

遥感与 GIS 在蝗虫生境研究中的应用进展

陈健, 王秀君

南京信息工程大学遥感学院, 江苏 南京 210044

摘要: 蝗虫生境是蝗虫赖以生活、生存的环境。利用遥感技术获取与蝗虫密切相关的各种生境因子, 并结合 GIS 技术研究和阐明蝗虫的生境因子对东亚飞蝗的产卵、孵化、成虫、迁飞等生育周期的影响机理, 是实现蝗虫监测、预测预警的基础。文章首先分析了各种蝗虫生境因子对蝗虫发生的影响机理, 认为这些生境因子对蝗灾发生的影响不是孤立地起作用的, 仅靠单个生境因子进行蝗灾的预测是不全面的, 而遥感和 GIS 技术方便的获取、管理和分析多种生境因子数据, 在大尺度蝗灾发生监测和预警中起到不可替代的作用。通过对遥感与 GIS 在蝗虫的不同发育阶段(蝗卵发育阶段、蝗蛹发育阶段和成虫阶段)的应用及其进展的分析, 认为对蝗虫不同生育阶段的遥感监测需采用不同的参数和技术才能达到更好的效果, 最后提出了遥感与 GIS 在蝗虫生境监测方面的未来发展方向。

关键词: 蝗虫; 生境; 遥感; 地理信息系统; 监测

中图分类号: P208

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 05-0970-07

蝗灾属于暴发性和毁灭性的生物灾害, 严重地影响着人民的生产、生活甚至生存, 在我国历史上, 蝗灾与水灾、旱灾并称三大自然灾害^[1]。近年来, 蝗灾在我国一些地方常有暴发, 并造成严重危害。迄今已在蝗灾的发生和防治上进行了大量研究, 而且已取得了许多成效^[2], 但由于蝗虫的地理分布范围十分广泛, 蝗虫的发生又有许多不确定因素, 因此, 通过有效方法开展蝗灾的发生和成灾规律的研究, 实现对蝗灾的发生进行监测和预测已变得越来越重要。

现代卫星遥感技术以其大面积、动态实时、周期性观测等特点, 为蝗虫灾害的监测提供了可能及便利。由于蝗虫个体小, 不可能从遥感图像上直接对它们进行监测, 因此对蝗虫的遥感监测几乎无一例外地都采用间接监测方法, 即通过对蝗虫所栖息生境的监测去实现对蝗虫发生地点的评估^[3]。因此, 如何利用遥感获取与蝗虫密切相关的各种生境因子, 并结合 GIS 技术研究和阐明蝗虫的生境因子对东亚飞蝗的产卵、孵化、成虫、迁飞等生育周期的影响机理, 是实现蝗虫预测预警的基础与前提。国内外的研究也都表明^[4-6], 为了有效地对蝗虫进行预测预警和防治, 应开展蝗虫与其生境因子关系机理的深入研究, 以阐明蝗虫发生的内、外部影响因子的作用机理。

因此, 借助遥感、地理信息系统(GIS)等先进技术及数量分析方法, 研究蝗虫和影响其发生的生态环境因子之间相互关系机理, 并进而进行蝗虫的监测与预报, 已成为一项刻不容缓的任务。本文

在从各种蝗虫生境因子对蝗虫的影响机理方面进行了分析, 对遥感与 GIS 在蝗虫的不同发育阶段(蝗卵发育阶段、蝗蛹发育阶段和成虫阶段)的应用及其进展进行了综述, 并分析了遥感与 GIS 在蝗虫生境监测的未来发展趋势。

1 蝗虫生境的研究进展

影响蝗虫发生的生境因子很多, 概括起来可以分为 6 类: 气候、地形、植被、土壤、人类活动和蝗虫的天敌。它们的影响方式和影响程度是不同的, 如蝗虫的世代和分布的南北界主要受到温度和降雨量的影响, 蝗卵发育会受到土壤水分和土壤温度的影响, 蝗虫的取食与植被的类型有关, 蝗虫的空间分布受到盖度与地形的影响, 蝗虫发生的数量受到人类活动和天敌数量的制约等。下面从不同生境因子对蝗虫的影响方面进行阐述。

1.1 气候因子

气候因子主要包括气温、降水、湿度、蒸发、风向、风力、日照等, 其中, 对蝗虫有较明显和最直接影响的主要是气温和降水。气候因子在蝗虫的地理分布、一年内发生代数、发生程度、发生日期、龄期长度、迁飞路径和迁飞时间等方面都有着重要的影响。研究表明^[7], 温度是蝗虫发育的制约因子之一, 如东亚飞蝗蝗卵的起点发育温度为 15℃, 蝗蛹的起点发育温度为 20℃, 成虫的适宜发育温度为 25~40℃, 最适发育温度为 28~34℃。因此, 温度是影响蝗虫地理分布的关键因素, 如东亚飞蝗分布的北界受低温的影响, 在日平均温度-10℃以下超过 20 d 的地区或-15℃以下超过 5 d 的地区,

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901239)

