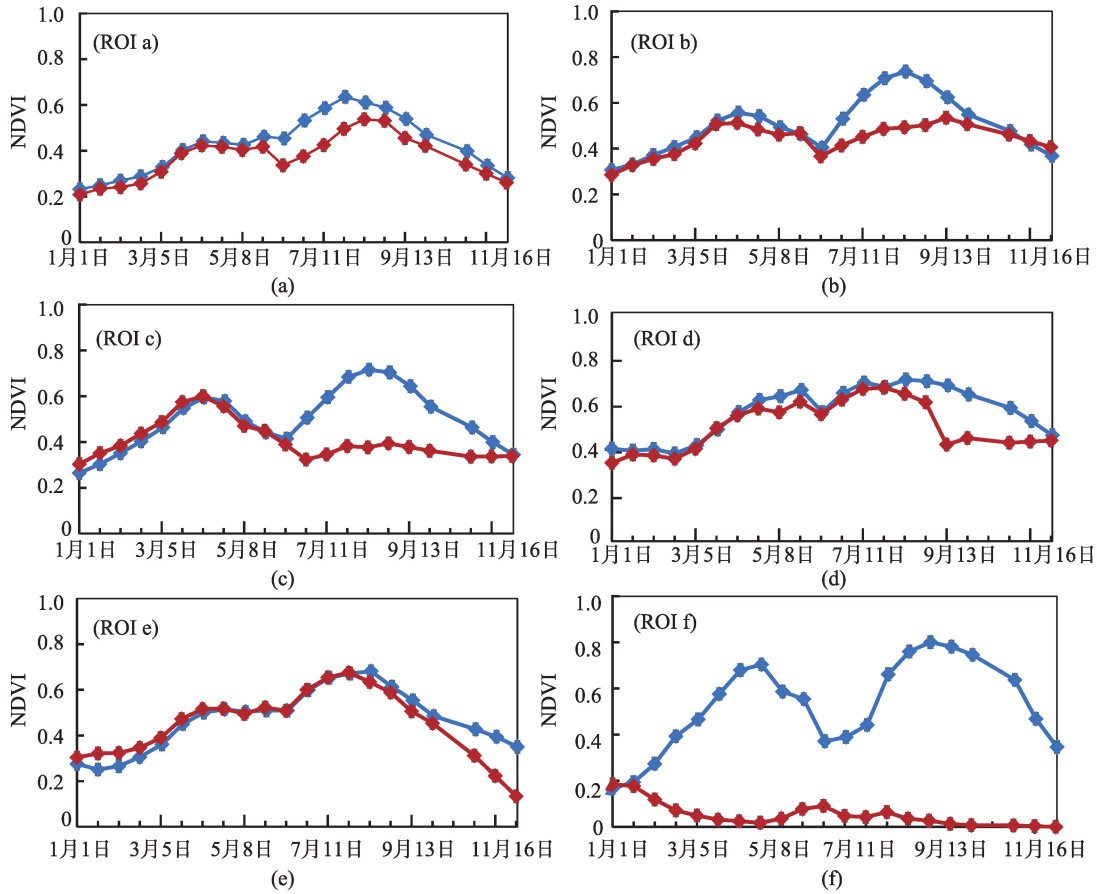
年与2016年的NDVI均值时间序列曲线变化特征。对比分析图2和图3可发现,图2(a)–(c)显示了2016年6月的NDVI值(红色)比2015年6月明显下降的特征,对应了图3中6月的连续强降雨和7月初的强暴雨,表明在7月强暴雨之前的连续降水已经导致土壤水分饱和而影响了农作物的生长。同时,图2(a)–(b)显示了2016年NDVI在不同时相开始降低并持续一段时间后重新达到未受灾年2015年的NDVI水平。图2(f)显示2016年从年初开始减小,一直明显低于2015年各时相的NDVI值,经地面调查核实该区域的土地利用由2015年的耕地在2016年更改为养殖田。

