

李丽丽,赵成章,殷翠琴,等. GAM 模型在蝗虫地理格局分布研究中的应用——以黑河上游 3 种天然草地蝗虫为例[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1071—1077, doi:10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2013. 00151.

GAM 模型在蝗虫地理格局分布研究中的应用

——以黑河上游 3 种天然草地蝗虫为例

李丽丽, 赵成章, 殷翠琴, 王大为, 张军霞

(西北师范大学 地理与环境科学学院/甘肃省湿地资源保护与产业发展工程研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 将基于样本调查数据的群落-地形因子回归分析与地理信息系统支持下的昆虫属性空间格局预测结合, 是昆虫-地形关系定量研究的新途径。通用可加性模型(GAM)的非参数属性使之具有对不同数据类型的广泛适应性, 成为这种“回归分析+空间预测”途经的有效手段。不同程度上依赖于数字高程模型的环境空间数据集是实现空间预测的必要条件。我们利用广义可加模型方法, 定量分析了 3 种不同生态种蝗虫与地形因素的相关关系。结果表明:(1) 3 种不同生态种的蝗虫具有不同的模型结构、模拟效果以及结果的稳定性, 反映了所受地形因子影响的差异。(2) 蝗虫的广布种与地形因子关系最弱, 局部地形的变化仅对其密度变化有影响; 常见种受地形因子的影响明显高于广布种, 同时受大尺度的海拔与微地形的剖面曲率影响; 稀有种分布格局对地形条件的选择性最强, 同时受限于海拔、坡度和坡向。(3) 模拟结果对常见种以及稀有种的模拟全部有效; 对广布种的预测基本失败。(4) 模型预测变量的有效性和全面性决定了模型对数据的解释能力, 非线性关系体现了蝗虫密度-地形指标的不确定性, 除模型解释的变化外, 其他生物因子、非生物因子以及随机因素也影响模型的可靠性。

关键词: 草地; 蝗虫; 黑河上游; GAM 模型; 空间格局; 空间预测

文章编号: 1000-694X(2013)04-1071-07

doi: 10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2013. 00151

中图分类号: Q968. 1

文献标志码: A

1 引言

蝗虫的分布遍及不同的自然景观地带, 不同蝗虫类群的区域分布、区系分布和生态地理分布以及垂直分布, 不仅显示了其空间的差异性和规律性, 也反映了它们极强的生态适应性^[1]。由于蝗虫个体小, 难以通过遥感直接加以监测, 因此研究者均通过对蝗虫生境的监测以实现蝗虫危害可能发生地点的评估^[2]。在生态学中, 很早就被用来替代气温、水分、光照等直接环境因子的地形, 如今被视为间接环境因子用来分析生物-环境关系^[3-5]。尤其在生物格局分析中, 直接的环境因子的数据可获取性以及精确度都比地形因子差^[6], 因此, 很难通过地形以外的其他变量来反映小尺度上的环境空间异质性^[7]。已有研究以地形特征的差异性来揭示蝗虫群落丰富度空间分布规律以及自然因素对蝗虫群落分布的影响^[8-9], 但多数研究仍以传统的定性研究为主。

昆虫格局形成机制的复杂性, 使建立机理模型存在很大难度。基于通用可加性模型(GAM)的高

精度非线性建模方法, 是近几年发展起来的一种新的可用于地理要素空间模拟的方法, 对生态系统非线性问题具有高精度的逼近能力, 在空间数值模拟和建立潜在分布格局方面比经典插值方法精度高^[10-13]。目前, 中国学者将 GAM 主要用于海洋渔业^[14]以及潜在植被预测^[15-16]等方面, 用于生物地理中昆虫格局的空间关系研究还很少见^[8-9]。研究具有较强迁徙能力的蝗虫能很好地检验该模型的适应性及稳定性。鉴于此, 我们选择 3 种不同生态种蝗虫作为研究对象, 运用 GAM 和地统计学方法, 探讨不同蝗虫对地形选择适应性的差异程度, 以期明确此方法在模拟不同生态种蝗虫格局分布中的可行性。

2 研究方法

2.1 研究区域概况

研究区位于祁连山北坡黑河支流梨园河南侧的白大坂草原(38°48'00"—38°49'50"N, 99°37'15"—99°39'00"E), 海拔 2 400~2 800 m, 属于典型的大陆

