

基于生态位模型预测新疆准噶尔盆地大沙鼠适生区分布及风险评估

王梅 雒涛 赵坚 王启果 李博 阿扎提 张渝疆 李群

【摘要】目的 探讨采用空间信息技术及生态位理论预测新疆准噶尔盆地大沙鼠的适生区分布,提高鼠疫监测效率。**方法** 通过现场调查获得准噶尔盆地大沙鼠分布的全球定位系统经纬度信息,通过遥感获得环境变量图层,利用Maxent软件建模,结合地理信息系统获得大沙鼠适生区分布图,对模型评价并划分风险分级图,叠加人口数据标示重点关注地区。**结果** 模型预测精度较高,曲线下面积值为0.968,灵敏度为91.4%,特异度为63.3%,准确度为73.8%,阳性预测值为59.7%,阴性预测值为92.6%,Kappa系数为0.495。大沙鼠适生区分布在准噶尔盆地及其周边大部分区县,高风险地区总面积约37 304 km²,约占总面积的6.2%,主要分布在昌吉回族自治州、乌鲁木齐市米东区及克拉玛依市,其中米东区、克拉玛依市辖区及乌尔禾区的分布较广;区域内人口约12万,分布于261 km²区域内。重点监测地区包括乌鲁木齐市、五家渠市、克拉玛依市、博乐市、精河县、奎屯市、阜康市、吉木萨尔县及木垒哈萨克自治县。**结论** 生态位理论和遥感环境数据可预测新疆准噶尔盆地大沙鼠潜在适生区,并显著缩小了重点监测的靶地区。

【关键词】 鼠疫自然疫源地;生态位模型;地理信息系统

Study on the spatial distribution and related risks of *Rhombomys opimus*, based on the ecological niche modeling in Junggar Basin, Xinjiang Wang Mei¹, Luo Tao², Zhao Jian¹, Wang Qiguo², Li Bo², Azhati², Zhang Yujiang², Li Qun¹. 1 Health Emergency Center, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China; 2 Xinjiang Uygur Autonomous Region Center for Disease Control and Prevention

Corresponding authors: Li Qun, Email: liqun@chinacdc.cn; Zhang Yujiang, Email: xjsyzhang@163.com
This work was supported by a grant from the Special Fund for Health Sector, People's Republic of China (No. 201202021).

【Abstract】 Objective In order to understand the distribution of the host animals in Junggar Basin, this study intended to map the spatial distribution and identifying the risk of *Rhombomys opimus* in the framework of ecological niche theory based on the "3S" technology. **Methods** Data on *Rhombomys opimus* was obtained through a series of field surveys. Environmental variables were achieved through data from Remote Sensing. Maxent modeling was built to map the potential distribution of *Rhombomys opimus*, with its risks identified. **Results** The prediction model showed ideal accuracy, with the AUC value as 0.968. Probability of Maximum Youden Index was defined as the threshold being used. The sensitivity and specificity showed as 91.4% and 63.3%, respectively. The accuracy was 73.8%, and the Kappa coefficient was 0.495. The positive predictive value was 59.7%. The negative predictive value was 92.6%. The predicted high risk area was 37 304 km², with 6.2% in the whole area, distributed in 18 counties, including Changji Hui Autonomous Prefecture, Urumqi, Karamay and so on. The number of people under high risk would come about 120 000, scattering in the areas of 261 square kilometers. **Conclusion** It was feasible to predict the potential distribution of *Rhombomys opimus* based on the ecological niche theory as well as environmental variables derived from data through remote sensing. More specific high-risk areas could be identified under this technique so as to guide the monitoring programs.