上述2年NDVI同时相的变化差值结果的分析表明,2016年受灾后的NDVI值比2015年同时相基本小于0.15。以此0.15为阈值,进行NDVI开始减小的时相识别,并累计差值连续低于0.15值的时相

数即持续时长,根据这些特征可以评估作物受暴雨降水灾害的影响程度以及受灾后作物恢复情况。在提取这些特征值之前,首先对MODIS-NDVI数据存在的部分异常进行剔除和插补。

MODIS-16天NDVI产品数据虽然由最佳像元合成方法很大程度上减小了云的影响,由于中国南方地区天气多云,研究区域NDVI数据里还会有一些受到云影响的数据。根据NDVI值的正常多时相变化特征,当像元NDVI值与前后两个时相的绝对差值均大于0.15时判断为异常值,并利用前后时相NDVI值进行线性插值替代,由此减小异常值对多时相变化特征分析的影响。2016年第19个时相的NDVI数据由于大范围的云影响未实施处理,最终经异常剔除和插补处理后得到2015年和2016年分别21个时相的NDVI数据集。

考虑耕地作物NDVI随时间变化的特性,以连



注:红色表示受灾年2016年;蓝色代表未受灾年2015年

图2 受灾年(红色)和未受灾年(蓝色)的NDVI多时相变化特征

Fig. 2 Characteristics of NDVI multi-temporal changes in affected years (red) contrast with unaffected years (blue)

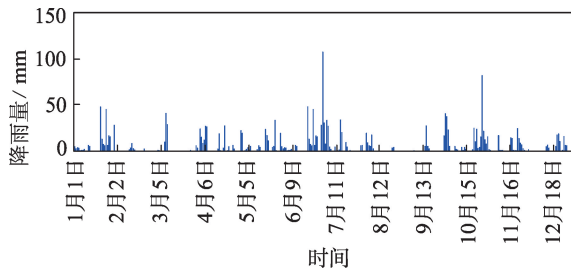


图3 研究区合肥市气象站2016年的降水量

Fig. 3 Precipitation in 2016 measured in Hefei meteorological station in the study area

续有3个时相的受灾年NDVI小于同期未受灾年为判断作物生长受到灾害影响的依据;利用3个连续时相可以避免仅用单个时相判断时由于数据噪音或异常产生的误判。首先,由式(1)逐像元统计计算每个时相未受灾年2015年的NDVI值($NDVI_i^{2015}$)与受灾年2016年NDVI值($NDVI_i^{2016}$)的差值 $\Delta NDVI$ 。然后,以0.15为判断阈值(式(2)),如果在 T_s 时相开始连续3个时相以上 $\Delta NDVI$ 大于

阈值时,该时相作为受灾影响的开始时相 T_s 输出(式(3)),并从 T_s 开始累计,累计 $\Delta NDVI$ 大于阈值的时相个数(式(4)),输出满足条件的时相个数(T_f),这里 T_f 必然大于或等于3。

$$\Delta NDVI_i = NDVI_i^{2015} - NDVI_i^{2016} \quad (1)$$

$$\Delta NDVI_i^{\geq 0.15} = 1 \text{ if } \Delta NDVI_i \geq 0.15 \quad (2)$$

$$\Delta NDVI_i^{\geq 0.15} = 0 \text{ if } \Delta NDVI_i < 0.15 \quad i = 1, 2, \dots, 21$$

$$T_s = i, \text{ when } (\Delta NDVI_{i+n}^{\geq 0.15} = 1 \quad n = 0, 1, 2) \quad i = 1, 2, \dots, 21 \quad (3)$$

$$T_f = \text{Num}(\Delta NDVI_i^{\geq 0.15} = 1 \text{ until } (\Delta NDVI_i^{\geq 0.15} = 0)) \quad (4)$$

$$i = T_s, T_s + 1, \dots, 21$$

为检测2016年NDVI值比2015年减小的幅度,进一步计算从 T_s 开始到 $(T_s + T_f)$ 时期内 $\Delta NDVI$ 均值和标准偏差,由NDVI降低大小评估受灾影响的程度。

