

利用多时相 HJ-CCD 遥感影像监测玉米粘虫灾情空间分布

杨粉团^{1,2,3}, 顾晓鹤², 李刚³, 曹庆军³, 姜晓莉³, 王纪华^{4*}

(1. 扬州大学农学院, 扬州 225009; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 3. 吉林省农业科学院, 长春 130033;
4. 北京农产品质量检测与农田环境监测技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 为了探索运用遥感技术监测玉米粘虫灾情的方法, 该文通过分析粘虫发生前期、中期和后期的多时相环境减灾卫星 CCD 影像和野外定位观测的叶片生物量数据, 计算并比较了多种植被指数与叶片生物量的相关关系, 最终构建了基于重归一化植被指数 (renormalized difference vegetation index, RDVI) 多时相的叶片生物量定量模型, 并采用野外另一组样本对监测结果进行精度验证。结果表明, 玉米叶片生物量遥感监测模型的决定系数为 0.7376, 均方根误差为 43.26g/m²。根据叶片生物量与粘虫灾害严重度的关系, 进行玉米粘虫灾情严重度及空间分布监测, 结果与当地农业部门实际调查结果基本一致。因此, 运用多时相 HJ-CCD 遥感影像可以实现玉米粘虫灾情程度及空间分布的有效监测, 为农业部门客观评价玉米粘虫灾害损失提供了方法支持。

关键词: 遥感, 监测, 虫害, 环境减灾卫星, 玉米, 粘虫

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.14.020

中图分类号: TP79; S435.13

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-14-0156-08

杨粉团, 顾晓鹤, 李刚, 等. 利用多时相 HJ-CCD 遥感影像监测玉米粘虫灾情空间分布[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 156—163.

Yang Fentuan, Gu Xiaohu, Li Gang, et al. Monitoring spatial distribution of armyworm disaster on maize with multi-temporal HJ-CCD images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 156—163. (in Chinese with English abstract)

0 引言

粘虫 (*Mythimna separata* Walker) 属于远距离迁飞性害虫, 其发生时间和为害程度受虫源基数、迁飞行为特性^[1]和迁入地生境^[2]等因素的影响。东北地区的温度条件每年发生 2~3 代。由于 2011 年粘虫越冬种群数量较大及 2012 年 7 月份多雨的气候适宜粘虫繁殖, 造成东北地区二代玉米粘虫为害面积较大, 虫害防治投入大量化学农药、机械和人力, 对环境和玉米生产造成严重威胁。

农作物病虫害测报被普遍认为是植物保护乃至农业生产的基础性工作。迁飞性害虫早期的预测预报, 主要是通过植保测报站网点数据判断害虫迁飞时间和密度, 然后结合气象数据来完成预测预报^[3], 目前植保测报站网点稀少, 人员紧张, 设备落后,

在害虫测报方面效果不突出。雷达监测迁飞群体的时空密度和迁飞方向也是迁飞性害虫预测预报的重要信息来源^[4-5], 但昆虫雷达监测成本过高, 且处理过程较为复杂。同时, 基于声音信号、图像处理和传感器技术等多源现代信息技术的应用来监测田间害虫分布也取得了阶段性进展^[6-9]。遥感技术是传统农业灾害监测的重要补充, 具有广阔的应用前景^[10]。前人用地面光谱仪对斑潜蝇^[11]和蚜虫^[12-13]等虫害进行了识别和不同胁迫间的区分; 通过地面样点调查结合高分辨率 Ikonos 数据对棉花黄萎病进行了病情严重度遥感监测^[14]; 基于光谱知识库的 TM 影像的冬小麦条锈病和全蚀病监测研究^[15-16]。前人也探索采用 LandSat TM 数据、SPOT-5 数据和 AVHRR 数据对蝗虫、松毛虫和草原鼠害等虫害进行研究^[17-22]。随着国产遥感卫星数据源的日益增多, 采用多时相光学遥感影像在虫害灾情监测上将具有广阔的应用前景和优势。通过 HJ 卫星结合地面光谱数据采集, 已进行了小麦病虫害^[23]、雹灾^[24]等农业灾害的监测和评估。

2008 年 9 月 6 日成功发射的中国具有自主知识产权的“环境与灾害监测预报 (简称‘环境减灾’) 小卫星星座系统” A、B 星。该卫星上搭载了宽波段 CCD 传感器, 传感器的空间分辨率为 30 m, 幅宽为 360 km, A、B 星并行观测时间分辨率为 2 d,

收稿日期: 2012-12-21 修订日期: 2013-06-03

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (41001199); 国家科技支撑计划 (2012BAD04B02)

作者简介: 杨粉团 (1979—), 女, 山西阳城人, 博士生, 助理研究员, 从事农业信息技术和玉米栽培研究。长春 吉林省农业科学院, 130033。Email: ychyft@126.com。

※通信作者: 王纪华 (1958—), 男, 吉林永吉人, 博士, 研究员, 主要从事农业信息技术和农产品质量安全检测技术研究。北京 北京农产品质量检测与农田环境监测技术研究中心, 100097。