【Key words】 Plague foci; Ecological niche modeling; Geographical information system

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2014.09.015

基金项目:公益性卫生行业科研专项(201202021)

作者单位:102206 北京,中国疾病预防控制中心卫生应急中心(王梅、赵坚、李群);新疆维吾尔自治区疾病预防控制中心(雒涛、王启果、李博、阿扎提、张渝疆)

王梅、雒涛、赵坚同为第一作者

通信作者:李群, Email: liqun@chinacdc.cn; 张渝疆, Email: xjsyzhang@163.com

鼠疫是我国甲类传染病,其暴发、流行、潜伏均与特定区域的地理生态环境密切相关^[1-3]。鼠疫菌存在于自然疫源地宿主动物中,由此而生的宿主生态位假说(host niche hypothesis)认为鼠疫分布依赖于宿主动物的分布,特定宿主动物物种的发现有可能扩大鼠疫菌的潜在分布范围^[4]。因此,可通过研究宿主动物的分布,确立鼠疫自然疫源地等并预测鼠疫的发生风险。我国目前已确定 12 个鼠疫疫源地^[5-7]。其中 2005 年新疆准噶尔盆地大沙鼠鼠疫疫源地有 12 个县(市)发生动物鼠疫流行,确定克拉玛依、博乐、吉木萨尔和奇台为鼠疫疫源县(市)。准噶尔鼠疫疫源地属盆地荒漠地貌景观,疫源地动物、媒介组成复杂,生态系统稳定,主要宿主动物为大沙鼠。了解其宿主动物大沙鼠的分布,有利于做好鼠疫防控工作。

空间信息技术主要包含遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS),即“3S”技术。采用 GPS 准确掌握鼠疫宿主动物发现点的位置,RS 快速大范围获取地表生态环境参数,利用 GIS 对地表复杂多要素进行综合分析,对动物鼠疫暴发早期预警以及分析鼠疫的传播风险具有重要意义。有学者基于空间信息技术和生态位建模原理预测和评估媒介生物的潜在分布^[4,8]。为此本研究拟基于“3S”技术,在生态位理论框架下,建立模型预测新疆准噶尔盆地大沙鼠适生区潜在分布,并划分宿主动物潜在分布风险等级以及受该疫源地威胁的人口空间分布,为该疫源地实施动物鼠疫监测提供依据。

资料与方法

1. 大沙鼠生境调查:选择准噶尔盆地作为研究区域(面积约为 597 363 km²)。大沙鼠分布区域即疫源地的范围,但其空间分布可能有所不同或分隔成若干地段^[9]。2012 年 5、9 月现场调查石河子、吉木萨尔等 21 个县(市),共记录 569 个点,其中发现点 391 个,未发现点 178 个。现场发现有大沙鼠鼠洞或捕获到大沙鼠的地区定义为大沙鼠发现点,相反则为大沙鼠未发现点。为了去除大沙鼠发现点和未发现点的空间聚集性,本研究采用空间自相关统计方法,即 Global Moran's I 为主要统计指标, Moran's I 越小说明点与点之间离散性越好,越接近随机分布。剔除点与点间聚集性后剩余共获得 189 个发现点。

2. 环境变量:研究中使用高程、坡度、坡向、土地覆盖物、归一化植被指数(NDVI)^[10]、生物气候数据(bio1 ~ bio19)共 24 个环境变量。其中“高程”来源

于美国国家航空航天局航天测绘数据集 SRTM30 (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>);使用 ESRI ArcGIS Desktop 9.3 计算“坡度”和“坡向”;“地表覆盖物”数据来自欧洲航天局提供的 GlobCover Land Cover version V2.2 (http://www.esa.int/esaEO/SEMxB7TTGOF_index_0.html);“NDVI”来自 2011 年最大化合成 SPOT-VGT S10 旬值数据 (<http://free.vgt.vito.be>);“bio1 ~ bio19”来自世界气候数据网站(<http://www.worldclim.org/>)。人口分布来自地球系统科学数据共享平台 2003 年全国 1 km 网格人口数据(<http://www.geodata.cn/Portal/metadata/viewMetadata.jsp?id=100101-38>)。考虑变量间可能存在自相关,计算 24 个变量间 spearman 相关系数,除去 $|r| \geq 0.8$ 的变量用于建立预测模型^[11]。

