编者按：

基地恐怖组织头目奥萨马·本·拉登已于2011年5月1日在巴基斯坦阿伯塔巴德被美国海豹突击队击毙。

从1998年美国中央情报局发布本·拉登危险警报算起，美国人追捕本·拉登已有13年。911事件以后为了抓住本·拉登，美国不惜巨资动用了包括卫星跟踪定位、无人机摄影和视频侦察等各种高技术手段，甚至根据本·拉登公布的录像中的岩石和鸟叫声来判断其可能藏匿地。2001年11月以后据情报判断，美国将搜寻范围集中在阿富汗的托拉搏拉山区一带。该地区平均海拔4.2 km，地形复杂，洞穴繁多，易守难攻。尽管美国竭尽全力，却一次次与本·拉登擦肩而过。然而，2010年情况发生了转机，由于本·拉登的信使泄露了行踪，而使美国得以顺藤摸瓜，将本·拉登的藏匿地锁定为距离巴基斯坦首都伊斯兰堡96 km的一座中型城市——阿伯塔巴德里的一座建筑物，最后采取行动在该处将本·拉登击毙。

美国虽然最终击毙了本·拉登，但耗资巨大、旷日持久的搜捕过程不禁让人反思：为何拥有强大军事力量、先进高科技情报系统、庞大的反恐精英队伍的美国历经3届政府、长达十余年的努力最后才得以击毙这个疾病缠身、疲于奔命的本·拉登？本·拉登的最终藏匿地又为何是阿伯塔巴德这个距巴基斯坦首都不远的城市，而非美军一直密集搜索的托拉搏拉山区？

2009年2月17日发表在美国麻省理工学院国际评论(MIT International Review)上的一篇文章《Finding Osama bin Laden: An Application of Biogeographic Theories and Satellite Imagery》让人眼前一亮。论文作者是美国加州大学洛杉矶分校地理系的两位教授和他们的学生，第一作者Thomas W. Gillespie教授(Gillespie和Agnew, 2009)长期从事遥感地理科学研究，在运用地理信息系统和遥感研究生物多样性和种群分布预测方面具有很高的造诣。该论文运用生物地理学理论和遥感影像分析方法，从一个全新的视角提出了一种与美军多年搜寻路线不同，但可检验的判断方法。虽然这篇论文对最终锁定本·拉登的藏匿地可能并没有起到实质作用，但明确地指出本·拉登将藏身于城市而非美军一直耗时耗力搜寻的山区，并且在资料不多的情况下，准确预测了其藏身城市的大小及住所状况，这不能不说是地理学理论和遥感技术相结合在反恐实践中的一次有成效的尝试。虽然文中最后提出的问题，由于本·拉登已死，已不需要回答，但类似的事件还会层出不穷，难道我们不应该从中吸取些什么吗？

——童庆禧

运用生物地理学理论与遥感影像寻找本·拉登

Thomas W. Gillespie, John A. Agnew, Erika Mariano, Scott Mossler, Nolan Jones, Matt Braughton, Jorge Gonzalez

University of California, Los Angeles

摘　要：本·拉登到底在哪里？这是我们这个时代最重要的政治问题之一。在这篇文章中，我们依据反映生物分布和灭绝规律的生物地理学理论(距离衰减理论、岛屿生物地理理论、本·拉登个人数据)，结合遥感数据(陆地卫星 ETM+、航天雷达地形测图、QuickBird)，从全球、区域、局部三个空间尺度分析并最终指出本·拉登当前最可能的所在地。这是第一次运用科学手段来确定本·拉登居所。该方法具有可重复性：一旦美国情报部门提供新的信息，便可通过该方法重新定位本·拉登当前最有可能的藏身场所。

中图分类号：TP79　　**文献标志码：**A

引用格式：Thomas W. Gillespie, John A. Agnew, Erika Mariano, Scott Mossler, Nolan Jones, Matt Braughton, and Jorge Gonzalez. 2011. 运用生物地理学理论与遥感影像寻找本·拉登. 遥感学报，**15**(4): 869–874

收稿日期：2011-05-27；**修订日期：**2011-06-10

第一作者简介：Thomas W. Gillespie，加州大学洛杉矶分校地理系教授，E-mail: tg@geog.ucla.edu。

本文是美国麻省理工学院国际评论(MIT International Review) 2009年2月17日发表文章《Finding Osama bin Laden: An Application of Biogeographic Theories and Satellite Imagery》的全文翻译稿(原文网址: http://web.mit.edu/mitir/2009/online/finding-bin-laden.pdf)，经该刊同意转载，由陈小平翻译，易平萍校对，张立福整理。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 引 言

本·拉登仍然逍遥法外。据悉本·拉登目前已不参与基地日常事务工作，因此他已不再是影响该组织工作效率的关键因素。但这个大胡子煽动者仍给西方留下了一个谜团：本·拉登到底在哪?