Email: wangjh@nercita.org.cn。

成为遥感业务化监测灾害较为理想的数据源。本文以环境减灾卫星为数据源, 结合地面实测样本数据, 研究多时相植被指数与虫害发生程度的关系, 构建多时相重归一化植被指数的玉米叶片生物量遥感监测模型, 通过叶片生物量与粘虫为害等级的关系, 对玉米粘虫灾情程度及空间分布进行了有效的监测, 以期能及时掌握虫害空间分布、评估产量损失提供方法支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取吉林省中部的农安县、公主岭市和梨树县为研究区, 地理坐标为 $42^{\circ}9'10.45''\sim 44^{\circ}6'0.1''N$, $123^{\circ}5'40.32''\sim 125^{\circ}4'49.56''E$, 该地区处于松辽平原腹地, 地势平坦土壤肥沃, 农业发达, 主要作物为玉米, 其种植面积占耕地面积的 70% 以上, 是吉林省玉米主产区, 其次有水稻、蔬菜和少量大豆、花生。

2012 年 7 月中旬至 8 月下旬, 二代粘虫发生, 此时正值玉米灌浆期, 给玉米生产带来不利影响。据当地农业部门初步估计, 受中度虫害田可减产 20%, 受重度虫害田可减产 40%~60%。

1.2 田间样本数据获取

在二代粘虫发生后期(2012 年 8 月 18 日到 2012 年 8 月 20 日), 在研究区域内布设有代表性且空间离散的 51 个玉米样本地块(图 1), 进行田间数据采集和室内分析, 指标包括种植密度、粘虫灾情等级、单位土地面积叶片鲜/干生物量。其中随机选取 23 个作为本文训练样本, 其余 28 个为检验样本。虫害发生后, 粘虫会咬食玉米叶片, 受其生活习性决定, 玉米叶片受损位置为从基部向顶部蔓延, 综合考虑虫口密度、虫株率和严重度等农学和植保因素, 便于田间调查快速方便, 将玉米粘虫为害划分为 4 个等级: 叶片未被咬食为 0 级, 无虫害; 棒叶之下 4 片叶未受损($<30\%$ 叶片受损)为 1 级, 轻度虫害; 棒三叶未受损($\geq 30\%\sim 70\%$ 叶片受损)为 2 级, 中度虫害; 棒三叶受损($\geq 70\%\sim 100\%$ 叶片受损)为 3 级, 重度虫害。

1.3 遥感数据准备

1.3.1 遥感数据预处理

根据研究区玉米粘虫发生过程并且考虑遥感影像质量因素, 选取 2012 年 7 月 16 日(二代粘虫发生前期)、2012 年 8 月 7 日(二代粘虫发生中期)和 2012 年 8 月 22 日(二代粘虫发生后期)3 个时相的环境减灾卫星(HJ-CCD)影像作为监测粘虫灾情的数据源, 影像质量较好, 只有少量云覆盖, 做相应去云处理。在采用决策树分类法提取玉米种植面积过程中, 还采用了 2012 年 6 月 1 日和 2012

年 8 月 16 日的环境减灾卫星影像。具体详见表 1。

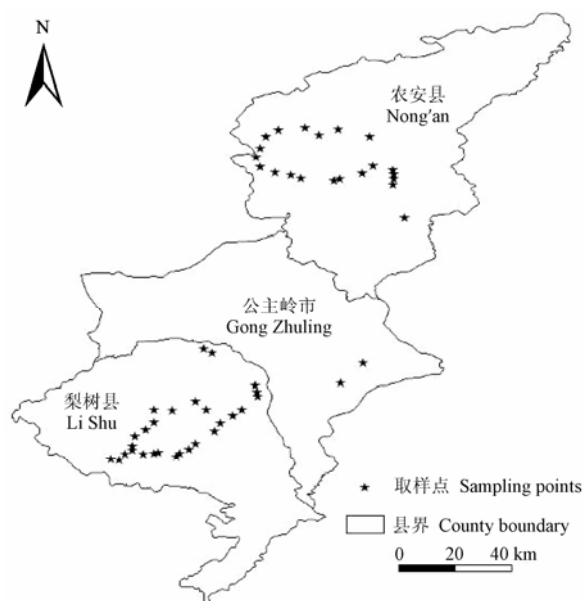


图 1 研究区的位置及取样点示意图

Fig.1 Location diagram of study area and distribution of sampling points

表 1 遥感数据

Table 1 Remote sensing images

成像时间 Scene date	轨道号 Scene path/row	卫星-传感器 Satellite-sensor
2012-06-01	449-60	HJ1B-CCD1
2012-07-16	449-60	HJ1B-CCD1
2012-08-07	450-60	HJ1B-CCD2
2012-08-16	448-60	HJ1A-CCD2
2012-08-16	447-64	HJ1A-CCD2
2012-08-22	450-60	HJ1B-CCD2
2012-08-22	444-60	HJ1B-CCD1