3. 建立生态位模型(ENM):基于生态位理论,将物种分布数据与限制该物种分布的环境变量进行统计学关联,建立分布与环境变量的关系,预测物种的地理分布或者潜在栖息地。ENM 分为 presence-absence 模型和 presence-only 模型,后者中以 Maxent 模型的评价效果及稳定性较好^[12-14],故本研究采用 Maxent 模型预测大沙鼠适生区分布。利用 GPS 获得大沙鼠分布点经纬度信息,结合 RS 获取环境变量,在 GIS 支持下对大沙鼠分布点和环境变量图层进行除聚集性、投影转换、裁切等处理,最后利用 Maxent 软件建模。

4. 统计学分析:使用基于最大熵原理的 Maxent V3.3.3 软件。建立 Maxent 模型时,随机抽取 10 000 个背景点作为伪未发现点,在 189 个空间独立的早獭发现点样本中,随机选取 142 个点(75%)用于建立 ENM,得到预测概率 $P \in (0, 1)$ 的连续型预测图,用受试者工作特征(ROC)曲线及曲线下面积(AUC)值评估预测结果。每个栅格的预测概率值即为可能存在大沙鼠,变量的响应曲线显示随着环境变量的变化对大沙鼠活动适宜性的改变。对适宜阈值划分为 3 个风险等级,并将预测概率 $P \in (0, 1)$ 的预测图转换为风险分级预测图。利用未参与建模的其余 25% 发现点和 2012 年补充调查的未发现点验证模型。利用叠加分析预测结果和人口分布,得到受大沙鼠威胁的人口数及分布范围。

结 果

利用新疆准噶尔盆地大沙鼠发现点资料和遥感环境数据,在生态位理论框架下建立预测大沙鼠生境适宜性模型。在大沙鼠发现点去除空间自相关,

得到 189 个独立样本;24 个遥感环境数据去除变量之间的自相关,得到坡度、坡向、NDVI、土地覆盖、bio2(平均周温度变化)、bio3(等温性)、bio4(温度季节性变化)、bio7(平均年温度变化)、bio9(最干季平均温度)、bio11(最冷季平均温度)、bio13(最湿月降雨量)、bio15(降雨量的季节性变化)以及 bio19(最冷季降雨量)共计 13 个变量。随机选取 142 个(75%)阳性点建立 Maxent 模型。模型的判别能力和拟合优度较高(AUC=0.968),见图 1。得到大沙鼠适生区预测概率 $P \in (0, 1)$ 的预测结果(图 2)。

未参与建模的 25% 大沙鼠发现点和大沙鼠未发现点验证预测模型,采用约登指数最大时对应的栅格值作为阈值建立模型评价四格表计算各项指标,结果灵敏度为 91.4%,特异度为 63.3%,准确度为 73.8%,阳性预测值为 59.7%,阴性预测值为 92.6%,Kappa 系数为 0.495。

为了准确评估准噶尔盆地大沙鼠潜在分布风险,基于阈值法划分大沙鼠潜在分布的风险等级,划分阈值分别为敏感性最大时对应的栅格值和约登指数最大时对应的栅格值。敏感性最大时的阈值为 0.06,代表大沙鼠潜在分布最大范围,定义为中风险区;约登指数即敏感性+特异性-1,最大时的阈值为 0.4,该阈值划分后的敏感性和特异性均较高,为大沙鼠可能存在的最大区域,定义为高风险区(图 3)。

大沙鼠潜在分布的中风险区域非常广泛,覆盖了准噶尔盆地及其周边大部分的区县,面积约为 12 万 km^2 ,约占总面积的 20%;高风险区域则相对集中,主要在准噶尔盆地的核心地区,面积约 37 304 km^2 ,约占总面积的 6.2%。从图 3 可见,5 个分布较为集中的高风险区域,分别位于精河县北部地区,白碱滩区、乌尔禾区及和布克赛尔县南部地区,玛纳斯县北部地区,米东区、阜康市和吉木萨尔县,奇台县和木垒县。其中吉木萨尔县、阜康市、和布克赛尔县、奎屯市、乌鲁木齐市米东区及克拉玛依市辖区、乌尔禾区、白碱滩区的中风险地区分布面积较广,占区县总面积的 60% 以上;高风险地区主要分布在昌吉回族自治