2.2.2 各个时期受暴雨影响的范围

根据暴雨洪水灾害的特点,由以下方法获取由

于不同时期的强降水对农作物生长影响的范围及其发展变化等信息。

连续强降水造成土壤水分过度饱和和地面积水逐渐影响农作物生长的过程,是一个渐变的过程,利用MODIS多时相数据由式(1)–(3)求算的 T_s ,表征了强降水和暴雨对农作物生长产生影响的开始时间,根据 T_s 可以获取各个时期受到暴雨影响的空间范围。进一步利用受灾期间Landsat和Sentinel观测时期获取的受灾范围,对MODIS相近时期的结果进行比较核对,通过多种数据源获取受灾范围,为区域灾情分析提供参考。

在卫星观测获取地物反射特征中,水体具有很强的光谱吸收特征,特别在近红外光谱,使其反射率明显低于其他地物的反射率^[21]。因此在卫星遥感数据中水体是最为容易提取的地物信息。这其中虽然受云、地形、建筑物等造成的阴影等低反射率的影响,但充分利用地物光谱反射和指数特征,可以比较准确地提取水体信息。本文利用水体在绿波段、红波段、近红外波段、归一化差异水体指数NDWI和改进型水体指数MNDWI的特征值,针对不同时期的卫星数据选择不同的阈值,利用阈值决策树方法分别进行了2015年10月11日(Landsat-8)和2016年7月25日(Landsat-8)和8月15日(Sentinel-2A)影像的水域提取。

利用各卫星观测时期的水域提取结果,以未受灾年2015年10月11日(Landsat-8)为对比数据,分别进行水域变化提取,识别2016年7月25日(Landsat-8)和8月15日(Sentinel-2A)时期水域增加信息,

获取2016年受强暴雨影响导致的水淹区域。

在利用受灾年和未受灾年2期卫星观测数据进行水域变化提取时,地表覆盖的其他变化如受灾年土地利用转变为养殖田或水田等,使得水体变化信息提取结果里包含一些伪变化信息。对于这些伪变化,可以利用MODIS-NDVI的时序变化特征如图2(f)所示,以变化区域为对象,根据上述 T_s 和 T_r 的特征值即 T_s 开始于3月之前且时相数 T_r 大于15时表明,该区域2016年全年基本为水覆盖,剔除由上述土地利用变化产生的非受灾像元。

3 结果与讨论

3.1 耕地区域暴雨灾害影响的灾害信息结果

图4为按照上述图1的方法流程得到的2016年耕地区域受暴雨灾害影响的开始时期和持续时长的结果。图中的耕地区域由2015年多时相NDVI数据的非监督分类获取。图中的日期是根据NDVI数据的每个时相间隔16 d,由开始时相 T_s 换算的日期和天数。图5为对应耕地区域的 T_s 、 T_r 以及从 T_s 到 (T_s+T_r) 时期内 Δ NDVI均值和标准偏差统计的直方图。

图4结果表明受暴雨灾害影响区域主要分布在巢湖东南部与长江之间;受灾害影响的时期基本开始在7月初时相。由图5(a)可发现,开始受到灾害影响的各个 T_s 的范围大小对应了2016年降水量的时间变化(图3);受7月初强暴雨的影响,7月灾害影响的面积最大;6月开始灾害影响面积开始明显