收稿日期: 2012-03-02; 改回日期: 2012-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971039); 甘肃省科技支撑计划项目(1011FKCA157); 甘肃省生态学重点学科项目资助

作者简介: 李丽丽(1985—), 女, 辽宁东港人, 硕士研究生, 主要从事生物地理学研究。Email: licqsmqs@126.com

通讯作者: 赵成章(Email: zhaocz@nwnu.edu.cn)

性气候,同时又具有水热垂直地带性变化的山地气候特点,年平均气温 $1.0\sim 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,7月均温 $14.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,1月均温 $-12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温为 $1400\sim 1688\text{ }^{\circ}\text{C}$;年均降水量 $270\sim 350\text{ mm}$,降水主要集中在6—8月。土壤以栗钙土和黑钙土为主。地形起伏多变。植被以旱生多年生禾本科植物和湿、中生灌木为主^[8]。多样的地形条件为草地蝗虫种群提供了异质性的生存和繁殖生境,造就了多样化的生物格局。

2.2 样地设置

研究区草地类型包括荒漠草原、山地草原和山地草甸草地,共计3个草地类和7个草地型^[8]。为符合不同生境的蝗虫多样性特征,以海拔作为梯度设置了一个南北长 3500 m 、东西宽 900 m 的调查区。根据野外植被群落调查资料,在每个类型草地设置调查样方 $3\sim 8$ 个,共选择具有代表性的样地 36 个。每个样地面积 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$,每一样地内采用双对角线法抽取3个 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的长方形样点,共 108 个样点。于2009年7月25日、8月5日、8月15日分别在各样地进行蝗虫多样性调查^[8]。在每个样点无放回地取样3次,每次用直径为 30

cm的捕虫网平行扫网200网,每网扫过植被弧度为 180° ,将每次捕获的样品投入到沾有敌敌畏棉球的毒品瓶中,带回实验室进行鉴定和计数,其中蝗虫标本依照《甘肃蝗虫图志》鉴定^[17],按照每个样点的三次平均值对每个样地中蝗虫的种类、密度和多度进行统计,对植被状况和生境特征也做详尽标注。

2.3 数据分析

数字化 $1:50\ 000$ 地形图,获得研究区 10 m 分辨率的数字高程模型 (DEM),在 DEM 的基础上利用 ArcGIS 提取6个地形因子,用于蝗虫物种空间分布相关性的分析。其中坡向和坡度采用3次有限差分方法^[18]计算得到,坡向的组别以国际划分法确定(圆周角属于 $337.5^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 和 $0^{\circ}\sim 22.5^{\circ}$ 定为正北坡向)^[19];坡位特指在垂直地形剖面上的相对位置;剖面曲率是对地面坡度的沿最大坡降方向地面高程变化率的度量,是地表曲面沿水平方向的弯曲、变化情况,也就是该点所在的微小范围内坡向变化程度的度量。利用 DEM 获取海拔、坡度、坡向、坡位、平面曲率、剖面曲率地形特征作为模型的预测变量(表1)。

表 1 基于 DEM 的小地形指标算法

Table 1 Algorithms for DEM-based topographic indices

指标	数据类型	算法
海拔	连续变量	DEM 提取
坡向	分类变量	分8级: 1: N $337.6^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 和 $0^{\circ}\sim 22.5^{\circ}$; 2: NE $22.6^{\circ}\sim 67.5^{\circ}$; 3: E $67.6^{\circ}\sim 112.5^{\circ}$; 4: SE $112.6^{\circ}\sim 157.5^{\circ}$; 5: SE $157.6^{\circ}\sim 202.5^{\circ}$; 6: S $202.6^{\circ}\sim 247.5^{\circ}$; 7: SW $247.6^{\circ}\sim 292.5^{\circ}$; 8: NW $292.6^{\circ}\sim 337.5^{\circ}$
坡度	连续变量	3次有限差分方法
坡位	连续变量	用 3×3 的滑动扫描 DEM,计算滑动中心象元海拔高度与滑动内所有象元平均海拔高度的相对差异,得到坡位指数(SPI)
剖面曲率	连续变量	坡度的沿最大坡降方向地面高程变化率
平面曲率	连续变量	点的水平面沿水平方向切地形表面所得的曲线的曲率