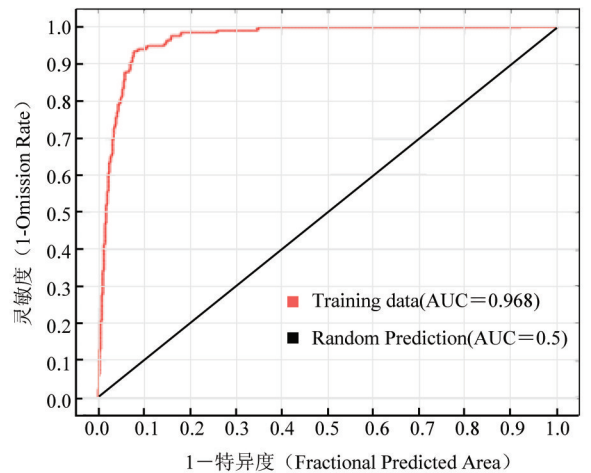


图 1 模型预测 ROC 曲线

州、乌鲁木齐市米东区及克拉玛依市,其中米东区、克拉玛依市辖区及乌尔禾区的分布较广,占总面积的 56% 以上(表 1)。

在风险预测结果的基础上叠加人口分布,获得了大沙鼠主要分布区人口分布风险预测结果(图 4)。其中中风险地区人口约 144 万,分布于 3 582 km^2 区域;高风险人口约 12 万,分布于 261 km^2 区域。其中需要特别关注乌鲁木齐市、五家渠市、克拉玛依市、博乐市、精河县、奎屯市、阜康市、吉木萨尔县及木垒哈萨克自治县。