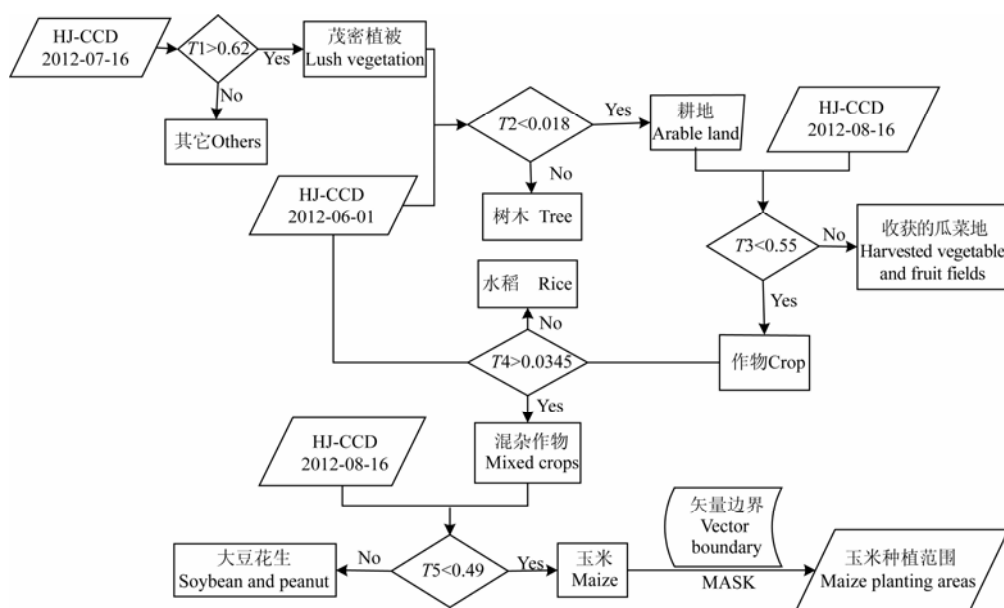
所使用的影像预处理过程为: 1) 辐射定标: 利用绝对定标增益系数和偏移量将 CCD 图像的 DN 值转换为辐亮度; 2) 大气校正: 采用 ENVI 软件 FLASSH 模块进行大气校正, 消除大气吸收、散射对地物反射率的影响; 3) 几何校正: 以一景带有准确空间位置的 TM 历史影像为基准, 在研究区内选择足够的控制点, 采用 3 次卷积内插法对影像进行几何精校正, 保证误差在 0.5 个像元之内。4) 数据镶嵌: 利用 ENVI 软件中 mosaicking 工具进行基于 pixel 的 2 景影像镶嵌。

1.3.2 玉米种植范围提取

粘虫在研究区主要危害的作物是玉米, 玉米空间分布的提取是玉米粘虫灾情监测的前提。本文采用决策树分层分类方法, 通过特征波段提取和植被指数的运用, 利用 2012 年 6 月 1 日、2012 年 7 月 16 日和 2012 年 8 月 16 日的影像数据提取研究区玉米种植范围。研究区为一季作物区, 各种作物都几

乎同时种植和生长,通过各种作物在不同物候期所表现的光谱特征差异,利用多时相遥感影像来实现

玉米空间分布的提取,最后用研究区矢量文件裁剪得到玉米种植范围。具体流程如图 2 所示。



注: T1 指HJ-CCD 2012-07-16 NDVI; T2 指HJ-CCD 2012-06-01 NDVI; T3 指HJ-CCD 2012-08-16 NDVI; T4 指HJ-CCD 2012-06-01影像的蓝光波段反射率; T5 指HJ-CCD 2012-08-16影像近红外波段反射率。

Note: T1 is NDVI value of HJ-CCD on July 7th, 2012; T2 is NDVI value of HJ-CCD on June 1st, 2012; T3 is NDVI value of HJ-CCD on August 16th, 2012; T4 is blue reflectance of HJ-CCD image on June 1st, 2012; T5 is near-infrared reflectance of HJ-CCD image on August 16th, 2012.

图 2 玉米种植范围提取流程图

Fig.2 Flow chart of extraction of maize planting areas

1.4 玉米粘虫灾情监测的遥感指标选择

粘虫灾情发生时研究区正值玉米灌浆期,生长旺盛,未受虫害的玉米叶片繁茂,在红光波段吸收率较高,而在近红外波段的反射率较高。当遭受粘虫危害后,下部叶片逐渐被咬食,造成群体结构变小,叶片生物量降低。选择与叶片生物量及覆盖度相关性较好、由红光波段和近红外波段反射率组合而成的植被指数进行玉米粘虫灾情遥感建模。从目前常用的植被指数中,选择归一化植被指数(normalized vegetation index, NDVI),差值植被指数(difference vegetation index, DVI)和重归一化植被指数(renormalized difference vegetation index, RDVI)^[24-27],作为监测玉米粘虫灾情的遥感指数。其中各指数由式(1)、式(2)、式(3)计算,如下

$$NDVI = (R_4 - R_3) / (R_4 + R_3) \quad (1)$$

$$DVI = R_4 - R_3 \quad (2)$$

$$RDVI = \sqrt{NDVI \times DVI} \quad (3)$$

式中, R_3 为红光波段反射率,即 HJ-CCD 的第 3 波段; R_4 为近红外波段反射率,即 HJ-CCD 的第 4 波段。

1.5 模型评价方法

采用模型拟合度 R^2 和均方根误差 $RMSE$ (root mean square error) 2 个指标来衡量叶片生物量监测模型的精度。 $RMSE$ 定义为

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x(i) - y(i))^2}{n}} \quad (4)$$

式中, $x(i)$ 为实测叶片生物量, g/m^2 ; $y(i)$ 为模型预测的叶片生物量, g/m^2 ; n 表示样本量。

2 结果与分析

2.1 粘虫灾情监测指标与遥感参数关系分析

鉴于在野外进行粘虫灾害分级时是根据粘虫危害玉米叶片的程度为标准来划定的,同时,叶片生物量是一个连续的变量,是农情遥感监测的重要参数之一,因此可以把叶片生物量作为粘虫灾情等级划分的中间参量来进行研究。