蝗虫数据集建立与分析。经过鉴定和数量统计,在36个样方中共采集蝗虫3149只,分属于3科10属13种。考虑蝗虫出土时间的非一致性、栖息地微环境异质性、物种数量差异性以及生态种的独特性,本研究选取李氏大足蝗 (*Gomphocerus licenti*)、亚洲小车蝗 (*Oedaleus decoratus*) 以及宽翅曲背蝗 (*Pararcyptera microptera*) 为研究对象。

GAM 是 GLM 模型的半参数扩展^[20],其假设函数是相加的、函数的组成成分是光滑函数。由于地形的复杂性和尺度相关特征的存在,导致地形信息在输入、数据类型转换和复合变量计算过程中误差增大,进而影响预测结果的可靠性^[6]。这种模型

无需预定参数,对变量的数据类型和统计分布特征适应性更强。GAM 是通过联结函数,建立响应变量的数学期望值与预测变量的一个光滑函数的关系,其数学形式为:

$$g(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k f_i(x_i) \quad (1)$$

式中: $\mu = E[Y/x]$;函数 $g(\mu)$ 为联系函数; β_0 为常数截距项; $f_i(x_i)$ 是用来描述 $g(\mu)$ 与第 i 个解释变量关系的非参数函数。本研究中选择模型参数时,确定分布函数族为高斯分布,连接函数为恒等函数。

为检验每一模型的适合程度,对其模型的偏差系数 (D^2) 进行估算^[21]:

$$D^2 = \frac{ND - RD}{ND} \quad (2)$$

式中:RD 为剩余偏差;ND 为空模型偏差。 D^2 值越接近 1,说明模型剩余偏差越小,模型拟合度越好。

上述分析在 S-Plus 软件中安装的 GRASP3.3 模块和 ArcGIS9.2 中完成。

3 结果与分析

3.1 地形因子与蝗虫分布的相关性

通过双向选择,将 F 检验中大于 75% 置信度的

表 2 地形因子对蝗虫密度分布的影响

Table 2 The effects of topographic indices on density of grasshopper

蝗虫	地形因子					
	海拔	坡向	坡度	坡位	剖面曲率	平面曲率
李氏大足蝗(<i>Gomphocerus licenti</i>)	0.54	0.78	0.74	0.16	0.47	0.89
亚洲小车蝗(<i>Oedaleus decoratus</i>)	4.22	0.61	0.26	0.42	1.57	0.34
宽翅曲背蝗(<i>Pararcyptera microptera</i>)	1.24	1.75	0.34	0.22	0.44	2.61

参数纳入模型,地形因子对蝗虫分布的影响如表 2 所示。其中,李氏大足蝗分布主要受限于平面曲率和坡向,亚洲小车蝗受限于海拔和剖面曲率,宽翅曲背蝗受限于平面曲率和海拔。不同的蝗虫密度指标,同一数据集得到的 GAM 结构完全不同,反映了不同生态种的蝗虫所受地形影响的差别。

3.1.1 李氏大足蝗密度与地形因子的相关性

李氏大足蝗的物种密度呈现与坡向和平面曲率的非线性显著相关关系,但是坡向与坡度对其分布的影响程度相差不大(图 1)。北坡的该蝗虫物种密度高于南坡。在平面曲率梯度上,李氏大足蝗密度