讨 论

本研究利用新疆准噶尔盆地现场调查获取的大沙鼠分布数据结合遥感环境信息,在生态位理论框

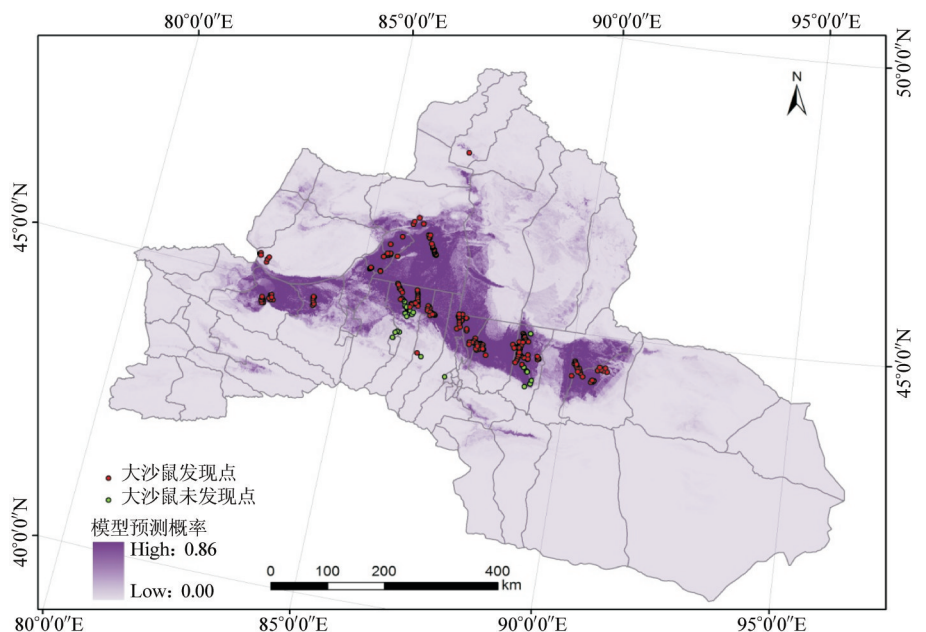


图 2 新疆准噶尔盆地大沙鼠适宜生存区域及其分布概率

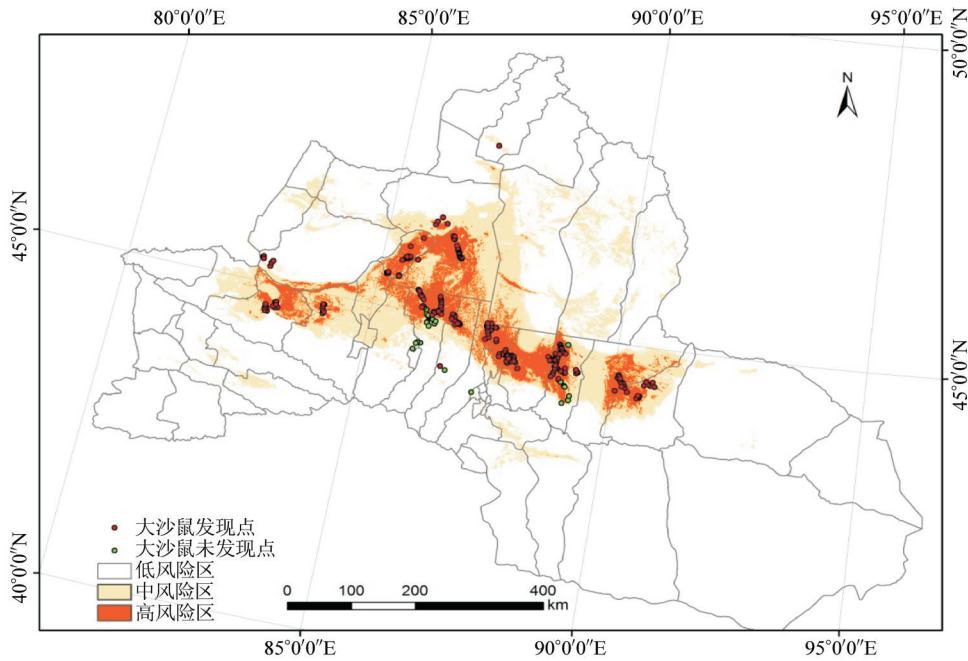


图3 新疆准噶尔盆地大沙鼠不同风险区域分布

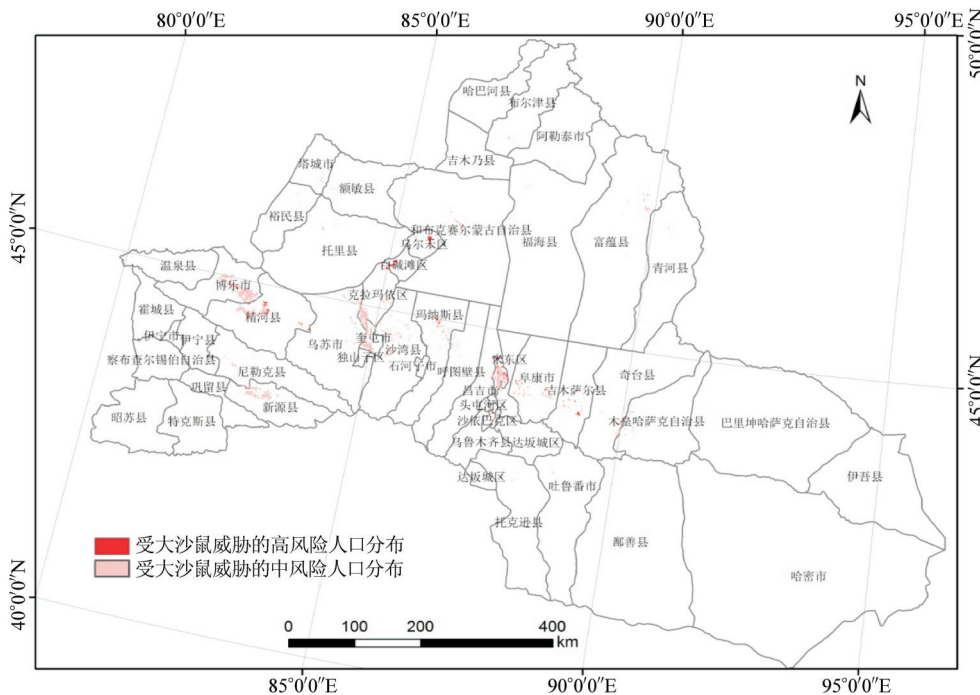


图4 新疆准噶尔盆地预测大沙鼠风险区域的人口分布

架下,基于Maxent模型建立了分析大沙鼠自然疫源地环境特征、预测大沙鼠潜在分布风险模型。预测结果表明该模型判别能力和拟合优度较高(AUC=0.968)。由于大沙鼠分布的空间特异性较低,仅采用单一指标划分很可能将大部分大沙鼠潜在分布概率较高的地区未划分到大沙鼠发现点内,因此建立的模型利用约登指数和阳性预测值将预测概率划分为高、中、低3个等级的风险分布,这样既保证了与

实际调查相符,又可标示出重点关注的高风险地区。

准噶尔盆地大沙鼠分布区主要包括博乐、精河、乌苏、沙湾、托里、和布克赛尔、克拉玛依、石河子、玛纳斯、呼图壁、昌吉、米泉(现米东区)、阜康、吉木萨尔、奇台、木垒、富蕴、福海和乌鲁木齐19个市(县)^[7]。其中有16个被预测为高风险地区,博乐县和富蕴县为中风险地区,石河子市为低风险地区。另外,塔城市、裕民县、额敏县、托克逊县、吐鲁番市、青河县、吉木乃县、布尔津县、阿勒泰市、奎屯市、新源县、尼勒克县、伊宁县、巴里坤哈萨克自治县的部分区域也被预测为大沙鼠潜在分布的中风险地区。本文结果与文献报道的大沙鼠地理分布基本一致^[15]。

为了解大沙鼠潜在分布区域对人类的影响,本研究将预测结果和人口分布叠加,获得大沙鼠分布区人群风险预测结果。19个大沙鼠分布市(县)的

总面积约为25万km²,而本研究预测的高风险地区仅3.7万km²,只占20%(实际上对人类产生威胁的地区只有261km²,仅为0.1%)。因此本文结果还提示应合理配置鼠疫防控资源。

综上所述,基于生态位理论和遥感环境数据可以预测鼠疫自然疫源地大沙鼠潜在适生区,其结果极大缩小重点关注的高风险地区,为鼠间鼠疫监测提供参考。