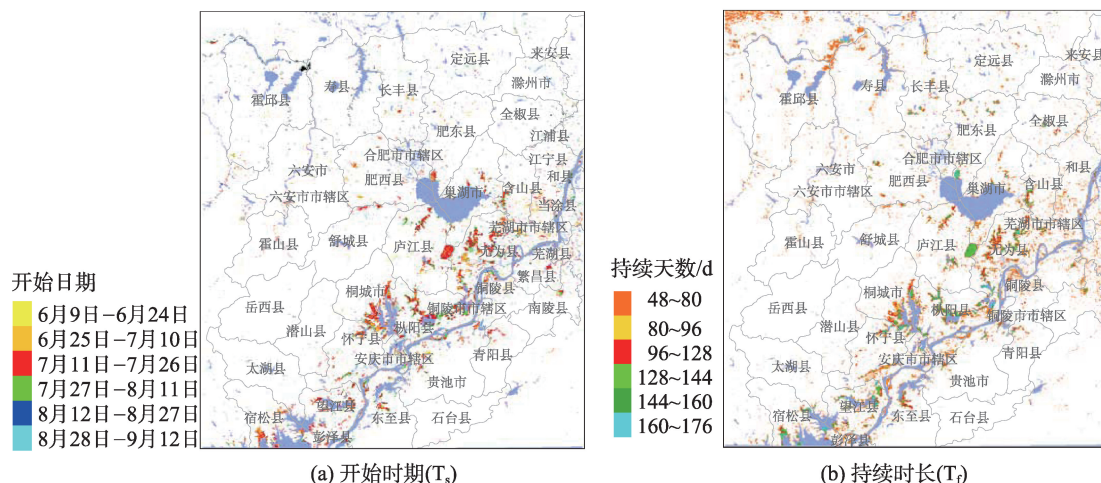


图4 2016年受暴雨灾害影响的开始时期和持续天数

Fig. 4 The beginning period and the duration in the year of 2016 affected by heavy rainfall

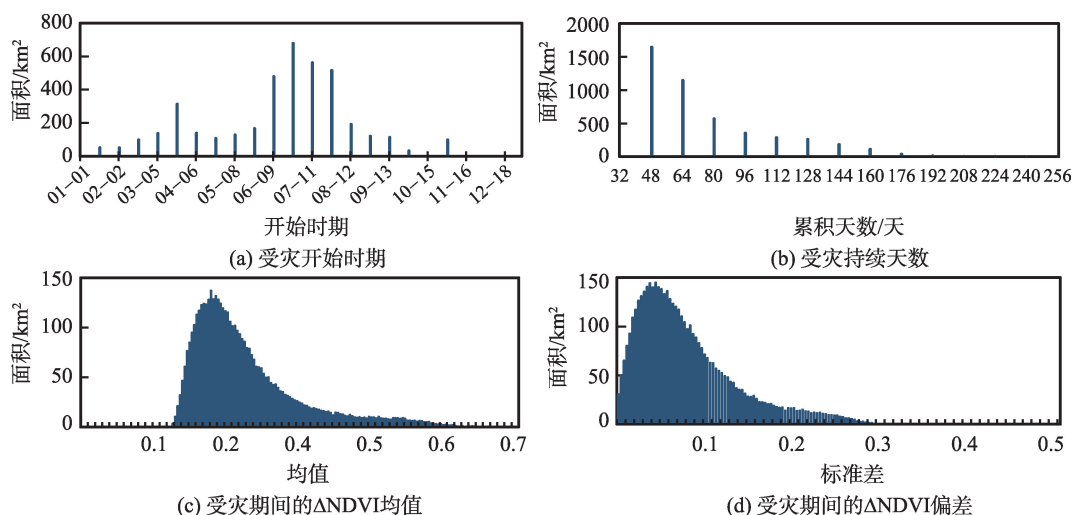
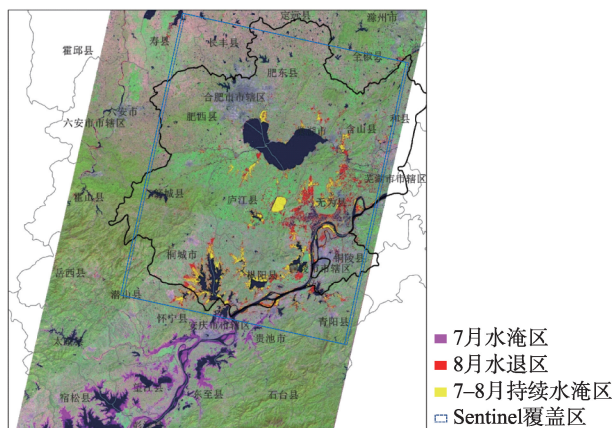


