

使用连续的 MODIS 遥感数据监测东亚飞蝗的发生

沈宁泽 ,倪绍祥 ,查勇

(南京师范大学地理科学学院 210097 ,江苏 南京)

[摘要] 以河北省黄骅市东北部的黄灶、南大港一带为研究区 ,基于 5 月下旬至 6 月上旬的连续 MODIS 遥感数据 ,通过数据的几何、辐射等校正 ,并使用 8 种植被指数 ,对其植被生长状况进行了监测 ,并探讨其在东亚飞蝗发生监测上的应用潜力。研究表明 ,通过 MODIS 数据的时间滤波可在一定程度上减少云层对遥感数据的影响 ,同时 ,基于经过时间滤波处理后的 MODIS 数据的植被指数 NDVI 的变化 ,可实现对研究区东亚飞蝗的发生进行监测。

[关键词] 遥感 ,监测 ,东亚飞蝗 ,MODIS ,NDVI

[中图分类号] Q968 , [文献标识码] A , [文章编号] 1001-4616(2005)02-0122-05

Monitoring Occurrence of Oriental Migratory Locust Using Successive MODIS Data

Shen Ningze , Ni Shaoxiang , Zha Yong

(School of Geographical Science , Nanjing Normal University , 210097 , Nanjing , China)

Abstract Taking the region from Huangzao to Nandagang in Huanghua County of Heibei Province , China as the study area and using the successive MODIS data from late May to early June , the potential ability of MODIS image data in the monitoring the occurrence of oriental migratory locust is investigated following the data geometric rectification and radiant correction and using eight different kinds of vegetation index to monitor the vegetation growing condition. The results show that the process of temporal filtering for MODIS data has more or less function to reduce the negative impacts of cloud on the image. In addition , it is found that based on the variations of the vegetation index NDVI derived from the MODIS image data after the temporal filtering process it is capable to realizing the monitoring the occurrence of the locusts in the study area.

Key words remote sensing , monitoring , oriental migratory locust , MODIS , NDVI

0 引言

蝗灾是一种世界性的农业生物灾害。全世界约有 1/3 的区域 ,包含近 100 个国家及地区不同程度地受到蝗灾的威胁 ,其中尤以非洲和亚洲的一些国家蝗灾发生最为频繁 ,危害也最严重。我国最早的蝗灾记载始于公元前 707 年 ,2700 多年来 ,我国已发生严重或较严重的蝗灾近 1 000 次。据考证 ,在这近 1 000 次蝗灾中 ,90% 以上是由东亚飞蝗(*Locusta migratoria manilensis* Meyen)引起的^[1]。东亚飞蝗由于其孳生区域广 ,繁殖能力强 ,成群聚集 ,食量大 ,且迁飞距离远 ,一旦暴发 ,常给农作物带来严重灾难。20 世纪 80 年代中期以来 ,由于受全球气候异常变化和生态环境恶化等影响 ,东亚飞蝗在我国再次频繁发生 ,发生区域涉及 9 个省(市)的 100 多个市县 ,农业生产受到了严重的威胁^[2]。据农业部统计 ,仅在 1995 ~ 2000 年期间 ,全国蝗虫发生面积累计就达 800 万 hm^2 。2002 年 ,东亚飞蝗孳生为害面积达 180 万 hm^2 ,涉及 14 个省(市、区) 200 多个市县。

现代卫星遥感技术为同时获取大范围区域的地物信息提供了便利。同时 ,卫星遥感数据可以周期性地重复获取地面信息 ,这为开展资源和环境的动态监测提供了可能。然而 ,由于蝗虫个体较小 ,因此难于直接从卫星遥

收稿日期 :2005-02-28.

基金项目 :国家自然科学基金资助项目(40371081) ,江苏省教育厅自然科学基金资助项目(02KJB170003)。

作者简介 :沈宁泽 ,1959— ,博士研究生 ,主要从事遥感技术及其应用的学习与研究。E-mail :znzshen@njnu.edu.cn

感图像上进行识别和监测。但是蝗虫的生长、发育与其生境(habitat)密不可分,蝗虫的发生和消长也深受其生境因素的影响。因此,通过卫星遥感技术监测蝗虫的生境,从而对蝗虫的发生、危害进行监测,已成为防治蝗虫、减轻蝗灾的一种有效方法。