表 1 新疆准噶尔盆地预测大沙鼠分布风险地区及其面积

地区	市(县)	中风险区域		高风险区域	
		面积 (km ²)	面积 比例	面积 (km ²)	面积 比例
昌吉	木垒	5 879	0.45	1 704	0.13
	吉木萨尔	5 413	0.67	2 861	0.35
	阜康	6 479	0.74	3 964	0.46
	奇台	9 511	0.56	3 015	0.18
	玛纳斯	5 233	0.53	3 568	0.36
	呼图壁	3 292	0.36	1 225	0.13
	昌吉	2 330	0.32	1 257	0.17
塔城	塔城	573	0.15		0.00
	和布克赛尔	19 157	0.66	7 527	0.26
	裕民	841	0.14		0.00
	托里	3 113	0.15	539	0.03
	沙湾	4 896	0.42	758	0.06
	额敏	1 048	0.11		0.00
	乌苏	6 319	0.42	1 566	0.10
吐鲁番	托克逊	641	0.04		0.00
	吐鲁番	756	0.05		0.00
阿勒泰	福海	12 174	0.36	1 052	0.03
	青河	950	0.06		0.00
	吉木乃	675	0.10		0.00
	布尔津	272	0.03		0.00
	阿勒泰	121	0.01		0.00
	富蕴	7 153	0.23		0.00
	博尔塔拉	精河	6 280	0.55	2 741
伊犁	博乐	2 696	0.36		0.00
	奎屯	946	0.90		0.00
乌鲁木齐	新源	858	0.12		0.00
	尼勒克	464	0.05		0.00
	伊宁	209	0.05		0.00
	米东区	2 251	0.68	1 837	0.56
	达坂城区	760	0.13		0.00
克拉玛依	市辖区	3 714	1.00	802	0.71
	乌尔禾	1 854	0.97	1 308	0.73
	白碱滩区	1 562	0.86	1 167	0.25
五家渠		780	0.01	226	0.00
哈密	巴里坤	428			