图5 研究区受暴雨灾害影响的直方图

Fig. 5 Histograms of Δ NDVI affected by heavy rainfall in study areas

增大,这与6月持续强降水(图3)引起土壤水分饱和或积水进而影响了作物生长有关。大范围的区域受灾害影响持续了48~64 d(图5(b)),且多在6~8月(图5(a))。另一方面,受灾年NDVI相比未受灾年降低幅度主要在0.2以上,按照植被指数与作物生长特征^[22],这个差值指出作物长势已经受到灾害很大的影响。研究区耕地主要为水稻种植区,4~11月种植早稻,5~11月晚稻种植与早期冬小麦轮作。在此耕种规律下,图5显示的6月初开始灾害影响面积明显增大的结果指出了持续降水已经很大地影响了作物的耕种和生长。



注:底图为由Landsat8-OLI波段6、5、和4合成的彩色影像(R:G:B=6:5:4)

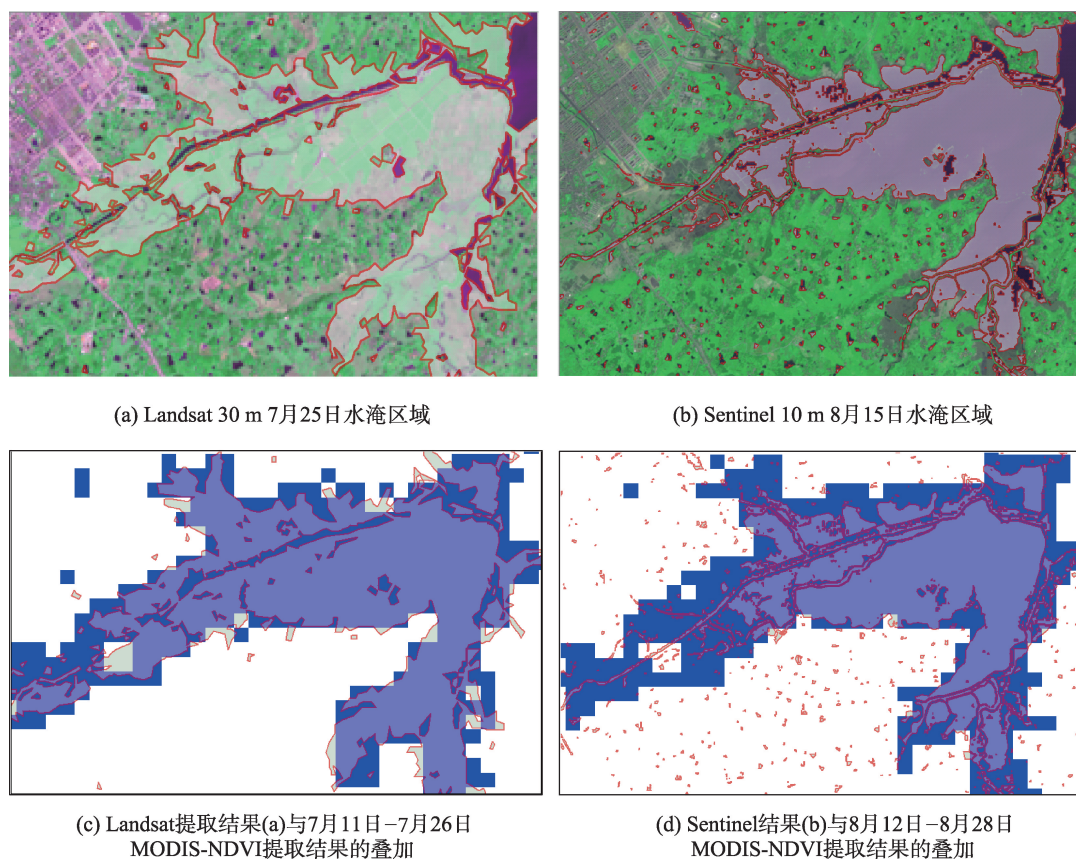
图6 应用Landsat和Sentinel数据提取的7月25日和8月15日水淹区的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of flooded areas on July 25 and August 15 derived from Landsat and Sentinel data