对这 3 个时相的 3 种植被指数与叶片生物量数据进行相关性分析,得到每个时相 3 种植被指数与叶片生物量的相关系数(表 2),可以发现 3 种植被指数与叶片生物量均呈正相关关系,即植被指数的降低均对应着叶片生物量的降低,而且在虫害发生期间随着虫害发生时间的推移,各植被指数与叶片生物量的相关系数随之增高,说明越到虫害发生后期,距离取样时间越近的时相对应的植被指数与叶片生物量间的相关系数越大。其中以 RDVI 在每个时相与叶片生物量的相关系数最大,因此确定其为用于监测叶片生物量的遥感变量。

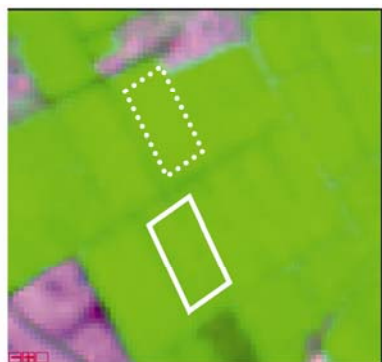
将经过预处理的遥感影像采用对绿色植被反应敏感的绿光、近红外、红光波段进行 RGB 假彩色合成, 其中植被为绿色。重度虫害点和无虫害点在发生前期 (2012 年 7 月 16 日)、中期 (2012 年 8 月 7 日) 和后期 (2012 年 8 月 22 日) 影像 (图 3) 上看, 可以看出在虫害发生后, 重度虫害点与无虫害点存在较大光谱差异, 野外实测样点不同虫害等级间 RDVI 之间差异明显, 而在虫害发生前期上述差异不明显, 通过植被指数分析来监测粘虫灾情是可行的。

表 2 不同时相的几种植被指数和叶片生物量的相关系数
Table 2 Correlation coefficient between vegetation indices and leaf biomass in different phases ($n=51$)

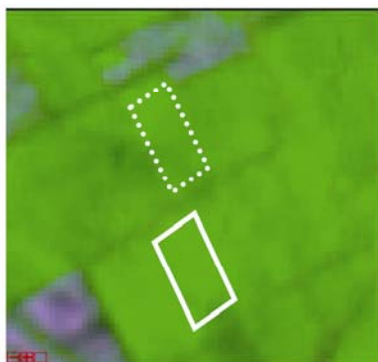
植被指数 Vegetation index	不同时相的叶片生物量 Leaf biomass in different phases		
	2012-07-16	2012-08-07	2012-08-22
NDVI	0.467**	0.526**	0.822**
DVI	0.414**	0.718**	0.823**
RDVI	0.449**	0.724**	0.835**

注: NDVI: 归一化植被指数; DVI: 差值植被指数; RDVI: 重归一化植被指数; **表示在 $p<0.01$ 水平差异显著, n 代表总样本数量。

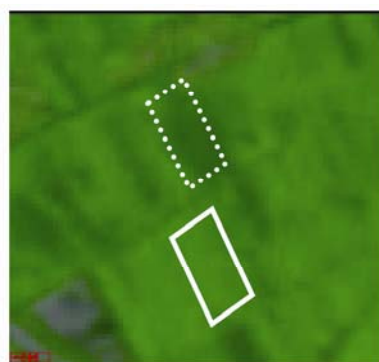
Note: NDVI: normalized vegetation index; DVI: difference vegetation index; RDVI: renormalized difference vegetation index; ** is significant differences at $p<0.01$ level, n is gross sample size.



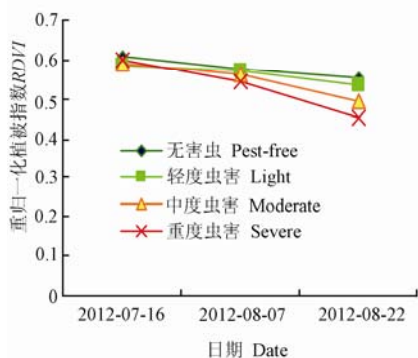
a. 2012-07-16 RGB-243影像图
a. Image on July 16, 2012(R:2,G:4,B:3)



b. 2012-08-07 RGB-243影像图
b. Image on August 7, 2012(R:2,G:4,B:3)



c. 2012-08-22 RGB-243影像图
c. Image on August 22, 2012(R:2,G:4,B:3)



d. 3时相不同虫害等级样点RDVI特征图
d. RDVI characteristics on different phase



e. 图c白色实线框地块田间照片
e. Photo in solid white rectangle of image c



f. 图c白色虚线框地块田间照片
f. Photo in dashed white rectangle of image c

注: 白色实线框内为后期重度虫害地块, 白色虚线框内为无虫害地块。

Note: Parcel damaged by pests severely was marked with solid white rectangle and the pest-free with dashed white rectangle.oto in the rectangle individually.