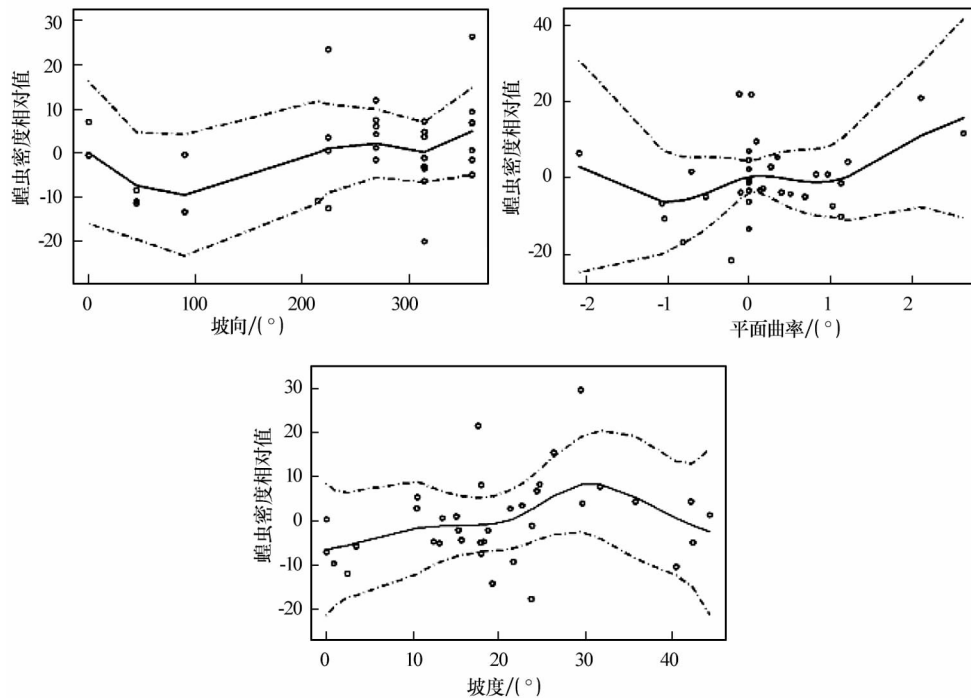


图 1 GAM 模型分析地形因子对李氏大足蝗的影响(实线代表蝗虫丰富度的期望值,上下两侧虚线代表方程的置信区间)

Fig. 1 Results of GAM regression between topographic indices and *Gomphocerus licenti*. Real lines represent response variable grasshoppers' richness fitting curves and broken line represents equation's believable degree

分布相对均匀,呈现“w”型分布趋势。密度与坡度的关系可分成 3 段。在 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 区间呈微弱的正相关变化,蝗虫密度随坡度的增大而平缓增长;在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 区间呈较强的正相关,蝗虫密度随坡度增大而迅速增长; $>30^{\circ}$ 时,蝗虫密度迅速降低,呈现强烈的

负相关。

3.1.2 亚洲小车蝗密度与地形因子的相关性

亚洲小车蝗的物种密度模型仅表现了与海拔和剖面曲率的显著相关性,与其他地形因子的相关性极微弱(图 2)。在海拔上大体呈倒“V”字分布,在

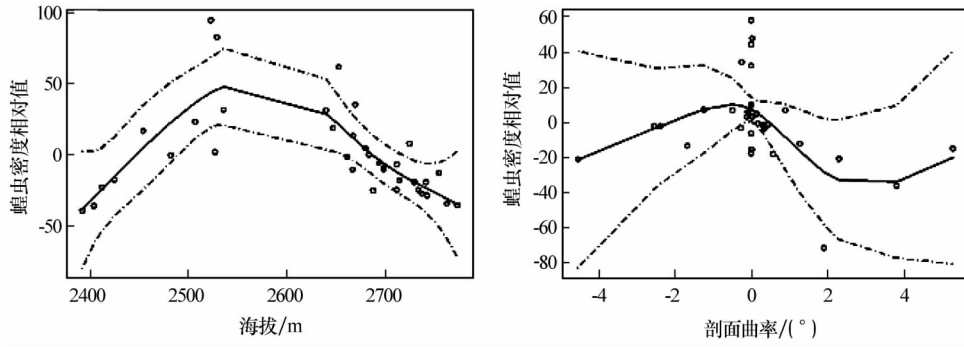


图 2 GAM 模型分析地形因子对亚洲小车蝗的影响(实线代表蝗虫丰富度的期望值,上下两侧虚线代表方程的置信区间)

Fig. 2 Results of GAM regression between topographic indices and *Oedaleus decoratus*. Real lines represent response variable grasshoppers' richness fitting curves and broken line represents equation's believable degree

2 380~2 560 m 区间呈正相关,海拔升至 2 600 m 以上时,亚洲小车蝗密度迅速降低;在剖面曲率上,蝗虫密度高值区分布在坡度高程变化率小的区域,在 <0 区间呈正相关,在 >0 的区间成正相关,呈正弦曲线分布。