由于东亚飞蝗具有迁徙力强、繁殖迅速等特点,因此要实现东亚飞蝗生境的动态监测,必须要有空间分辨率和时间分辨率都较高、而且经济上可行的卫星遥感数据做支撑。但是,目前的一般卫星遥感图像还不能提供同时满足上述所有条件的数据。例如,空间分辨率较高、时间分辨率较低的 LANDSAT/TM 数据,其星下点的地面分辨率最高为 15 m,SPOT 卫星图像的地面分辨率最高为 10 m,但由于受卫星技术参数的限制,TM 和 SPOT 图像的时间分辨率分别仅为 16 d 和 26 d。Quickbird 卫星数据的地面分辨率很高,达 0.61 m,时间分辨率为 1~3.5 d,但每景图像的价格很高,大范围地区监测耗费太大。Terra 卫星上装载的 MODIS 传感器(中分辨率成像光谱仪),尽管其地面分辨率不很高,星下点的地面分辨率仅为 0.250~1 km,但时间分辨率较高,能实现 0.5~1 d 扫描全球 1 次,而且全球都可免费接收,这为东亚飞蝗的监测提供了一定的有利条件。MODIS 传感器共有 36 个光谱通道,分布在 0.4~14 μm 的电磁波谱范围内,扫描宽度为 2 330 km^2 。其多波段数据可以同时提供反映陆地、云边界、云特性、海洋水色、浮游植物、生物地理、大气中水汽、地表温度、云顶温度、大气温度、臭氧和云顶高度等的信息,可用于对陆地表面、生物圈、固体地球、大气和海洋等进行全球观测。

在利用卫星图像进行资源环境监测,尤其是进行植被长势和生物量监测时,人们常使用遥感植被指数(vegetation index,VI)。在利用 MODIS 遥感数据进行东亚飞蝗发生及其危害的监测中,我们也可通过计算反映植被生物量的遥感植被指数,并通过正常年份的植被指数与受灾年份的植被指数的比较,间接地对蝗虫的发生和危害进行监测。其原理是,受到蝗虫危害的植被与未受蝗虫危害的植被,其光谱特征尤其是红外光谱特征有很大的不同^[4]。因此,通过监测植被指数的变化可监测植被生长状态的变化,进而达到监测蝗虫发生和危害的目的。

本文以河北省黄骅市的部分区域为研究区,利用东亚飞蝗暴发较为严重的 2002 年 5 月下旬至当地开始灭蝗前的 6 月上旬的逐日 MODIS 遥感数据,计算逐日遥感植被指数,监测植被的变化情况,并进而监测东亚飞蝗发生的动态变化。

1 研究区概况

研究区位于黄骅市东北部,地理位置在 $38^{\circ}28.00' \sim 38^{\circ}36.28' \text{N}$ 和 $117^{\circ}25.70' \sim 117^{\circ}32.71' \text{E}$ 之间(见图 1)。包括两个区域,即北面的黄灶和南面的南大港,总面积约 8 100 hm^2 。该区年平均气温 12.1°C ,一月平均气温 -4.5°C ,七月平均气温 26.4°C ,年平均降水量 657 mm,无霜期约 210 d。以低洼地形为主,最低处海拔 2.9 m,最高处海拔 5.4 m,坡度在 1/5 000 到 1/10 000 之间,区内植被 90% 以上为芦苇。

研究区为东亚飞蝗的“常发地区”,历史上经常遭受蝗灾,仅在 1991~2000 年间就发生了 6 次大规模的蝗灾。2002 年,黄骅市蝗虫成灾区域达 2.2 万 hm^2 ,蝗虫最密集区域其密度高达 8 000 头/ m^2 ,远高于国家规定的 0.5 头/ m^2 的防治标准^[5]。