3.2 受灾区域范围的核对与比较

图6为利用Landsat和Sentinel数据提取的7月25日和8月15日区域被水淹的空间分布。为比较不同卫星数据的提取结果,图7给出了各卫星数据提取的同时期结果的叠加样例。

由灾后和灾前MODIS同时相NDVI变化特征提取的结果包含了暴雨和持续降水对耕地作物生长产生影响的信息,同时也包含了耕地水淹信息;而由Landsat和Sentinel水体变化提取的结果仅是耕地被水淹没的信息。图6显示的Landsat和Sentinel水淹空间分布基本相似于图4中MODIS的结果,但它们之间的结果存在一些细微的差异(图1)。图6中的MODIS结果是对应于7月25日(Landsat)和8月15日(Sentinel)MODIS时相提取的2016年与2015年的NDVI差值从该时相开始连续3个时相小于0.15时提取的像元。如图7所示,MODIS提取的灾害影响范围比Landsat和Sentinel提取的水淹区域范围大。另外,不同卫星空间分辨率提出的结果差异也很明显,Landsat和Sentinel的结果中分布有大量零碎像似噪音的图斑。对照灾前和灾后台星影像的水体时,发现研究区内大小池塘类的水域很多,受灾年的持续降水使池塘水域范围扩大,由此2015年和2016年的水体变化里包含了大量这些水面扩大的变化区,且空间分辨率略高的Sentinel结果中的零碎图斑多于30 m的Landsat的结果(图7(d))。同时,8月12~8月20日MODIS的提取结果面积要大于Sentinel数据的结果,主要原因在于基



注:红色边界和透明色为Landsat和Sentinel提取结果的图斑;蓝色为对应时期MODIS提取的受灾影响区域

图7 Landsat 30 m以及Sentinel 10 m的水淹区域提取结果的样例

Fig. 7 Examples of the extraction results of flooded area from Landsat-30m and Sentinel 10 m data

于NDVI时序数据提取灾害范围包括已退水但作物无法恢复到正常年份生长状态的此类情况的受灾区域。而由于MODIS较粗250 m的空间分辨率,不敏感那些面积微小的水体信息,因此平滑了那些小面积的水体变化信息。

表2给出了以巢湖流域为受灾中心范围的10个县市(无为、庐江、巢湖、桐城、肥东、肥西、舒城、枞阳、和县)为统计范围(图6中黑色粗线内区域),统计的各卫星提取的变化面积,包括由MODIS-NDVI提取的各个时期灾害影响增加的面积、在各

个时期灾害影响的总面积以及Landsat和Sentinel提取的水淹面积。表中各个时期灾害影响的总面积是由灾害影响开始时期及其持续时长统计计算的结果。比较表2所示Landsat提取的7月25日水淹面积为1233.9 km²略大于对应的MODIS提取的灾害影响面积1198 km²,这个时期的水淹区域应该是7月1日的强大暴雨所导致水淹区。8月15日Sentinel卫星提取的结果面积为751.1 km²,与7月25日水淹区进行叠加交集运算结果指出,比较于7月基本没有水淹增加区,到8月时7月水淹区的水

表2 各卫星观测提取的变化面积统计(km²)

Tab. 2 Area affected and flooded by heavy rainfall extracted by different satellite observations