作者简介: 陈健(1978年生), 男, 博士, 教授, 研究方向为定量遥感、遥感与 GIS 应用。E-mail: chjnju@163.com

收稿日期: 2012-03-01

东亚飞蝗蝗卵均不能安全越冬。马世骏等还根据研究区域的气候特征(近地面气温、土温、气湿、土湿)及东亚飞蝗完成一代繁衍所需积温的计算,预测了东亚飞蝗的发生代数 and 发生时期^[7]。另外,由于环境温度影响蝗虫体内各种酶的活力,因此对蝗虫的食量也有一定影响,如在内蒙古锡林郭勒益拉乌和地区,日均温低于 7℃时狭翅雏蝗的食量较小(20 mg),而当日均温达到 15℃时其食量最大(35 mg),且趋于稳定。

降水量的多少也是影响蝗虫发生数量及其发生地的扩展或缩小的重要因素。降水量多时低温多湿的生境对蝗虫发育直接起着延缓和抑制作用,并间接有利于某些病菌的繁殖,从而可降低虫口密度;并且强度大的降水对幼蛹及在蜕皮的蛹或成虫有显著的机械杀伤作用。在河泛蝗区和滨湖蝗区,降水量过大还可造成产地及湖泊水位的提高,从而也可淹没一部分有卵地区并会增多蝗卵死亡率^[9]。任春光、石瑞香等^[10-11]对白洋淀东亚飞蝗持续大发生的原因分析时均发现,降雨量的多少和白洋淀水位的高低与东亚飞蝗的大发生有密切关系;L. R. Powell, 邓自旺, 孔海江等^[12-14]的研究均表明,特定月份的气温和降水与当地蝗虫发生有着密切的关系。

除了温度与降水量以外,其他气候因子的作用也不可忽视。如东亚飞蝗蝗蛹的迁移方向,直接向着光源,蝗蛹聚集的场所也是随光源而转移^[15]。Matthias W. Lorenz 等^[16]认为沙漠蝗虫的迁飞不仅与蝗虫的生活习性有关,受气候尤其风的影响显著。

1.2 地形

地形包括地貌类型、海拔高度、坡度和坡向等,它们对蝗虫的分布和密度也有重要影响,但这种影响是通过其对温度、降水和光照等的重新分配而表现出来的。张洪亮等^[17]在青海湖的研究指出,在海拔 3 210~3 250 m 之间的Ⅱ级湖成阶地及海拔 3 300~3 600 m 之间的构造台地,因地势较高、表面较平坦、光照充足、冬季积雪相对较厚、春季地温回升较快,有利于蝗卵孵化和蝗蛹繁育。至于海拔 3 500 m 以上的中、高山地,因地势较高、气温较低,加上湿度较大,不利于草地蝗虫的生长和繁育。邱式邦等^[18]对东亚飞蝗研究表明,地形高起的地区,蝗卵发育快;低洼地区,蝗卵发育缓慢。巩爱歧、Lockwood 等^[19-20]的研究也均指出,山前缓坡地带更容易成为草地蝗虫的高密度发生区,其原因可能仍然是气温和水分状况综合作用的结果。

1.3 植被因子

植被是蝗虫食物的直接来源和栖息场所,因此

植被对蝗虫的分布和数量有重要影响^[21],在这方面国内外已有很多研究。如 Anderson, 康乐, 吴亚等^[22-25]的研究均指出植被的种类和群落结构对蝗虫的生境选择起重要作用,植物群落的空间结构越复杂,就能为更多的蝗虫提供更多样的生活空间和食物来源。根据在我国洪泽湖和微山湖等东亚飞蝗的发生基地的调查和观察及实验结果,如东亚飞蝗的食料植物有 20 余种,主要取食禾本科、莎草科植物,不喜食的有经济价值的作物有大豆、豌豆、花生、棉花等 27 种。东亚飞蝗一生取食新鲜芦苇总食量约 60 g,蛹期消耗 9 g;而取食干物质则蛹期为 3 g 左右,成虫期为 17.5 g^[2,7,15]。

除了植被类型外,植被盖度也是影响蝗虫生活习性的一个重要因子。植被盖度是指植被的垂直投影面积与地表面积的百分比,它反映植被的茂密程度以及绿色植物利用太阳能进行光合作用的面积,是草地植被的重要分析指标。植被盖度主要影响蝗虫的栖息环境,一般来说,盖度过大,遮蔽阳光,近地面气温较低,蝗虫的取食和活动受到限制,同时对蝗虫的产卵也有不利影响;反之,植被盖度过小,近地面气温较高,虽有利于蝗虫活动,但因可提供的食料不充分,而且缺乏理想的庇护场所,同样不利于蝗虫的生存^[3]。

1.4 土壤因子

影响蝗虫生长发育的土壤理化性质,主要有土壤质地、土壤温度、土壤水分、PH 值、含盐量等。对于蝗虫而言,土壤质地即土壤颗粒大小的组成,主要影响蝗虫产卵的难易,土壤质地过沙或过黏均不利于蝗虫产卵。此外,土壤质地还通过影响土壤温度与土壤水分含量间接地对蝗卵的生长发育施加影响。一般而言,沙性土壤不能提供蝗卵保存和成活所必需的水分;但如土壤过黏,则不利于土温的升高,从而影响蝗卵的孵化^[3]。土温对蝗卵发育的影响是很复杂的。例如,据前美国蝗虫生态学家 Lockwood 等^[26]在美国西部大草原地区的研究,发现如果在晚秋季节土温较高,会促使蝗卵提前进入发育阶段;如果在随后的冬春季节土温比正常年份过于偏低,那些提前进入发育阶段的蝗卵有可能会受到损害甚至死亡。