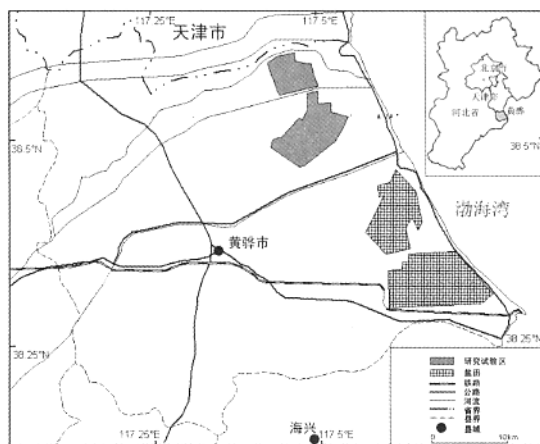


图 1 研究区位置示意图

2 研究方法

2.1 遥感数据选择

本研究选用了研究区 2002 年 5 月下旬至 6 月上旬的逐日 MODIS 数据. 选择此遥感数据的主要依据是 : (1) 2002 年是研究区蝗灾发生较为严重的一年 , 植被受蝗虫危害变化明显 (2) 5 月下旬蝗虫的幼虫(蝗蛹) 正处于 2 龄盛期至 3 龄始期 , 食量开始增大 , 植被变化在遥感图像上可得到明显反映. 而在 6 月中旬 , 一般在 6 月 10 日左右 , 当地即开始灭蝗. 根据上述情况和所获得的 MODIS 遥感数据本身的质量状况 , 我们最后选定了 5 月 23 日至 6 月 8 日之间的 MODIS 数据. 在 5 月 22 日之前和 6 月 9 日之后的几天 , 研究区 MODIS 遥感数据存在较多云层覆盖 , 故无法使用.

2.2 遥感数据处理

2.2.1 遥感数据预处理

对 MODIS 遥感数据分别进行了几何校正、大气校正及太阳高度角校正等数据校正 , 这些校正按相关方法进行 , 在此不做详细说明.

利用经过几何校正、大气校正及太阳高度角校正后的 MODIS 图像 , 分别提取出研究区范围内 MODIS 图像数据中的红色波段(R) 和近红外波段(NIR) 数值(平均值) (见表 1) .

表 1 研究区 5 月 23 日至 6 月 8 日 MODIS 图像的红色和近红外波段数值

序号	日期	NIR	R
1	5 月 23 日	0. 673 619	0. 392 847
2	5 月 24 日	0. 418 375	0. 247 869
3	5 月 25 日	0. 617 062	0. 399 046
4	5 月 26 日	0. 420 902	0. 238 972
5	5 月 27 日	0. 756 549	0. 291 942
6	5 月 28 日	0. 770 933	0. 275 165
7	5 月 29 日	0. 785 318	0. 258 388
8	5 月 30 日	0. 590 410	0. 317 526
9	5 月 31 日	0. 700 248	0. 224 512
10	6 月 1 日	0. 455 830	0. 166 476
11	6 月 2 日	0. 586 468	0. 337 772
12	6 月 3 日	0. 675 014	0. 368 932
13	6 月 4 日	0. 519 343	0. 286 112
14	6 月 5 日	0. 428 606	0. 182 432
15	6 月 6 日	0. 560 839	0. 328 873
16	6 月 7 日	0. 693 072	0. 475 314
17	6 月 8 日	0. 300 196	0. 133 326

2.2.2 时间滤波处理

在获得 MODIS 图像数据中的红色波段(R) 和近红外波段(NIR) 的数值后 , 接着又进行了数据的“ 时间滤波(temporal filtering) ”处理.

在实际的数据处理过程中我们发现 , 经过各种校正后所提取出的 R 和 NIR 数据值存在着一些不合理的差异. 具体来说 , 从理论上讲 , 植被在生长期其生物量应该是逐渐增加的 , 然而所提取的 R 和 NIR 值存在高低跳跃现象. 由于遥感图像的大气校正、辐射校正及太阳高度角校正我们是按照统一的方法进行的 , 因此出现上述现象的原因可能是遥感图像获取时天气状况不尽相同所致. 为了排除这种干扰 , 我们借用通信领域“ 时间滤波 ” 的处理方法 , 对遥感图像数据进行了“ 时间滤波 ” 处理 , 以减少外界要素(如薄云等) 的干扰 , 使 R 和 NIR 数值更趋合理.

本研究使用了以下 5 种数学模型进行遥感图像数据的时间滤波处理 :

- (1) $R'_{ii} = (R_{i-1} + R_{ii}) / 2$, 简称“ 二天均值 ”.
- (2) $R'_{ii} = \sqrt{(R_{i-1}^2 + R_{ii}^2)} / 2$, 简称“ 二天方值 ”.
- (3) $R'_{ii} = (R_{i-1} + R_{ii} + R_{i+1}) / 3$, 简称“ 三天均值 ”.
- (4) $R'_{ii} = \sqrt{(R_{i-1}^2 + R_{ii}^2 + R_{i+1}^2)} / 3$, 简称“ 三天方值 ”.
- (5) $R'_{ii} =$ 中位数(R_{i-1} , R_{ii} , R_{i+1}) , 简称“ 三天中值 ”.

式中 R'_{ii} 代表经过时间滤波后某天的 R 值 , NIR 值的处理亦相同.

2.2.3 植被指数计算

基于经过时间滤波后的红色波段(R) 和近红外波段(NIR) 数据 , 用以下 8 种模型分别计算植被指数(见表 2) , 得出各植被指数的趋势模拟模型 , 表 3 所列为 NDVI 趋势模拟模型.