类型	日期						
	5月24日-6月8日	6月9日-6月24日	6月25日-7月10日	7月11日-7月26日	7月27日-8月11日	8月12日-8月27日	8月28日-9月12日
MODIS提取的	111.6	338.7	565.7	293.6	206.0	107.5	65.5
新增							
灾害影响面积	318.6	528.0	1016.0	1198.0	1328.4	1344.8	1230.0
实际							
Landsat/Sentinel	-	-	-	1233.9	-	751.1	-
提取的水淹面积							

退面积约为 647 km²。

利用 MODIS 提取的灾害影响结果数据, 累计开始时期在 5-9 月(图 5(a))且持续时长达 60 d 以上(图 5(b))的像元数, 转换为面积则为 2144.7 km², 非常接近于民政部统计发布的受灾面积 2377 km²。由此结果表明, 上述基于 MODIS 多时相 NDVI 变化结果提取的灾害影响面积可以作为区域政府评估灾情的参考依据。

4 结束语

暴雨灾害对耕地农作物除了淹没耕地形成灾害之外, 其对作物生长产生的影响也是不容忽略的。而暴雨灾害对作物生长影响是一个渐变过程, 需要时间动态的变化来评估灾害的影响。多源卫星遥感观测可以获取具有时空动态变化特征的信息, 实现对地面进行更详尽的动态监测。本文面向暴雨灾害灾情评估需求, 利用 Terra/MODIS 观测获取的多时相 NDVI 数据, 挖掘高时间分辨率卫星观测数据的应用, 提出了一种利用 NDVI 变化的特征值进行灾情动态信息提取方法, 该方法可以快速地提取大范围区域由持续强降水和暴雨天气灾害导致的作物生长情况出现的变化信息, 包括耕地受灾开始时期和灾害影响的持续时长。另外, 分别利用 30 m 和 10 m 的 Landsat 和 Sentinel 观测数据, 进行受淹耕地提取, 解析高空间分辨率在灾害信息提取中的应用效果。结果表明, 基于 MODIS 多时相 NDVI 变化结果提取信息包含着受灾害影响开始时期和持续时长等丰富的时空动态信息, 且覆盖范围大, 对于大范围区域灾情评估具有很大的参考价值; Landsat 和 Sentinel 提取的水淹区, 可为暴雨致灾范围的获取提供准确的参考信息。作为评估灾情信息的依据之一, 这些灾情动态信息能够更好地为灾后耕地的恢复情况以及国家灾后损失评估和救助决策提供科学的数据依据。

本文研究为利用多源卫星遥感获取暴雨灾情动态信息提供了一个方法应用研究案例。随着未来雷达和光学等多颗卫星的增加, 多源卫星遥感观测将更加准确的获取灾情时空动态信息。

参考文献(References):

[1] 范一大, 吴玮, 王薇, 等. 中国灾害遥感研究进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1170-1184. [Fan Y D, Wu W, Wang W, et al. Research progress of disaster remote sensing in China[J].

Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 1170-1184.]