3.1.3 宽翅曲背蝗密度与地形因子的相关性

样地中的宽翅曲背蝗物种密度受海拔、坡向和平面曲率的显著影响(图 3)。在海拔 2 380 ~ 2 700 m 范围内,海拔越高,宽翅曲背蝗物种密度越

大,二者之间呈正相关,变化趋势和缓;大于 2 700 m,则迅速减少,但仍大于 2 600 m 时的密度。坡向上,在 100° 之前,密度随着坡向度数的增加而减小,>100° 之后则随着坡向度数的增加而增大;结合表 1 可知,宽翅曲背蝗主要集中分布在北坡向,偏南坡向的物种密度相对低,西坡向密度明显大于东坡向,即宽翅曲背蝗在东、东南、西南坡向分布较少。在平面曲率梯度上,宽翅曲背蝗分布呈余弦曲线,主要分布在相对平缓的区域。

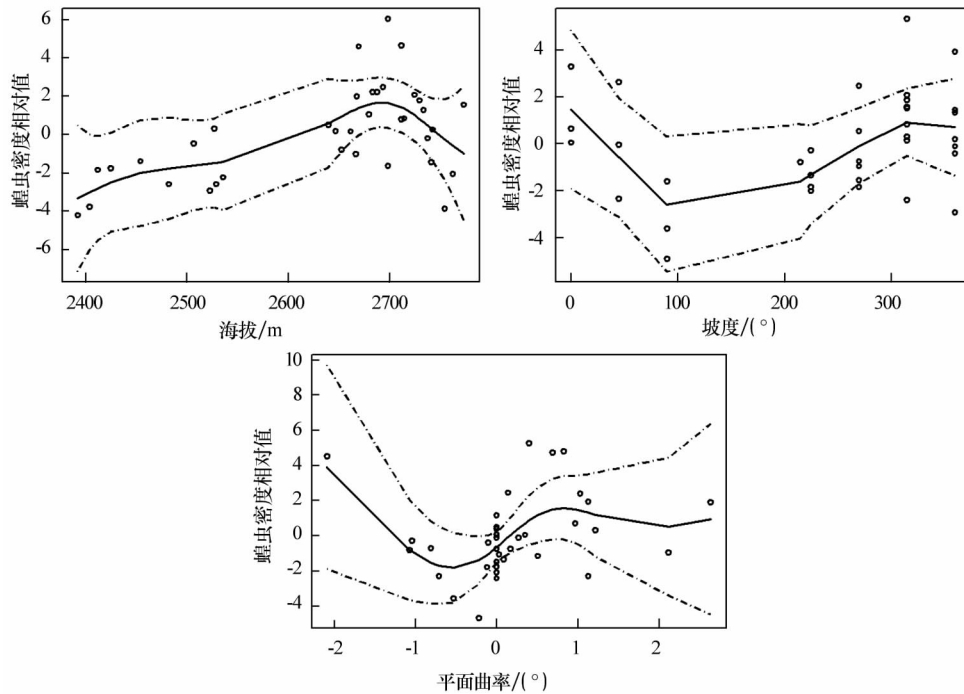


图 3 GAM 模型分析地形因子对宽翅曲背蝗的影响(实线代表蝗虫丰富度的期望值,上下两侧虚线代表方程的置信区间)

Fig. 3 Results of GAM regression between topographic indices and *Pararcyptera microptera*. Real lines represent response variable grasshoppers' richness fitting curves and broken line represents equation's believable degree

3.2 GAM 模型分析

作为数据驱动的 GAM 模型很大程度受建模数据的制约。 D^2 值是模型结构及模型质量判别标准,

可用于诠释模型的稳定性。结果表明,数据的结构受不同蝗虫数据影响, D^2 值变化程度表示不同种类蝗虫对地形因子接受程度的差异性(表 3)。不确定性的存在反映建模数据所体现的蝗虫密度-地形参

数关系的不稳定,以及除了由模型解释的变化之外,还受其他环境因素、随机因子和取样误差的影响。通过对模型评价分析(表 3)可知:

表 3 GAM 模型评价指标特征
Table 3 GAM models assessment parameters for grass hoppers

蝗虫种类	指 标		
	ND	RD	D^2
李氏大足蝗	3 487.56	2 365.78	0.32
亚洲小车蝗	6 696.57	3 750.08	0.44
宽翅曲背蝗	387.64	103.86	0.73