蝗卵在发育过程中也必须有适量的土壤水分含量,如果土壤含水量过高或过低,即土壤过于潮湿或过于干燥,都会对蝗卵的正常发育带来不利影响。据尤其傲等^[15]研究,东亚飞蝗产卵的最适宜土壤含水量,粘土为 18%~20%,壤土为 15%~18%,持水力最差的沙土低至 10%仍属适宜范围。另外,土壤含盐量也是蝗虫发生的重要制约因素。对我国蝗区的调查表明:土壤含盐量在 0.5%以下的地区是

东亚飞蝗的常年发生区,其产卵的最低含盐量临界值为0.3%;含盐量在0.7%~1.2%的地区是其扩散区或轮生区;含盐量在1.2%~2.5%的地区则无此虫分布^[15]。

1.5 蝗虫的天敌

天敌是制约蝗虫发生和消长的重要生物因素,天敌的种类和数量影响到蝗虫各期的死亡率。自然界里蝗虫类的天敌有蛙类、蜥蜴、壁虎、鸟类、禽类、昆虫、螨类、真菌、微孢子虫等。生态地理条件不同,引发蝗灾的蝗虫优势种类及在不同自然条件下分布的蝗虫种类不同。马世骏^[7]对1953—1956年黄淮平原东亚飞蝗死亡率统计表明,3 a内黄淮地区天敌对飞蝗大发生所起的抑制作用几乎与气候因素相等,差别在于3 a内气候波动比较大,对飞蝗所起的作用变动大,天敌作用变动小。

1.6 人类活动

人类活动是影响蝗虫发生和消长的极其重要的因素。与蝗虫发生相关的人类活动主要有对蝗虫的治理、土地利用方式、兴修水利等,它们对蝗虫的发生有着直接或间接的影响。如建国初期,我国对飞蝗的治理经历了人工捕打为主与化学防治及蝗区改造为主的两个时期,并提出了“改治并举,根除蝗害”的治蝗方针,并取得了举世瞩目的成就^[2]。

土地利用方式的改变会直接影响蝗虫的发生。通过垦荒,会直接破坏蝗卵着生的环境,例如在19世纪后期的美国西部的落基山脉地区,几乎年年肆虐的蝗灾突然消失^[27],经研究发现其主要原因是通过垦荒翻耕草地,并引水灌溉这些翻耕过的草地,结果造成蝗卵大量死亡。另一方面,人类活动的影响也会造成新的蝗区,如在放牧过度的草地,因草地退化,常常成为草地蝗虫发生的重要场所;近年来在我国一些河滩地区部分农田也逐渐沦为荒地,形成蝗虫新的孳生区。

虽然人类活动对蝗虫的发生起着至关重要的作用,但究其原因,除了利用农药直接杀死蝗虫外,更多的方法仍然是通过改变蝗虫的生境(如土壤水分、土壤质地、植被类型等)进而间接影响蝗虫或蝗卵的数量,因此人类活动与蝗虫发生的关系仍然带有一定的随机性和突然性。

以上讨论了蝗虫生境因子与蝗虫发生的关系,应指出的是,这些生境因子对蝗虫发生的影响不是孤立地起作用的,而是综合起作用的。利用多源遥感数据可以迅速获取其他的观测手段所难以获得的连续、实时的主要生境因子的定性或定量观测数据,在此基础上利用GIS技术进行各种资料、数据的空间分析,为全面揭示蝗虫不同发育阶段生境因

子及其与蝗虫发生关系机理、进行蝗虫的监测和预测提供的先进的技术手段。

2 遥感与GIS技术在蝗虫不同生育周期中的应用

由于蝗虫一生中的存在形式不同,不同阶段受到的不同生境因子的影响程度也不同,因此在不同的发育阶段,遥感与GIS技术的研究重点也不同,下面围绕虫卵发育与孵化阶段、蝗蛹发育阶段和成虫阶段3个不同的生育阶段展开阐述。

2.1 虫卵发育与孵化阶段

在蝗虫的一个世代中,卵期是唯一静止的虫态,蝗卵被产入土中,自身无躲避不良环境的能力,因此与环境因素的关系也更为密切。在该期间,蝗卵的发育主要受到土壤条件——尤其是土壤水分、温度、盐分、PH值、颗粒度等的影响。昆虫学家已经在研究蝗卵发育与土壤条件的关系方面做了大量的工作,并且得到了许多有价值的规律^[28-33]。但这些研究主要是基于实验室或少量野外观测数据进行的,对于植保人员和蝗虫防治人员来说,更重要的是如何快速确定哪些区域的土壤条件更适合蝗卵的生存和发育。