图 3 地面无虫害点和重度虫害点时序影像图、灾后照片及对应 RDVI 特征图

Fig.3 Series images of pest-free and damage severely site, photos after disaster and RDVI characteristics

2.2 监测模型的建立及评价

根据上述叶片生物量与虫害发生前中后期 RDVI 的相关关系, 用逐步回归法构建了多元线性模型

$$y = -424.670 - 1063.265x_1 + 954.837x_2 + 1381.504x_3 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.7813, n = 23$$

式中, y 为叶片生物量, g/m^2 ; x_1 为 2012 年 07 月 16 日 RDVI; x_2 为 2012 年 08 月 07 日 RDVI; x_3 为

2012 年 08 月 22 日 RDVI。

针对训练样本和检验样本, 将预测值与实测值进行回归分析, 构建预测值与实测值间的 1:1 关系图, 同时采用 R^2 和 $RMSE$, 对模型可信度进行评价 (图 4)。结果表明, 由模型推算得到的预测值和实测值之间呈极显著相关, 训练样本数据 R^2 为 0.7813, $RMSE$ 为 41.92 g/m^2 ; 检验样本数据 R^2 为 0.7376, $RMSE$ 为 43.26 g/m^2 , 说明用上述模型监测玉米叶片生物量是可行的, 且具有较高精度。

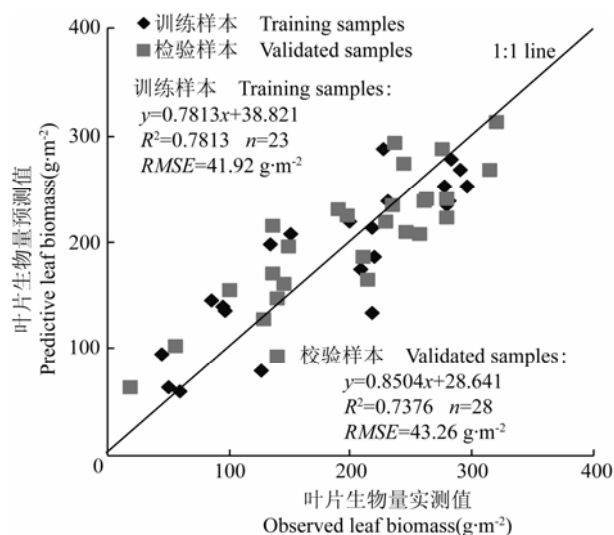


图4 玉米叶片生物量遥感监测模型评价

Fig.4 Evaluation the remote sensing model for monitoring maize leaf biomass

2.3 监测模型的应用

利用上述模型结合已提取的玉米种植范围,进行粘虫灾情发生后叶片生物量反演和制图(图5)。

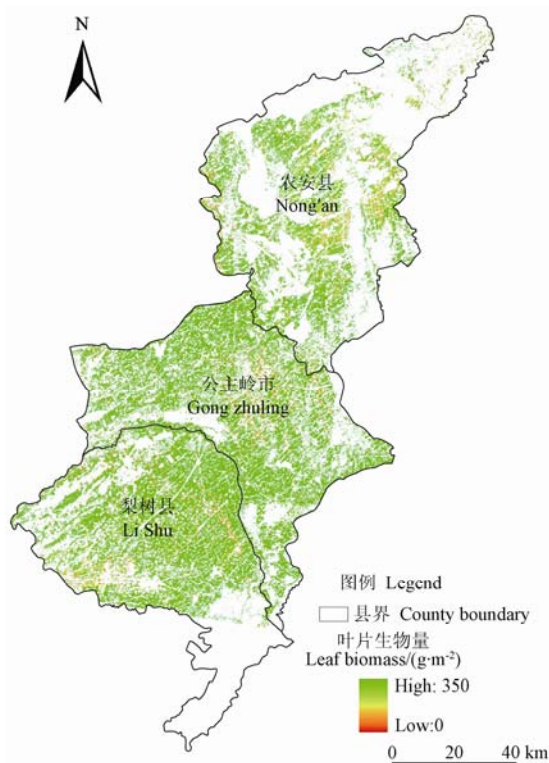


图5 粘虫灾害后基于RDVI的玉米叶片生物量制图

Fig.5 Leaf biomass thematic map after oriental armyworm disaster based on RDVI

根据野外样本虫害等级和叶片生物量的关系分析,确定以 89, 155 和 221 g/m^2 为节点将叶片生物量 y 分为 4 个级别,分别对应粘虫灾情等级: y

≥ 221 为无虫害、 $155 \leq y < 221$ 为轻度虫害、 $89 \leq y < 155$ 为中度虫害、 $y < 89$ 为重度虫害,制作了玉米粘虫灾情等级空间分布图(图6)。

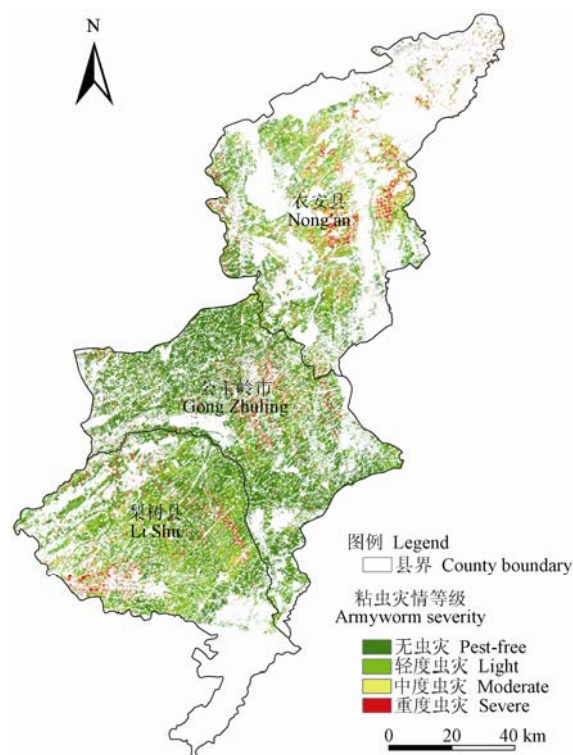


图6 研究区玉米粘虫灾情空间分布图

Fig.6 Spatial distribution map of maize oriental armyworm disaster in research area