由表 3 可见 , 未经时间滤波处理(原始值) 的 R 与 NIR 值所模拟出的趋势模型中 , 其相关系数的平方 R^2 值最低 , 为 0. 469 0. 但经过时间滤波处理后 R^2 值均有不同程度的增加 , 其中“ 三天方值 ” 的 R^2 值最好 , 达 0. 711 3 (图 2 为 NDVI“ 三天方值 ” 的图形) .

表 2 研究采用的植被指数模型

简称	模型	作者	年份
DVI	$NIR - R$	Richardson & Jordan	1992
RVI	NIR/R	Jordan	1969
IPVI	$NIR/(NIR + R)$	Crippen	1990
NDVI	$(NIR - R)/(NIR + R)$	Rouse	1974
SAVI	$(NIR - R)(1 + L)/(NIR + R + L)$, $L=0.25, 0.5, 0.75$	Huete	1988
RDVI	$(NIR - R)/\sqrt{NIR + R}$	Roujean & Breon	1995
MSR	$(NIR/R - 1)/\sqrt{NIR/R + 1}$	Chen	1996
MSAVI	$(2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)})/2$	Qi	1994

表 3 经过时间滤波后的 NDVI 模拟模型

	趋势模拟模型	R^2
原始值	$VI = -0.0043T^2 + 0.06570T + 0.1763$	0.4690
二天均值	$VI = -0.0041T^2 + 0.06250T + 0.1661$	0.5930
二天方值	$VI = -0.0042T^2 + 0.06560T + 0.1660$	0.5865
三天均值	$VI = -0.0038T^2 + 0.05720T + 0.2015$	0.6958
三天方值	$VI = -0.0040T^2 + 0.05820T + 0.2005$	0.7113
三天中值	$VI = -0.0041T^2 + 0.05860T + 0.2172$	0.5827

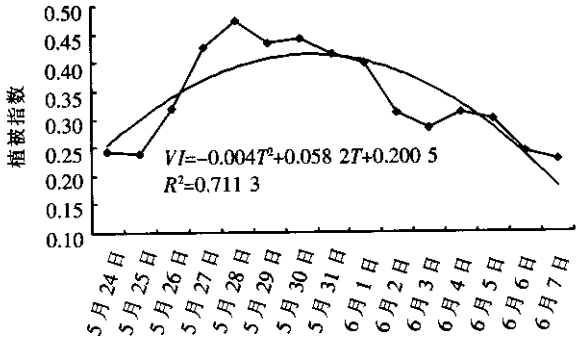


图 2 三天方值的 NDVI

MSAVI $VI = -0.0031T^2 + 0.04500T + 0.1428$ 0.6444

表 4 经“三天方值”滤波后各植被指数的趋势模拟模型

	趋势模拟模型	R^2
DVI	$VI = -0.0022T^2 + 0.03190T + 0.1082$	0.6012
RVI	$VI = -0.0181T^2 + 0.02628T + 1.4633$	0.6579
IPVI	$VI = -0.0020T^2 + 0.02910T + 0.6002$	0.7113
NDVI	$VI = -0.0040T^2 + 0.05820T + 0.2005$	0.7113
RDVI	$VI = -0.0030T^2 + 0.04300T + 0.1472$	0.6598
MSR	$VI = -0.0086T^2 + 0.12580T + 0.3065$	0.6825
SAVI_0.25	$VI = -0.0041T^2 + 0.05980T + 0.2053$	0.6802
SAVI_0.50	$VI = -0.0052T^2 + 0.04550T + 0.1559$	0.6619
SAVI_0.75	$VI = -0.0026T^2 + 0.03680T + 0.1257$	0.6502

表 4 是经“三天方值”滤波处理后各植被指数的趋势模拟模型。由表 4 可见,NDVI 和 IPVI 的 R^2 值均为 0.7113,在各植被指数中最好,基本上能够满足实际应用的需要。

3 研究结果

通过对各种植被指数的计算,我们选择了 NDVI 值做进一步分析。根据“三天方值”的 NDVI 值,得到以下以时间为变量的二次方程式:

$$VI = -0.004T^2 + 0.0582T + 0.2005 \quad (R^2 = 0.7113) \tag{1}$$

式中, T 为时间变量,为正整数。其取值范围为 1~15,即本研究的起始监测日 5 月 24 日取 1,5 月 25 日取 2,...,6 月 7 日取 15。

我们利用(1)式进行了研究区在研究时段内的 VI 值的逐日计算。结果表明,在研究时段的较早时候, VI 值呈现出缓慢上升状态,表明在此期间,研究区植被(蝗虫食料)的自然增长量超过了蝗虫对植物的消耗量。随后,蝗虫个体逐步增大和食物消耗量也随之增加,在某个时段,植被的自然增长量与蝗虫对植物的消耗量两者之间基本趋于平衡状态;在这之后,蝗虫对植物的消耗量超过了植被的自然增长量,而且随着蝗虫的不断发育,两者之间的差别日趋增大(见图 3)。