因此,在以上研究的基础上,有的学者利用GIS和遥感技术,分析蝗卵的空间分布规律及与土壤参数的关系。季荣等^[34-37]对河北省黄骅市的南大港蝗区连续两年实地调查的基础上,利用GIS和地统计学理论系统研究了卵块空间分布格局、影响卵块空间分布格局的土壤空间异质性、飞蝗产卵选择的适应性及产卵场所选择的预测模型。刘振波等^[38]以位于河北省黄骅市境内的3个重点蝗区——黄灶、杨官庄和滕南大洼为监测样区,利用高时间分辨率MODIS遥感影像数据,分别提取2002年(东亚飞蝗大发生年)秋蝗产卵期到夏蝗孵化期间的土壤湿度信息以及2004年(东亚飞蝗轻为害年)相同时段的土壤湿度信息,发现蝗灾大爆发年份的土壤湿度明显低于轻发生年份,在秋蝗的产卵期(9—10月)和夏蝗的孵化期(3—5月)差异尤为明显。这些研究不仅对快速定位蝗虫孳生地、实时掌握蝗卵发育进程、及时进行早期点、片防治很重要,而且还可通过遥感技术预测飞蝗适宜的产卵场所,进而实现蝗灾早期预警。

除了土壤的理化性质外,土地利用方式对蝗卵的孵化也有着重要的影响,如翻耕地中土壤的存活率显著降低。田方文等探讨了耕翻土壤对虫卵孵化的影响,指出经过耕翻耙磨土壤后,东亚飞蝗蝗卵能够正常出土的仅占6.1%^[39]。美国洛基山脉飞蝗的灭绝也是由于美国西西部大开发中,土地利用方式的改变造成的。因此通过遥感技术对土地利用方

式的调查,我们也有可能从对蝗虫生境的适宜性进行评价,如倪绍祥等在青海湖地区进行了草地蝗虫生境的遥感分类与评价^[3]。

2.2 蝗蝻发育阶段(若虫期)

蝗卵通过孵化、出土而成为蝗蝻,也称“若虫”。蝗蝻发育阶段的一个显著特点是发生周期性蜕皮。昆虫学家称蝗蝻每蜕皮一次为一“龄”,从蝗蝻开始孵化到第一次蜕皮称为第一龄,依此类推。蝗蝻完成最后一次蜕皮后就羽化成为成虫。就刚孵化出土的蝗蝻而言,它们的活动能力较弱,不善跳跃,更无迁飞能力,对周围环境基本处于被动适应状态,此时环境因子主要包括两个方面:一是作为其食物来源的植被,由于蝗蝻活动能力较弱,因此仅在孵化地附近取食;二是影响其生存环境的气温、降水、地形、水文、植被密度等生境因子的影响。在此阶段,由于蝗蝻对植被造成的破坏不大,通过卫星数据直接监测蝗蝻的滋生地的可能性较小,而气温、降水、地形、水文、植被密度等因子主要影响此时蝗蝻的发育速率,决定其发生期。因此,在此阶段的遥感应应用主要是预测蝗虫的发生期,但迄今多是利用当地的气象资料进行预测,利用遥感和 GIS 技术预测蝗虫发生期的研究仍然较少。

随着蝗蝻的逐渐发育,其活动能力也逐渐增强,受到环境的制约也越来越弱,对植被的破坏能力也逐渐增强,因此蝗蝻发展后期是蝗虫防治的关键时期(如东亚飞蝗的防治一般在三龄盛期前后进行)。此时,从遥感影像上已能体现出光谱的差异,许多学者针对此时蝗虫发生的监测做了大量的工作。早期的研究,多是利用遥感图像定性地划分出几种较粗略的蝗虫生境类型,如蒋建军、Voss、Tratalos、Sivanpillai 等^[40-44]分别利用 TM、AVHRR、MODIS 等遥感数据进行了草地蝗虫、沙漠蝗等蝗虫生境的分类研究,进而评价各种生境类型中蝗虫潜在发生的可能性及其程度。也有一些研究是针对蝗虫发生与气候、地形等因子的相关关系研究,这些研究试图找到影响蝗虫发生的显著因子^[45-46]。

在定量研究方面,马建文等^[47]利用 TM 图像数据,通过植被指数的方法确定探测蝗灾的光谱特征域,并找出在遥感图像上对应的位置,从而提出监测和预测蝗灾的遥感方法。韩秀珍等^[48]以遥感反演的温度和水分为例来讨论蝗灾前后生境的变化状况,依靠遥感等高新技术实现飞蝗灾害监测的信息化。吴彤等^[49]分析 RDVI 与飞蝗发生面积的关系,发现两者呈负线性相关,即随着 RDVI 减小,飞蝗的发生面积呈线性增大。吴彤、卢辉等^[50-51]分别以东亚飞蝗和亚洲小车蝗为研究对象,利用地面高光谱数据,分析和比较了正常生长芦苇和受蝗虫危害

植被的冠层反射光谱和高光谱特征参数的差异,并提出了监测蝗虫危害程度的虫害光谱指数(DSI)方法。陈健等^[52]利用 TM 数据反演得到两个不同时相的芦苇叶面积指数,通过比较芦苇叶面积指数的前后变化,间接的进行蝗蝻滋生地的监测。

因此,在蝗蝻发育初期,我们可以结合地面调查的数据,利用遥感数据进行蝗虫发育期的预测;然后通过三龄盛期前后的高空间分辨率遥感影像,通过遥感图像的光谱特征和植被指数、叶面积指数等确定蝗蝻滋生的地区,为蝗虫的治理工作提供依据。