图6的遥感监测结果表明,研究区2012年玉米粘虫重度虫害范围主要是零星分布。从县域上看,农安县最为严重,梨树县和公主岭市次之。通过统计分析各虫害等级的玉米分布面积比例可知,3县市无虫害的玉米面积占总玉米面积的39.23%,轻度虫害所占比例为38.47%,中度虫害所占比例为13.37%,重度虫害所占比例为8.93%,该空间分布结果与野外信息采集时观测到的虫害情况基本一致。

3 讨论

粘虫在幼虫早期低龄阶段,食量小,为害玉米后在冠层顶部不易觉察,到5~6龄时候,食量骤增会暴食玉米叶片;此外,粘虫的生活习性决定为害从基部开始,玉米植株高大,叶片繁茂,为害较轻或为害早期从遥感影像上不易分辨。图4中2012年7月16日遥感影像无虫害点和重度虫害点之间差异小。文中所用地面叶片生物量数据获取时间为2012年8月18日到2012年8月20日,从表2的分析中可以看出,地面调查日期与所用影像时间距离越近,叶片生物量和植被指数的相关系数越高。在监测期间玉米处于抽雄期到乳熟期的生育阶段,

叶片发育成熟, 同一块玉米田叶片生物量除了受病虫害危害不会有大的变化。应用 2012 年 7 月 16 日和 2012 年 8 月 7 日的遥感影像数据时, 由于未获取同步或准同步的地面数据, 不能单独用来反演叶片生物量。在以后的研究中, 应在灾害发生的前期、中期和后期同步或准同步进行地面数据的采集, 进一步提高灾害过程实时监测的准确性和时效性。同时还可以设置地面模拟试验进行多光谱的采集和分析, 加强基于叶片生物量模型的反演机理研究和精度提高。

粘虫危害的特点是害虫咬噬绿色叶片致使叶片生物量降低, 遥感监测粘虫灾害的指标选择以叶片生物量为宜, 可以区别与其他干旱、涝渍或后期缺肥早衰导致的群体褪绿或长势变弱的灾害, 后者灾害主要以考察群体色素含量变化为主。本文选用的遥感指标 RDVI 与叶片生物量的相关系数最高, 与雹灾的监测^[24]有一定的相似之处, 这 2 种灾害都是基于叶片生物量减少的灾害。

在野外考察的过程中, 发现研究区农安县少量地块玉米大斑病发病较重, 在监测结果中农安县的中度和重度虫灾等级面积较大会包括一部分大斑病发病较重的地块。多源数据包括雷达影像、高分辨率影像、GIS 数据和地面数据的综合应用可以提高灾害监测的准确性^[28-29], 但不能满足灾害监测成本和时效性的需求。因此, 如何应用现有的国内用户免费的环境星影像数据, 加强玉米各生育阶段叶片生物量监测模型的研究, 在发生虫害前期及早进行监测灾害是下一步研究工作的重点。

4 结 论

本文利用研究区 2012 年玉米二代粘虫发生的前期 (2012 年 7 月 16 日)、中期 (2012 年 8 月 7 日) 和后期 (2012 年 8 月 22 日) 的 3 景 HJ-CCD 影像, 结合野外样本信息, 研究玉米粘虫灾情等级及空间分布, 主要结论如下:

1) 选择的 RDVI 指标可作为遥感参量很好地表征玉米遭受粘虫灾害后叶片被咬食的程度。

2) 建立了基于多时相 RDVI 的玉米叶片生物量监测模型, 模型的决定系数 R^2 为 0.7376, RMSE 为 43.26 g/m², 并通过叶片生物量与粘虫灾情的转换关系, 实现研究区玉米粘虫灾情的空间分布监测。

3) 本文所使用的环境减灾卫星影像由 2 台 CCD 组网, 重访周期短 (2 d), 数据覆盖范围大 (单台 CCD 幅宽为 360 km), 空间分辨率高 (30 m) 等优点可满足爆发性虫害发生监测的成本和时间的需求。

[参 考 文 献]