进一步研究,我们利用以下数学方程对 T 进行求导:

万方数据

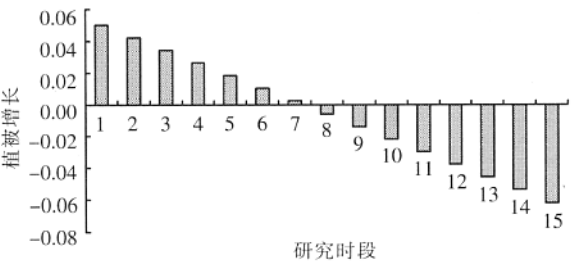


图 3 研究区 NDVI 值随时间变化的规律

$$\frac{dVI}{dT} = -0.008T + 0.0582$$

(2)

令(2)式等于0,得出 $T=7.275\text{ d}$.换言之,于5月31日,植被的自然生长量与蝗虫对植物的消耗量两者之间大致达到平衡,过了这一日期,蝗虫对植物的消耗量则超过了植被的自然生长量.

4 结论与讨论

使用某一个时段的连续MODIS遥感数据对研究区植被进行了逐日监测,表明这对东亚飞蝗危害状况的监测可起到指示作用.此外,研究还表明,对MODIS图像数据进行时间滤波处理,所获得的NDVI数据较原始数据的精度有一定程度的提高,其中“三天方值”的NDVI值较未经时间滤波处理的“原始值”的NDVI值精度提高了51.66%.此外还发现,在本研究区,蝗虫的食物消耗量与植被的自然增长量于5月31日达到平衡,在此之后,蝗虫对植物的消耗量显著地超过了植被的自然增长量.

上述研究结果与我们在野外实地调查所见是基本相符的.据黄骅市植报站提供的资料,5月下旬东亚飞蝗的蝗蝻正处于2龄盛期至3龄始期,其食量开始增大,6月上旬则为3龄盛期至4龄始期,蝗虫的食量继续增大.也就是说,在整个研究时段内,蝗虫的食量一直处于不断增加的过程中.然而,植被的自然增长量不是无限制的,到一定阶段会出现负增长情况,从图3可以看出植被的自然增长量减去蝗虫对植物的消耗量,在5月24日至5月31日之间尚有余额,而在5月31日之后,植被的自然增长量已小于蝗虫对植物的消耗量了.

图4为研究区拟合正常年份(即去除了蝗虫的影响)的植被指数NDVI与受蝗虫严重危害的2002年的植被指数的比较.由图可见,两者存在显著的差别.因此可以认为,利用连续的MODIS遥感图像,并通过计算其植被指数及其变化,可在一定程度上对东亚飞蝗的发生和危害状况进行定量监测,从而有助于对蝗情进行及时和有效的控制.

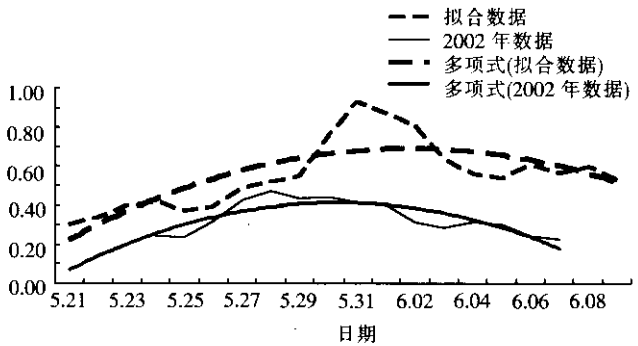


图4 拟合正常年份的NDVI数据与2002年数据比较

[参考文献]

[1] 朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[2] 陈永林. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就[J]. 昆虫知识, 2000, 37(1): 50—59.

[3] 刘闯, 葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000(3): 45—48.

[4] Jing X H, Kang L. Seasonal changes in the cold tolerance of eggs of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae)[J]. Environmental Entomology, 2004, 33(2): 113—118.

[5] 邵文杰. 久旱必有蝗 蝗情可防治[EB/OL]. <http://www.people.com.cn/GB/channel7/498/20000707/134482.html>, 2000-07-07.

[责任编辑: 丁蓉]