2.3 成虫阶段

蝗蝻经最后一次蜕皮后成虫,成虫后若蝗虫密度较大,则容易聚集,针对飞蝗,则容易聚集并迁飞,因此危害程度大,危害范围广,许多植物保护部门都是在飞蝗成虫前进行防治。但飞蝗一旦迁飞,则需要迅速确定蝗虫迁飞路径和危害范围。此时可利用中低空间分辨率遥感数据进行监测。

季荣等^[53]以国家一类蝗区河北省南大港为实验区,以 2002 年东亚飞蝗(夏蝗)大发生为背景,测定了不同受害程度芦苇的光谱曲线,并用 MODIS 遥感数据分析蝗灾危害范围和程度。结果显示,NDVI 小于 0.215 6 和 0.238 9 分别为严重受灾区和中等受灾区,其发生面积依次为 168.74 hm² 和 337.48 hm²,判对率分别为 72.97 % 和 68.35 %。MODIS 遥感监测蝗灾发生面积(中等受灾及严重受灾)占实际发生面积的 82.76 %。

蝗虫成虫约 1~2 周后开始产卵,蝗虫产卵于土壤中,并对环境有一定的选择能力^[54]。已有研究报道飞蝗产卵场所的选择与环境有密切关系,如东亚飞蝗产卵多选择在植被稀疏(覆盖度通常<50%)的向阳坡,且有最适宜的土壤含水量(砂土 10%~12%,壤土 15%~18%,粘土 18%~20%)和含盐量范围(0.2%~1.2%)^[7]。因此在该阶段,若能够利用遥感数据定量获取植被盖度、土壤水分、土壤含盐量等参数,并利用数字高程模型获取当地的坡度与坡向等参数,可为确定蝗虫的产卵场所提供先进的技术手段。

综上所述,对蝗虫不同生育阶段的遥感监测需采用不同的参数和技术。在虫卵越冬与孵化期,结合区域气候中长期预报、大尺度遥感数据、地面调查和当地蝗虫的生长、发育特性,对蝗虫可能发生期、发生量进行预测。在预测的蝗虫发生期(从蝗卵孵化开始),利用中分辨率影像对蝗虫的历史高发区以及潜在发生区进行土壤水分、温度等的重点监测。在蝗蝻发育阶段,利用中、高分辨率遥感数据对发生区植被进行实时监测,根据植被受害情

况与蝗虫的习性判断蝗虫危害的进程和态势。在蝗虫成灾以后,根据植被受害情况,对损失及时地做出评估,并利用气象卫星数据和资源卫星数据,判断蝗虫的可能迁飞路径与产卵地等。

3 未来的发展趋势

总之,利用遥感与GIS技术进行蝗虫及其生境的监测已取得了一些成功的经验,但仍然存在很多问题。今后的研究应主要集中于以下几个方面。

1) 继续加强从生物学、生态学角度对生境因子与蝗虫关系的研究。为了充分发挥遥感和GIS技术在蝗虫监测中的作用,关键是要摸清生境因子与当地蝗虫种群的发生、繁育之间关系的机理。只有在摸清这种机理后,才能进一步选择适当类型和时段的遥感数据源,有针对性地进行生境因子信息提取与分析,达到蝗虫监测与预测的预期目标。

2) 提高蝗虫生境因子的遥感反演精度。以后的研究中,应提高土壤水分、地表温度、植被盖度、生物量及净初级生产力等生物物理参数反演的精度,以充分利用遥感领域的新技术和新方法获取有关生境因子的定量信息,以对蝗虫生境类型及其参数与蝗虫种群结构和数量的关系进行深入研究。

3) 注重蝗虫监测与预测专家系统的研制。未来的研究应注重高度集成蝗虫生境数据、历史蝗灾记录及其它有关数据,综合考虑自然环境因子、天敌、人类活动等各种因素,充分利用多源遥感数据,将GIS作为蝗虫防治决策支持系统的组成部分,建立基于网络的智能化蝗虫生境监测和预警专家系统。

参考文献:

- [1] 石瑞香, 刘闯, 李典谟, 等. 蝗虫生境监测方法研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2475-2483.
SHI Ruixiang, LIU Chuang, LI Dianmo, et al. Progress on methodology in monitoring locust habitats[J]. Acta Entomologica Sinica, 2003, 23(11): 2475-2483.
- [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.
CHEN Yonglin. Study locust control in china and its major achievements[J]. Entomological Knowledge, 2000, 37(1): 50-59.
- [3] 倪绍祥. 环青海湖地区草地蝗虫遥感监测与预测[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 110-130.
NI Shaoxiang. Monitoring and forecasting rangeland grasshopper infestation in the regions around qinghai lake by remote sensing[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2002: 110-130.
- [4] 倪绍祥, 蒋建军, 王杰臣. 遥感与GIS在蝗虫灾害防治研究中的应用进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(1): 97-100.
NI Shaoxiang, JIANG Jianjun, WANG Jiechen. Progress in application of remote sensing and GIS to the study of locust prevention and control[J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(1): 97-100.
- [5] 马建文, 韩秀珍, 哈斯巴干, 等. 基于东亚飞蝗生育周期的遥感蝗灾监测新模式[J]. 遥感学报, 2004, 8(4): 370-377.
MA Jianwen, HAN Xiuzhen, HASIBAGAN, et al. Remote sensing new model for monitoring the east asian migratory locust infections based on its breeding circle[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(4): 370-377.
- [6] 王杰臣, 倪绍祥. 遥感与GIS在蝗虫监测和预报中的应用前景[J]. 测绘学院学报, 2001, 18(4): 275-279.
WANG Jiechen, NI Shaoxiang. The trend of research on locust and grasshopper surveying and dynamics forecasting supported by remote sensing and GIS[J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2001, 18(4): 275-279.
- [7] 马世骏. 东亚飞蝗在中国的发生动态[J]. 昆虫学报, 1958, 8(1): 1-40.
MA Shijun. Studies on occurrence of the oriental migratory locust in china[J]. Acta Entomologica Sinica, 1958, 8(1): 1-40.
- [8] 张爱国, 李鸿昌. 草原生态系统研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 77-80.
ZHANG Aiguo, LI Hongchang. The research on grassland ecosystem[M]. Beijing: Science Press, 1992: 77-80.
- [9] 郑哲民, 夏凯龄, 陈永林. 中国动物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-32.
ZHENG Zhemin, XIA Kailing, CHEN Yonglin. Fauna sinica of Chinese[M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-32.
- [10] 任春光, 唐铁朝. 河北省东亚飞蝗发生动态及未来灾变趋势分析[J]. 昆虫知识, 2003, 40(1): 80-82.
REN Chunguang, TANG Tiechao. Analysis of population dynamics and trends of future outbreaks of the oriental migratory locust in Hebei[J]. Entomological Knowledge, 2003, 40(1): 80-82.
- [11] 石瑞香, 刘闯. 白洋淀水位变化及其对东亚飞蝗大发生的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 56-58.
SHI Ruixiang, LIU Chuang. Changes of water level of baiyangdian lake and its effect on locusta migratoria manilensis meyen[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(S): 56-58.
- [12] POWELL L R, BERG A A, JOHNSON D L, et al. Relationships of pest grasshopper populations in Alberta Canada to soil moisture and climate variables[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 144: 73-84.
- [13] 邓自旺, 倪绍祥, 张洪亮. 青海湖地区草地蝗虫发生的气候背景[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 91-95.
DENG Ziwan, NI Shaoxiang, ZHANG Hongliang. Climatic background of rangeland grasshopper infestation in the regions around qinghai lake[J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(2): 91-95.
- [14] 孔海江, 陆维松, 吕国强, 等. 干旱前期温度偏高对河南省东亚飞蝗发生的影响[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(4): 516-524.
KONG Haijiang, LU Weisong, LV Guoqiang, et al. Effect of drought and higher temperature on the outbreaks of the oriental migratory locust in Henan Province [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003, 26(4): 516-524.
- [15] 尤其微, 郭鄂, 陈永林, 等. 东亚飞蝗的生活习性[J]. 昆虫学报, 1958, 8(2): 119-135.
YOU Qijing, GUO Fu, CHEN Yonglin, et al. Habits of *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) [J]. Acta Entomologica Sinica, 1958, 8(2): 119-135.
- [16] Matthias W L. Migration and trans-atlantic flight of locusts[J]. Quaternary International, 2009, 196(1-2): 4-12.
- [17] 张洪亮, 倪绍祥, 查勇, 韦玉春. GIS支持下青海湖地区草地蝗虫发生的地形分析[J]. 地理科学, 2002, 22(4): 441-444.
ZHANG Hongliang, NI Shaoxiang, ZHA Yong, et al. Graphic analysis of grasshopper outbreak in the region around Qinghai lake aided by