- [1] 王玉正, 张孝羲. 粘虫(*Mythimna separata* Walker)迁飞行为研究[J]. 生态学报, 2001, 21(5): 772—779.
Wang Yuzheng, Zhang Xiaoxi. Studies on the migratory behaviors of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(5): 772—779. (in Chinese with English abstract)
- [2] Holly K Ober, John P Hayes. Influence of forest riparian vegetation on abundance and biomass of nocturnal flying insects[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 256(5): 1124—1132.
- [3] 孙雅杰, 郭明智, 高月波, 等. 吉林省春季粘虫发生预测模式研究[J]. 吉林农业科学, 2003, 28(1): 23—26.
Sun Yajie, Guo Mingzhi, Gao Yuebo, et al. Study on forecast models of the spring generation oriental armyworm in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2003, 28(1): 23—26. (in Chinese with English abstract)
- [4] Riley J R, Smith A D. Design considerations for an harmonic radar to investigate the flight of insects at low altitude[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 35(2/3): 151—169.
- [5] Cheng D F, Wu K M, Tian Z, et al. Acquisition and analysis of migration data from the digitized display of a scanning entomological radar[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 35(2/3): 63—75.
- [6] Reynolds D R, Riley J R. Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: A survey of existing and potential techniques[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 35(2): 271—307.
- [7] 吕昭智, 沈佐锐, 程登发, 等. 现代信息技术在害虫种群密度监测中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 112—115.
Lü Zhaozhi, Shen Zuorui, Cheng Dengfa, et al. Application of information technologies in monitoring the population density of pests[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2005, 21(12): 112—115. (in Chinese with English abstract)
- [8] 卢辉, 韩建国, 张录达. 光谱分析技术在蝗虫监测中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(12): 2808—2811.
Lu Hui, Han Jianguo, Zhang Luda. Applications of spectral analysis technique to monitoring grasshoppers[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(12): 2808—2811. (in Chinese with English abstract)
- [9] 周志艳, 罗锡文, 张扬, 等. 农作物虫害的机器检测与监测技术研究进展[J]. 昆虫学报, 2010, 53(1): 98—109.
Zhou Zhiyan, Luo Xiwen, Zhang Yang, et al. Machine-based technologies for detecting and monitoring insect pests of crop: A review[J]. Acta Entomologica Sinica, 2010, 53(1): 98—109. (In Chinese with English abstract)
- [10] 闫峰, 李茂松, 王艳娇, 等. 遥感技术在农业灾害监测中的应用[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 131—136.
Yan Feng, Li Maosong, Wang Yanjiao, et al. Application of remote sensing technique to monitor agricultural

- disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6): 131—136. (In Chinese with English abstract)
- [11] 吴达科, 马承伟, 杜尚丰. 斑潜蝇虫害叶片受害程度对其近红外反射光谱的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 156—159.
Wu Keda, Ma Chengwei, Du Shangfeng. Influences of different damaged degrees of leafminer-infected leaves on the near-infrared spectral reflectance[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2007, 23(2): 156—159. (In Chinese with English abstract)
- [12] Yang Z, Rao M N, Elliott N C, et al. Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 67(1): 64—70.
- [13] Georges F Backoulou, Norman C Elliott, Kristopher Giles, et al. Spatially discriminating Russian wheat aphid induced plant stress from other wheat stressing factors[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 78(2): 123—129.
- [14] 竞霞, 黄文江, 琚存勇, 等. 基于 PLS 算法的棉花黄萎病高空间分辨率遥感监测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 229—235.
Jing Xia, Huang Wenjiang, Ju Cunyong, et al. Remote sensing monitoring severity level of cotton verticillium wilt based on partial least squares regressive analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2010, 26(8): 229—235. (In Chinese with English abstract)
- [15] 张竞成, 李建元, 杨贵军, 等. 基于光谱知识库的 TM 影像冬小麦条锈病监测研究[J]. 光谱学和光谱分析, 2010, 30(6): 1579—1585.
Zhang Jingcheng, Li Jianyuan, Yang Guijun, et al. Monitoring of winter wheat stripe rust based on the spectral knowledge base for TM images[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(6): 1579—1585. (In Chinese with English abstract)
- [16] 乔红波, 马新明, 程登发, 等. 基于 TM 影像的小麦全蚀病危害信息提取[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(4): 716—720.
Qiao Hongbo, Ma Xinming, Cheng Dengfa, et al. Detecting infestation of take-all disease in winter wheat using TM image[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(4): 716—720. (In Chinese with English abstract)
- [17] 刘志明, 晏明, 张旭东, 等. 用气象卫星监测大范围森林虫害方法研究[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 109—114.
Liu Zhiming, Yan Ming, Zhang Xudong, et al. Methodical study on monitoring wide-range forest insect pest by meteorsat[J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(3): 109—114. (In Chinese with English abstract)
- [18] 张洪亮, 倪绍祥. 草地蝗虫发生遥感监测的一种新算法[J]. 遥感学报, 2003, 7(6): 504—508.
Zhang Hongliang, Ni Shaoxiang. A new algorithm for grasshopper outbreak monitoring from landsat-TM imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(6): 504—508. (In Chinese with English abstract)
- [19] Ji R, Xie B Y, Li D M, et al. Use of MODIS data to monitor the oriental migratory locust plague[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 104(3): 615—620.
- [20] 武红敢, 石进. 松毛虫灾害的 TM 影像监测技术[J]. 遥感学报, 2004, 8(2): 172—177.
Wu Honggan, Shi Jin. Monitoring technique of pine caterpillars with TM image[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(2): 172—177. (In Chinese with English abstract)
- [21] Lars Eklundh, Thomas Johansson, Svein Solberg. Mapping insect defoliation in Scots pine with MODIS time-series data[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(7): 1566—1573.
- [22] 元兴兰, 胡宗庆, 刘健, 等. 基于光谱特征的 SPOT-5 影像马尾松毛虫虫害信息提取[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(5): 131—133, 136.
Qi Xinglan, Hu Zongqing, Liu Jian, et al. Information extraction of dendrolimus punctatus damage from SPOT-5 image based on spectral features[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(5): 131—133, 136. (In Chinese with English abstract)
- [23] 冯炼, 吴玮, 陈晓玲, 等. 基于 HJ 卫星 CCD 数据的冬小麦病虫害面积监测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 213—219.
Feng Lian, Wu Wei, Chen Xiaoling, et al. Diseases and insect pests area monitoring for winter wheat based on HJ-CCD imagery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2010, 26(7): 213—219. (In Chinese with English abstract)
- [24] 李娜, 刘焕军, 黄文江, 等. 基于 HJ-1A/1B CCD 数据的雹灾监测与评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 237—243.
Li Na, Liu Huanjun, Huang Wenjiang, et al. Hail monitoring and evaluation by remote sensing based on HJ-1A/1B CCD[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2011, 27(5): 237—243. (In Chinese with English abstract)
- [25] Roujean J L, Broen F M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(3): 375—384.
- [26] 代良朋, 尹林克, 王雷涛. 基于 RDVI 的尉犁绿洲植被覆盖动态变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(6): 66—71.
Yi Liangpeng, Yin Linke, Wang Leitao. Study on dynamic change of yuli Oasis plant cover based on RDVI[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004, 18(6): 66—71. (In Chinese with English abstract)
- [27] 吴彤, 倪绍祥, 李云梅, 等. 基于植被信息遥感反演的东亚飞蝗监测研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(2): 25—29.
Wu Tong, Ni Shaoxiang, Li Yunmei, et al. Research on the monitoring oriental migratory locust based on remote sensing retrieval of vegetation information[J]. Geography and Geo-Information Science, 2006, 22(2): 25—29. (In Chinese with English abstract)