1) 不同蝗虫种密度预测模型纳入的参数顺序是:宽翅曲背蝗>亚洲小车蝗>李氏大足蝗,这是由 D^2 的大小顺序决定的。这表明宽翅曲背蝗的空间分布对地形条件的选择性最强,李氏大足蝗受地形制约性最小。

2) 模型的参数 D^2 小于 0.5,表明蝗虫物种密度不能为纳入模型的变量所解释,如李氏大足蝗和亚洲小车蝗。宽翅曲背蝗分布可以很好地用蝗虫物种密度-地形因子模型解释。

3) 地形变量在模型中被接受的概率反映了该变量对限制蝗虫物种密度分布的重要性。累计值的顺序是:海拔影响力最大,平面曲率、剖面曲率、坡向相似,坡位最小,对 3 种蝗虫种密度基本不影响,坡度除对李氏大足蝗的模拟外,在其他模型中基本也被排除。

3.3 GAM 模型验证

方差分析检验结果总自由度为 35,拟合准确度上地形对不同种类蝗虫影响存在明显差异。表 2 是预测模型相关指数,显示了该模型在对不同蝗虫种分布预测中的准确程度。总体上,预测准确度的顺序是:宽翅曲背蝗>亚洲小车蝗>李氏大足蝗。其中宽翅曲背蝗的模型偏差系数达到 0.6 以上,表明该模型诊断结果良好,稳定性较强,可以较好地拟合这种蝗虫的空间潜在分布格局;亚洲小车蝗、李氏大足蝗的 D^2 低于 0.5,观测与预测值之间的相关性全部不显著,表明预测失败。

4 结论与讨论

本文从不同尺度特征分析地形对蝗虫空间分布影响。在不同的蝗虫物种密度的预测模型中,不同尺度下地形因子对蝗虫密度空间格局的影响存在明

显差异。在采样中分布广泛的李氏大足蝗受海拔影响不明显,而局部地形的变化对其密度的影响较大。一些以往有关蝗虫与地形格局的分析结果表明,坡位、坡度、海拔等地形因子之间存在特定的相关性^[8,22-23],平面曲率是坡度在水平方向上的表征,在模型中李氏大足蝗分布受限于坡度和坡向;从模型评判的角度看,李氏大足蝗的分布受地形影响程度不大。亚洲小车蝗分布受海拔的影响较剖面曲率明显,但剖面曲率是坡度垂直方向的表征,亚洲小车蝗主要分布在海拔 2 550 m 的区域,呈倒“V”字型,在剖面曲率上保持着对立的空问,亚洲小车蝗受地形因子的约束明显大于李氏大足蝗,这与实地调查的结果一致。宽翅曲背蝗分布主要受限于平面曲率和海拔,同时受坡向制约,该蝗虫分布区间狭小,对地形因子要求严格,对地形有着强烈的跟随关系。3 种蝗虫的密度分布格局与 MacArthur 等^[24]提出的最适栖境选择理论相一致,也验证了陈永林^[25]的观点,他认为不同种类蝗虫栖居与其适生的植被、气候、土壤等生态条件相适应。

蝗虫密度分布格局反映了蝗虫在栖境选择中对地形因子的要求,强调了地形因子在小尺度上切割下垫面的作用^[26]。本研究中 3 种蝗虫的密度在不同地形因子下形成了既相对独立、又交叉重合的分布格局。模型检验结果中对 3 种蝗虫预测效果的差异反映了蝗虫因出土时间以及采食性的不同而采取的生态对策上的差异,但仅依赖模型的结果还难以全面解释蝗虫空间格局的异质性特征。