- GIS[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22 (4): 441-444.
- [18] 朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1999:1-3
ZHU Enlin. The occurrence and control of the oriental migratory locust in China[M]. Beijing: Science Press, 1999: 1-3.
- [19] 巩爱歧, 王薇娟, 倪绍祥, 等. 青海湖环湖区蝗虫与地貌类型关系的研究[J]. 南京师范大学学报:自然科学版, 1999,22(4): 111-115.
GONG Aiqi, WANG Weijuan, NI Shaoxiang, et al. A study on the relationship between grasshopper and landform types in the region around qinghai lake[J]. *Journal of Nanjing Normal University :Natural Science Edition*, 1999, 22(4): 111-115.
- [20] LOCKWOOD J A, KEMP W P, ONSAGER J A. Long-term, large-scale effects of insect control in rangeland grasshopper populations[J]. *Journal of Economic Entomology*, 1988, 81: 1258-1261.
- [21] 邱式邦, 林汉达, 蒋元辉, 等. 蝗虫的分布消长和活动与植物关系的研究[J]. 植物保护学报, 1962, 1(2): 17-22.
QIU Shibang, LIN Handa, JIANG Yuanhui, et al. The study on the relationship of the declining distribution and activities of locusts with plant growth[J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1962, 1 (2): 17-22.
- [22] 颜忠诚, 陈永林. 草原蝗虫的栖境选择:栖境选择与水平结构的关系[J]. 武夷科学, 1998, 14: 251-257.
YAN Zhongcheng, CHEN Yonglin. Habitat selection in grasshoppers in typical steppe: relationship between habitat selection and horizontal structure[J]. *Wuyi Science Journal*, 1998, 14: 251-257.
- [23] ANDERSON N L. Some relationships between grasshoppers and vegetation[J]. *Annals of the Entomological Society of America*. 1964, 57: 736-742.
- [24] 康乐, 李鸿昌, 陈永林. 内蒙古锡林河流域直翅目昆虫生态分布规律与植被类型关系的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(4): 341-349.
KANG Le, LI Hongchang, CHEN Yonglin. The Study on the relationship between the ecology distribution of orthoptera insects and vegetation types around Xilin River valley[J]. *Journal of Plant Ecology and Botany*, 1989, 13(4): 341-349.
- [25] 吴亚, 金翠霞. 试论草原蝗虫的发生与防治[J]. 中国农业科学, 1981, 4: 81-85.
WU Ya, JIN Cuixia. Remark on the occurrence and control of the grasshopper infestation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1981, 4: 81-85.
- [26] LOCKWOOD J A, SCHELL S P. Outbreack dynamics of rangeland grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in the western plains Ecoregion:eruptive, gradient, both, or neither? [J]. *Journal of Orthptera Research*, 1995, 4: 35-48.
- [27] LOCKWOOD J A, DEBNEY L D. A solution for the sudden and unexplained extinction of the rocky mountain locust, *Melanoplus spretus* (Walsh) [J]. *Environment Entomology*. 1990, 19: 1194-1205.
- [28] NI Shaoxiang, WANG Jiechen, JIANG Jianjun, et al. Rangeland grasshoppers in relation to soils in the Qinghai lake region[J]. *China Pedosphere*, 2007, 17(1): 84-89.
- [29] 钦俊德, 郭鄂, 翟启慧. 蝗卵的研究 (II): 蝗卵在孵化时的变化及其意义[J]. 昆虫学报, 1956, 6(1): 37-60.
QIN Junde, GUO Fu, ZHAI Qihui. The Study of locust eggs: The changes of locust hatching eggs and its significance[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1956, 6 (1): 37-60.
- [30] 钦俊德, 郭鄂, 翟启慧. 蝗卵的研究 (IV): 浸水对于蝗卵胚胎发育和死亡的影响[J]. 昆虫学报, 1959, 9(4): 287-305.
QIN Junde, GUO Fu, ZHAI Qihui. The study of locust eggs: Immersion for the embryonic development and death of locust eggs[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1959, 9 (4): 287-305.
- [31] 钦俊德, 郭鄂, 翟启慧. 蝗卵的研究 (III): 东亚飞蝗卵的失水和耐旱能力[J]. 昆虫学报, 1958, 5(3): 207-225.
QIN Junde, GUO Fu, ZHAI Qihui. The study of locust eggs: The tolerance of locust eggs for water loss and drought [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1958, 5(3): 207-225.
- [32] 尤端淑, 马世骏. 东亚飞蝗产卵及蝗卵孵化与土壤含盐量的关系[J]. 植物保护学报, 1964, 3(4): 333-344.
YOU Duanshu, MA Shijun. Relationship of the orientalmigratory locust oviposition to soil salinity[J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1964, 3(4): 333-344.
- [33] 石瑞香, 刘闯, 李典谟, 等. 白洋淀蝗区东亚飞蝗的分布与土壤的关系研究[J]. 昆虫知识, 2004, 40(1): 29-33.
SHI Ruixiang, LIU Chuang, LI Dianmo, et al. Distribution of locusta migratoria manilensis and soil in the locust plague area at Baiyangdian[J]. *Entomological Knowledge*, 2004, 40(1): 29-33.
- [34] 季荣, 谢宝瑜, 李哲, 等. 于 GIS 和 GS 的东亚飞蝗卵块空间格局的研究[J]. 昆虫学报, 2006, 49 (3): 410 - 415.
JI Rong, XIE Baoyu, LI Zhe, et al. .Spatial distribution of the *Oriental migratory* locust (Orthoptera:Acrididae) egg pods studied with GIS and GS[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49 (3): 410 - 415.
- [35] 季荣, 李典谟, 谢宝瑜, 等. 基于沿海蝗区飞蝗卵块分布格局的土壤空间异质性[J]. 态学报, 2007, 27(3): 1019-1025.
JI Rong, LI Dianmo, XIE Baoyu, et al. Research on soil spatial heterogeneity based on *Locusta migratoria manilensis* egg pods spatial pattern in coastal locust areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1019-1025.
- [36] 季荣, 高增祥, 谢宝瑜, 等. 沿海蝗区东亚飞蝗(*Locusta migratoria manilensis*)产卵场所选择的 Logistic 回归模型[J]. 生态学报, 2007, 27 (12): 1019-1025.
JI Rong, GAO Zengxiang, XIE Baoyu, et al. Prediction on oviposition site selection *Locusta migratoria manilensis* by logistic model in coastal areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 1019-1025.
- [37] JI Rong, XIE Baoyu, LI Dianmo, et al. Relationships between spatial pattern of *Locusta migratoria manilensis* eggpods and soil property variability in coastal areas[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39:1865-1869.
- [38] LIU Z B, SHI X Z, ERIC W, et al. Relationship between oriental migratory locust plague and soil moisture extracted from MODIS data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2008, 10: 84-91.
- [39] 田方文, 彭彦明, 王希英. 翻耕蝗区土壤对东亚飞蝗蝗卵的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(3): 1155-1156.
TIAN Fangwen, PENG Yanming, WANG Xiyang. Effects of plowing locust area soil on east asian locust egg[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(3): 1155-1156.
- [40] 蒋建军, 倪绍祥, 韦玉春. GIS 辅助下的环青海湖地区草地蝗虫生境分类研究[J]. 遥感学报, 2002, 6(5): 387-392.
JIANG Jianjun, NI Shaoxiang, WEI Yuchun. Knowledge based grasshopper habitat classification approach supported by GIS in Qinghai Lake region[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(5): 387-392.
- [41] VOSS F, DREISER U. Mapping of desert locust and other migratory pests habitats using remote sensing techniques[C]//KRALL S, WILPS H, eds. GIZ, Berlin: New Trends in Locust Control, 1994: 23-40.
- [42] TRATALOS J A, CHEKEB R A. Can NDVI GAC imagery be used to monitor desert locust breeding areas?[J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64: 342-356.
- [43] RAMESH S, ALEXANDRE V, LATCHININSKY. Mapping locust habitats in River Ili Delta, Kazakhstan, using landsat imagery[J].

- Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 117: 128-134.
- [44] RAMESH S, ALEXANDRE V, LATCHININSK Y. Mapping locust habitats in the Amudarya River Delta, uzbekistan with multi-temporal MODIS imagery[J]. Environment Management, 2007, 39: 876-886.
- [45] 倪绍祥, 蒋建军, 王杰臣, 等. 青海湖地区草地蝗虫发生的生态环境条件浅析[J]. 草业学报, 2000, 9(1): 43-47.
- NI Shaoxiang, JIANG Jianjun, WANG Jiechen, et al. Environmental conditions affecting grasshopper epidemic in the region around Qinghai Lake[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2000, 9(1): 43-47.
- [46] 张洪亮, 倪绍祥, 张红玉, 等. GIS支持下青海湖地区草地蝗虫发生的气候因子分析[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 63-66.
- ZHANG Hongliang, NI Shaoxiang, ZHANG Hongyu, et al. An analysis of the climatic factors of grasshopper outbreak in the region around Qinghai lake aided by GIS[J]. Geography and Territorial Research, 2002, 18(1): 63-66.
- [47] MA Jianwen, HAN Xiuzhen, HASIBAGAN, et al. Monitoring East Asian migratory locust plagues using remote sensing data and field investigations[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(3): 629-634.
- [48] 韩秀珍, 马建文, 罗敬宁, 等. 遥感与 GIS 在东亚飞蝗灾害研究中的应用[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 253-261.
- HAN Xiuzhen, MA Jianwen, LUO Jingning, et al. The application of remote sensing and GIS in monitoring East Asia locust hazards[J]. Geographical Research, 2003, 22(2): 253-261.
- [49] 吴彤, 倪绍祥, 李云梅, 等. 基于地面高光谱数据的东亚飞蝗危害程度监测[J]. 遥感学报, 2007, 11(1): 103-108.
- WU Tong, NI Shaoxiang, LI Yunmei, et al. Monitoring of the damage intensity extent by oriental migratory locust using of hyper-spectra data measured at ground surface[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(1): 103-108.
- [50] 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.
- [51] 卢辉, 韩建国, 张录达. 高光谱遥感模型对亚洲小车蝗危害程度研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(3): 745-748.
- LU Hui, HAN Jianguo, ZHANG Luda. Study on hyper-spectral remote sensing models for monitoring damage of *Oedaleus asiaticus* (Orthoptera: Acrididae) [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(3): 745-748.
- [52] 陈健. 东亚飞蝗发生区芦苇 LAI 的遥感反演及其尺度效应研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2006: 73-80.
- CHEN Jian. Study on retrieval of reed LAI and scaling effect in occurrence area of oriental migratory locust based on remote sensing technology[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2006: 73-80.
- [53] 纪荣, 谢宝宇, 李 Dianmo, et al. Use of MODIS data to monitor the oriental migratory locust plague[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment 2004, 104: 615-620.
- [54] 刘举鹏, 席瑞华. 蝗虫产卵选择的初步研究[J]. 昆虫知识, 1984, 21(5): 204-207.
- LIU Jupeng, XI Ruihua. A preliminary study for oviposition preference of locusts[J]. Entomological Knowledge, 1984, 21(5): 204-207.

Progress in application of remote sensing and GIS to the study of locust habitats

CHEN Jian, WANG Xiujun

School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: Locust habitats are the living environment on which locusts depend. The base and premise for locust monitoring and prediction at a large scale is to retrieve the habitats factors using remote sensing techniques, and then to research and clarify the mechanism of locust habitats impact on locust spawning, incubation, adult, move fly using GIS techniques. The paper analysis the impact mechanism of each habitats factor to locust occurrence, and concludes that the research is not comprehensive if only single factor was considered, because the impact induced by different habitats is not isolate for locust disaster. Remote sensing and GIS techniques play an irreplaceable role in acquiring and analysis habitats factors data. Through the analysis of application and progress by remote sensing and GIS in the different developmental stages of the locust (the developmental stage of the locust eggs, hoppers stage and adult stage), the paper concluded that people should use different parameters and technology at different growth stages in order to achieve better results. Finally, a number of suggestions were made for remote sensing and GIS application in locust habitats monitoring in the future researches.

Key words: locust; habitat; remote sensing; geographical information system; monitoring