- [28] G Nádor, D Fényes, Gy Surel, et al. Monitoring of Maize Damage Caused by Western Corn Rootworm by Remote Sensing[C]// Remote Sensing for a Changing Europe: Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Istanbul, Turkey, 2008: 255–262.
- [29] 宫彦萍, 黄文江, 王纪华, 等. 集成 GIS 和 RS 技术的作物病虫害监测预报研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 2): 331–336.
- Gong Yanping, Huang Wenjiang, Wang Jihua, et al. Progress and application of integrating GIS and RS technology to monitor and forecast crop diseases and pests[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2008, 24(Supp. 2): 331–336. (in Chinese with English abstract)

Monitoring spatial distribution of armyworm disaster on maize with multi-temporal HJ-CCD images

Yang Fentuan^{1,2,3}, Gu Xiaohe², Li Gang³, Cao Qingjun³, Jiang Xiaoli³, Wang Jihua^{4*}

(1. College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Beijing Research Center For Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China; 3. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 4. Beijing Research Center for Agri-food Testing and Farmland Monitoring, Beijing 100097, China)

Abstract: Insect infestation is one of the major biological disasters in crop production. To identify an insect-damaged area and to obtain its spatial distribution are important for agricultural disaster monitoring. These data are usually obtained through field investigation, collation, and summary. As an alternative, the remote sensing of insect infestation has advantages of large range, time savings, labor savings, and high speed. In summer of 2012, an outbreak of oriental armyworm (*Mythimna separata* Walker) occurred in a vast area of northeast China. In order to examine the potential of remote sensing technique in monitoring such a migratory, fulminant, and devastating agricultural pest, several data processing and analysis procedures were carried out to assess the spatial distribution of oriental armyworm and its severity level, as follows. 1) Cornfield acreage was extracted in the study area using a decision tree classifier based on NDVI and single-band reflectance that was derived from multi-temporal HJ-1A/1B CCD images over the growing season of maize. 2) Based on field measurements, the pest severity level was associated with leaf biomass from several ground agronomic parameters; the aim was to find a certain remote sensing variable and its quantitative model with the ground agronomic parameter to monitor the oriental armyworm disaster severity level. 3) The relationship between vegetation indices that were derived from three temporal HJ-CCD satellite images on three different phases and agronomic parameters were established based on numerical analysis. 4) Using the relationship between agronomic parameters and oriental armyworm disaster severity level, it is possible to use remote sensing data to obtain the spatial distribution of oriental armyworm. The results showed that the leaf biomass was significantly correlated with oriental armyworm severity level ($R^2=0.905$, $n=51$). Therefore, it is feasible to use leaf biomass as a surrogate of the hazard grade of oriental armyworm. The dynamical variation of the leaf biomass can be detected by the renormalized difference vegetation index (RDVI), which thus allows the remote sensing of this important agronomic parameter. A regression model was calibrated and validated against ground survey points. The determination coefficient (R^2) of leaf biomass estimation and the root mean square error (RMSE) of the model achieved 0.7376 and 43.26 g·m⁻², respectively. Based on this relationship, the oriental armyworm severity map was thus generated in the study area, which was in good agreement with our field observation. In conclusion, the present study illustrated the potential to use multi-temporal HJ-CCD images for monitoring maize oriental armyworm over vast area. Such a method may provide an opportunity to conduct yield loss assessments in a spatially continuous manner.

Key words: remote sensing, monitoring, pest control, HJ-CCD, maize, oriental armyworm

(责任编辑: 张俊芳)