地形因子与蝗虫物种丰富度的非线性关系源于地形对植物生境的影响,这在一定程度上证实了地形因子能够对一定区域内的水热次元进行再分配^[27]。但由于地形特征的多尺度性和复合性,在表征特定环境生态条件时存在生态含义不明确、对应尺度无法确定等困难。另外,本文中采用的信息表达无法全面有效评价地形变量对生物、生境动态等方面的相互作用,反映了这种替代性指标在应用中的局限。例如,在对李氏大足蝗的分析中发现,由于研究区以及取样时间的限制性,李氏大足蝗为研究区的优势种,从数量以及分布区域都占绝对的优势,因此在某种程度上海拔的影响被其他地形因子所掩盖;在总体数量上,亚洲小车蝗为研究区的优势种,但从每个样点的优势度而言为建群种,它对地形的依赖程度具有一定的区域性,坡向等其他因子某种程度上被海拔因子所掩盖,因此表现为分布与海拔强烈相关;宽翅曲背蝗较为稀少,大尺度的坡位因子

对其分布的影响可以忽略,平面曲率和剖面曲率从水平方向和垂直方向表征坡度,分开分析可能会削弱坡度对蝗虫的影响程度,但是合并纳入模型分析又会模糊水平和垂直方向的影响度^[28-31],因此,对待地形因子分解问题仍待进一步的讨论。

将地统计与 GAM 结合的方法考虑了各种地形因子的影响,可以较好地处理蝗虫种与地形因子之间的非线性关系,具有较好的稳定性和精度。但 GAM 为数据统计模型,只具有“内插”式的预测能力^[32],对建模数据环境值域以外范围的空间、时间可移植性较差,数据依赖性强。尽管有上述限制,将基于 GAM 的非线性回归统计模型应用于生物的潜在分布分析,仍然可能保持较高的准确性。在对生物学机理过程了解不是很多时,统计模型在实地预测方面显示了很大的潜力,特别是结合 GIS 软件带来的空间预测能力和应用便捷性使得其迅速发展。通过对蝗虫分布区域模拟分析,建立不同生态种蝗虫的分布格局的预测模型,全面了解蝗虫分布格局综合情况。

参考文献:

- [1] 陈永林. 蝗虫生态种及其指示意义的探讨[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 156-158.
- [2] 康乐. 蝗虫群落动态对草原放牧活动的反应[M]//中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究(第五集). 北京: 科学出版社, 1997: 43-61.
- [3] 乌云娜, 雒文涛, 霍光伟, 等. 微生境尺度上放牧退化草原群落特征与土壤有机质的空间分异性[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 972-979.
- [4] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis[J]. Vegetatio, 1989, 80: 107-138.
- [5] 刘继亮, 李锋瑞. 坡向和微地形对大型土壤动物空间分布格局的影响[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1104-1112.
- [6] Guisan A, Edwards T C, Hastie T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene[J]. Ecological Modelling, 2002, 157: 89-100.
- [7] 马松梅, 张明理, 陈曦. 沙冬青属植物在亚洲中部荒漠区的潜在地理分布及驱动因子分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1301-1307.
- [8] 李丽丽, 赵成章, 殷翠琴, 等. 黑河上游天然草地蝗虫物种丰富度与地形关系的 GAM 分析[J]. 昆虫学报, 2011, 54(11): 1312-1318.
- [9] 赵成章, 李丽丽, 王大为, 等. 黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与格局分析[J]. 生态学报, 2012, 32(13): 4166-4172.
- [10] Guisan A, Zimmermann N E. Predictive habitat distribution models in ecology[J]. Ecological Modelling, 2000, 135: 147-186.
- [11] 毛伟, 李玉霖, 张铜会, 等. 不同尺度生态学中植物叶性状研究概述[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 33-41.
- [12] Pearson R G, Dawson T P, Berry P M, et al. Species: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species[J]. Ecological Modelling, 2002, 154: 289-300.
- [13] 陈林. 红火蚁 (*Solenopsis invicta*) 在中国的潜在分布研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [14] 郑波, 陈新军, 李纲. GLM 和 GAM 模型研究东黄海鲈资源渔场与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 379-386.
- [15] 沈泽昊, 赵俊. 基于植物-地形关系的物种丰富度空间格局预测——GAMs 途径的一种应用[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 953-962.
- [16] 温仲明, 赫晓慧, 焦峰, 等. 延河流域本氏针茅 (*Stipa bungeana*) 分布预测——广义相加模型及其应用[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 192-201.
- [17] 甘肃省蝗虫调查协作组. 甘肃省蝗虫图志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1985.
- [18] Skidmore A K. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1989, 3: 323-334.
- [19] 陈瑶, 胥晓, 张德然, 等. 四川龙门山西北部植被分布与地形因子的相关性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1052-1055.
- [20] 杨晋浩. S-PLUS 实用统计分析[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2007: 153-156.
- [21] Swartzman G, Huang C, Kaluzny S. Spatial analysis of Bering Sea ground fish survey data using generalized additive models[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1992, 49: 1366-1378.
- [22] 赵成章, 李丽丽, 殷翠琴, 等. 黑河上游天然草地蝗虫空间格局异质性[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(3): 63-67.
- [23] 赵成章, 周伟, 王科明, 等. 黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3384-3390.
- [24] MacArthur R H, Pianka E R. On optimal use of a patchy environment[J]. American Naturalist, 1966, 100: 603-609.
- [25] 陈永林. 中国主要蝗虫及蝗灾生态学治理[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 139-196.
- [26] Metzger M J, Leemans R, Schroter D. A multidisciplinary multi-scale framework for assessing vulnerabilities to global change[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, 7(4): 253-267.
- [27] Luoto M, Pyry J, Heikkinen R K, et al. Uncertainty of bioclimatic envelope models based on the geographical distribution of species[J]. Global Ecology and Biogeography, 2005, 14: 575-584.
- [28] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨[J]. 地理研究, 2005, 24(1): 11-18.
- [29] 李爱华, 柏延臣. 基于贝叶斯最大熵的甘肃省多年平均降水空间化研究[J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1408-1416.
- [30] Florinsky I V, Kuryakova G A. Determination of grid size for digital terrain modeling in landscape investigations: exemplified by soil moisture distribution at a micro-scale[J]. Interna-