参 考 文 献

[1] Fang XY, Wang GM. The plague[J]. Bulletin of Biology, 2006, 41(9): 1-4. (in Chinese)
方喜业, 王光明. 鼠疫[J]. 生物学通报, 2006, 41(9): 1-4.

[2] Halpern BS, Walbridge S, Selkoe KA, et al. A global map of human impact on marine ecosystems [J]. Science, 2008, 319 (5865): 948-952.

[3] McGranahan G, Balk D, Anderson B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones[J]. Environ Urban, 2007, 19: 17-37.

[4] Muriuki G, Seabrook L, McAlpine C, et al. Land cover change under unplanned human settlements: a study of the Chyulu Hills squatters, Kenya[J]. Landscap Urban Plan, 2011, 99: 154-165.

[5] Ji SL, He JG, Sun X, et al. The Plague[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1988: 44-130. (in Chinese)
纪树立, 贺建国, 孙玺, 等. 鼠疫[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1988: 44-130.

[6] Liu ZC, Hai R. The discovery and study of *Microtus fuscus* nature plague foci in Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chin J Control Endemic Dis, 2001, 16: 321-327. (in Chinese)
刘振才, 海荣. 青藏高原青海田鼠鼠疫自然疫源地的发现与研究[J]. 中国地方病防治杂志, 2001, 16: 321-327.

[7] Zhang YJ, Dai X, Abulimiti, et al. Study on the situation of plague in Junggar Basin of China [J]. Chin J Epidemiol, 2008, 29 (2): 136-144. (in Chinese)
张渝疆, 戴翔, 阿不力米提, 等. 准噶尔盆地鼠疫调查[J]. 中华流行病学杂志, 2008, 29(2): 136-144.

[8] Wittemyer G, Elsen P, Bean WT, et al. Accelerated human population growth at protected area edges [J]. Science, 2008, 321 (5885): 123-126.

[9] Yu X. Outline of investigation on plague natural focus of *Rhombomys opimus* in Junggar Basin, Xinjiang [J]. Endemic Dis Bull, 2007, 22(2): 57-60. (in Chinese)
于心. 新疆准噶尔盆地荒漠大沙鼠鼠疫自然疫源地调查研究概述[J]. 地方病通报, 2007, 22(2): 57-60.

[10] Qian Q. Predicting the transmission risk of plague and the spatial distribution of plague foci based on environmental factors [D]. Beijing: Academy of Military Medical Sciences of the Chinese PLA, 2010. (in Chinese)
钱全. 基于环境因素预测鼠疫自然疫源地空间分布格局及鼠疫传播风险[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2010.

[11] Liao JS. Study on the potential transmission risks of *Schistosomiasis japonica* in China Based on Ecological Niche Models [D]. Hunan: Central South University, 2011. (in Chinese)
廖吉善. 基于生态位模型研究血吸虫病在中国的潜在传播风险[D]. 湖南: 中南大学, 2011.

[12] Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models [J]. Ecol Letters, 2005, 8(9): 993-1009.

[13] Elith J, Graham CH, Anderson RP, et al. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data [J]. Ecography, 2006, 29(2): 129-151.

[14] Danl W, Stephanie NS. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria [J]. Ecol Applicat, 2011, 21(2): 335-342.

[15] Zhou LZ, Ma Y, Li DQ. Distribution of great gerbil (*Rhombomys opimus*) in China [J]. Acta Zool Sinica, 2000, 46(2): 130-147. (in Chinese)
周立志, 马勇, 李迪强. 大沙鼠在中国的地理分布[J]. 动物学报, 2000, 46(2): 130-147.

(收稿日期: 2014-04-15)

(本文编辑: 张林东)