- [2] 李海亮, 汪秀华, 戴声佩, 等. 基于环境减灾卫星 CCD 数据的海南岛洪涝灾害监测[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 191-198. [Li H L, Wang X H, Dai S P, et al. Flood monitoring in Hainan Island based on HJ-CCD data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(17): 191-198.]
- [3] Hu Z W, Gong H L, Zhu L Y. Fast flooding information extraction in emergency response of flood disaster[J]. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2012, 4(54): 173-177.
- [4] Frappart F, Bourrel L, Brodu N, et al. Monitoring of the Spatio-temporal dynamics of the floods in the Guayas Watershed (Ecuadorian Pacific Coast) using global monitoring ENVISAT ASAR images and rainfall data[J]. water, 2017, 9(12): 1-20.
- [5] 许超, 蒋卫国, 万立冬, 等. 基于 MODIS 时间序列数据的洞庭湖区洪水淹没频率研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 96-101. [Xu C, Jiang W G, Wan L D, et al. Research of flood submerged frequency in Dongting lake region based on time series dataset of MODIS[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 96-101.]
- [6] 王嘉梵, 刘婷, 俞志强, 等. 基于 COMO-SkyMed 和 SPOT-5 的城镇洪水淹没信息快速提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(3): 564-571. [Wang J F, Liu T, Yu Z Q, et al. A Research on town flood information rapid extraction based on COSMO-SkyMed and SPOT-5[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016, 31(3): 564-571.]
- [7] 王伶俐, 陈德清. 2013 年黑龙江大洪水遥感监测分析[J]. 水文, 2014, 34(5): 31-35, 93. [Wang L L, Chen D Q. Satellite remote sensing monitoring and analysis of heilongjiang river flood in 2013[J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(5): 31-35, 93.]
- [8] 刘明月, 贾明明, 王宗明, 等. 2013 年松花江与嫩江交汇段洪水遥感监测[J]. 湿地科学, 2015, 13(4): 456-465. [Liu M Y, Jia M M, Wang Z M, et al. Flood monitoring on the confluence of nenjiang river and songhua river in 2013 by multi-source, multi-temporal remote sensing imagery[J]. Wetland Science, 2015, 13(4): 456-465.]
- [9] Crétaux J, Bergé-nguyen M, Leblanc M, et al. flood mapping inferred from remote sensing data[J]. International Water Technology Journal, 2011, 1(1): 46-58.
- [10] Ejikeme J O, Igbokwe J I, Ojiako J, et al. Modelling the impact of flooding using geographic information system and remote sensing[J]. International Journal of Technical Research and Applications, 2015, 3(4): 67-72.
- [11] Fumio Y, Jun S, Liu W, et al. Extraction of flood areas due to the 2011 central Thailand flood using Aster and

- Terrasar-x data[C]. 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2013:706-710.
- [12] B. Serpico S, Dellepiane S, Boin G, et al. Information extraction from remote sensing images for flood monitoring and damage evaluation[C]. Proceedings of the IEEE, 2012,100(10):2946-2970.
- [13] Shrestha R, Di L P, Yu G N, et al. Detection of flood and its impact on crops using NDVI-Corn case[C]. The 2nd International Conference on Agro- Geoinformatics, 2013: 200-204.
- [14] Yu G E, Di L, Zhang B, et al. Remote sensing based flood damage estimation using crop condition profiles[C]. The 2nd International Conference on Agro- Geoinformatics, 2013:205-210.
- [15] Gao F, Masek J, Schwaller M, et al. On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006,44(8):2207-2218.
- [16] 郭明权,王洁,牛铮,等.融合 MODIS 与 Landsat 数据生成高时间分辨率 Landsat 数据[J].红外与毫米波学报,2012, 31(1):80-84. [Wu M Q, W J, Niu Z, et al. A model for spatial and temporal data fusion[J]. Journal of Infrared and Millim Waves, 2012,31(1):80-84.]
- [17] Meng J H, Wu B F, Xu L M, et al. Method to construct high spatial and temporal resolution DataSet-StAVFM[J]. Journal of remote Sensing, 2011,15(1):44-59.
- [18] Gascon F, Bouzinac C, Olivier T, et al. Copernicus sentinel-2A calibration and products validation status[J]. Remote Sensing, 2013,9(6):1-81.
- [19] The Land Processes Distributed Active Archive Center. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid[EB/OL]. [2016- 12- 2]. <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>.
- [20] National Aeronautics and Space Administration.MODIS Vegetation Index User's Guide(MOD13 Series)[EB/OL]. [2015-06-03]. <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/vi.html>.
- [21] 徐涵秋.利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J].遥感学报,2005,9(5):589-594. [Xu H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index(MNDWI) [J]. Journal of Remote Sensing, 2005,9(5):589-594.]
- [22] Dong J, Wang N B, Yang X H, et al. Study on the interaction between NDVI profile and the growing status of crops [J]. Chinese Geographical Science, 2003,13(1):62-65.