tional Journal of Geographical Information Science, 2000, 14 (8): 815—832.

- [31] Gyasi-Agyei Y, Willgoose G, De Troch F. Effects of vertical resolution and map scale of digital elevation models on geomorphological parameters used in hydrology[J]. Hydrological

Processes, 1995, 9: 363—382.

- [32] 孟现勇, 刘志辉, 李诚志, 等. 基于栅格尺度的沙漠化预警模型研究——以塔里木河下游中段区域为例[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 24—32.

Application of GAM Approach on Pattern of Grasshoppers' Geographical Distribution: A case study in the upper reaches of Heihe River

LI Li-li, ZHAO Cheng-zhang, YIN Cui-qin, WANG Da-wei, ZHANG Jun-xia

(College of Geography and Environment Science/Research Center of Wetland Resources Protection and Industrial Development Engineering of Gansu Province, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Combining the field sampling-based regression analysis of community versus habitat attributes and GIS supported spatial prediction of topography factors is a new approach for the quantitative study of insect-environment relationship. As one of the non-parameter model types, Generalized Additive Models (GAM) is an efficient tool in regression analysis-spatial prediction, partly for its flexibility to a wide variety of data types. A spatially explicit database for environment factors that frequently rely on digitalized elevation model is the requisite background for spatial prediction. In this study, we employed the non-parametric GAM model to explore the potential distribution of the grasshopper richness in the upper reaches of Heihe River, western China. For each data requirement of GAM, 6 topographic indices were extracted and analyzed. The results showed that: (1) The structure and deviation square values of the models were different for different ecospecies indices, so were the model stability, indicating their differences in response to the gradients of topographic indices. (2) The relationship between habitat cosmopolitan species and topographic indices was not significant, and only local topography affected the density; The relationship between habitat common living and topographic indices was closer than between habitat cosmopolitan species and topographic indices, the most prominent effects came from profile of the micro-topography and the elevation in large scale; habitat rare species distribution pattern relied on topographic indices most closely, and the most prominent effects came from elevation, plan and aspect. (3) The predictions of the density patterns of rare species passed the validation with an independent sampling data, that of common living succeeded partially, but the prediction for the density of cosmopolitan species failed. (4) Efficient and adequate predictive variables were crucial for the interpretative capability of the models. The environmental factors and random factor were significantly correlated with those of accuracy and maneuverability of valuation for model and algorithm of the tree-based method. So the GAM model function for the probability species richness made sufficiently use of topographic index information, and realized multiple factors.

Key words: grassland; grasshoppers; upper reaches of Heihe River; generalized additive model (GAM); spatial pattern; prediction