中情局新任局长Leon Panetta在参议院情报委员会的听证会上强调：要把搜寻奥萨马·本·拉登做为新机构的首要任务(Kean和Hamilton，2004)。目前一些基地组织指挥官成员如Mohammed Atef、Mohammad Saleh、Khalid Shaikh Mohammed以及Abu Zubaydah已被抓捕归案，尽管美国联邦调查局提供2500万美元高额悬赏金额，本·拉登仍然下落不明(Naughton，2009)。也许中央情报局为了将本·拉登绳之以法已竭尽全力收集各种理论和方法。另一方面，公众似乎从未全心全意地投入到与搜查任务相关的讨论中。而就科学界而言尚未针对寻找本·拉登这一任务提供任何可验证的假说。

在加州大学洛杉矶分校地理系一次非正式讨论中，我们提出一个问题：用于揭示植物和动物在空间及时间上分布规律的生物地理学理论如果结合遥感影像，能否为寻找本·拉登提供线索？下文将详细阐述我们的理论和实验方法。通过展示这些方法，我们希望在这历时漫长的讨论后最终能找到本·拉登。

生物地理学家根据现有最好的信息，采用科学方法做出一系列假设，并运用理论和技术来产生先进且可检验的假说。最近，生物地理学理论和遥感进展显著，为确定本·拉登的位置提供了一个可检验的方法(Nekola和Brown，2007；Gillespie 等，2007)。距离衰减理论和岛屿生物地理理论是两个阐述生物散布和灭绝规律的生物地理学理论。这两个理论可以从全球尺度和区域尺度上缩小搜寻本·拉登的范围。距离衰减理论指出当目标个体离初始位置越远，找到与初始位置相同生物环境组成的可能性越小(呈指数下降)(Nekola和White，1999；Koleff 等，2003；Rocchini，2007)。岛屿生物地理学理论指出岛屿越大，与相邻岛屿间距离越近，岛屿之间生物迁移比率就越高。相比于孤立的小岛，该岛屿可容纳更多生物物种且生物物种的灭绝率更低(MacArthur和Wilson，1967；Hargis 等，1998)。

这些理论可应用于不同空间尺度，结合本·拉登最后出现的地理位置最终确定他当前所在地。根据距离衰减理论可知本·拉登所在地应当接近于他最后出现的地方，即：他更可能出现在与最后出现地有着相似物理环境以及相同文化组成(宗教和政治信仰)的区域。例如，当本·拉登离他最后出现之地越远(进入巴基斯坦非宗教区域或印度)，他所接触的文化环境就会越陌生，这样他被抓获的可能性就越大。由岛屿生物地理理论可知，如果本·拉登在一个较大的城镇中，他被消灭的可能性将小于在那些孤立的小镇中。最后，利用高分辨率影像对城市进行分析，结合本·拉登个人数据确定与之符合的房屋。例如，他需要一些保镖随伺，所以他居住的房屋至少要有3个房间。(表1列出了本·拉登个人数据及各项数据对藏身房屋结构的要求)

表1 奥萨马·本·拉登个人数据及其对居住房屋结构属性的要求

个人信息	对房屋物理结构属性的要求
1.93 m	颇高的楼层
需要电力透析机	要有电网或发电机
严密保护措施	围墙至少有3 m高
习惯保护个人隐私	房舍之间有距离
需要一小队贴身保镖	至少有3间房
避免空中监视	屋外有大树遮挡

现阶段公众已有一些新型遥感工具，使用这些工具可以将以上理论运用于实际中从而产生可检验的假说。从2000年—2007年已成功发射了73颗对地观测卫星，其中大部分卫星可被用来探测地表自然和人造地物特征。尽管有些卫星的分辨率不如美国情报卫星的高，它们也可以为本·拉登当前所在地提供初步假说。

2 方 法

为了确定本·拉登当前最可能出现之地，本文从全球、区域、局部三个不同空间尺度来进行分析(Willis和Whittaker，2002)。在2001年11月13日一位非本地人在阿富汗贾拉拉巴德看见本·拉登，同年11月28日根据电台通信确定本·拉登当时正在托拉博拉的一辆交通工具上(图1)(Stewart，2007)。在全球尺度

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上，我们根据他最后出现之地(托拉博拉)，以卫星影像为底图生成一幅距离衰减概率图(图2)。在区域尺度上，在距离衰减概率图上加载城市岛，并根据岛屿生物地理学理论确定本·拉登最可能出现的城市。在局部空间尺度，我们在区域尺度中提供的最有可能出现的城市里进行系统地搜查，找出符合他的个人数据中6项指标的房屋(表1)。运用遥感数据的方法详见附录1。

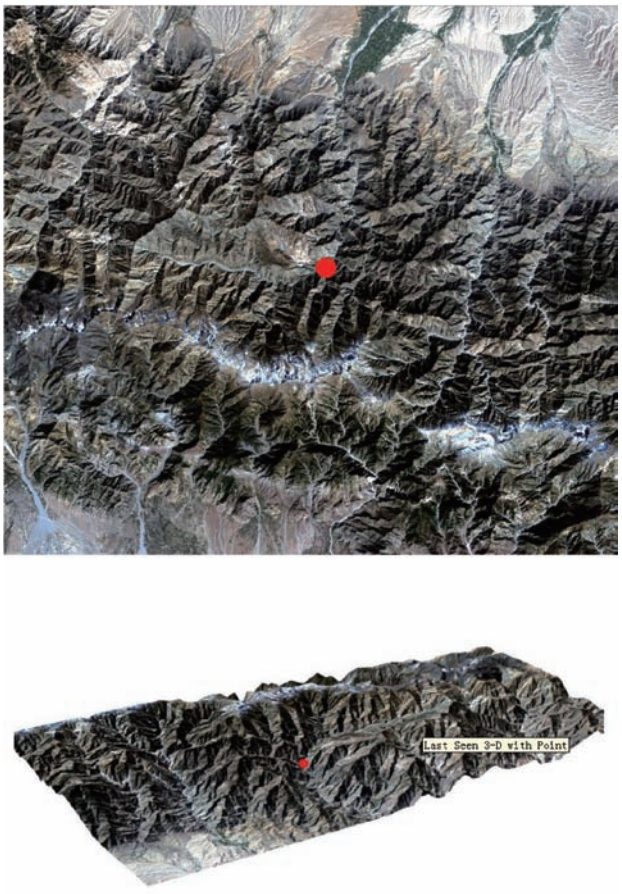


图1 在三维景观影像上显示本·拉登最后的出现之地（托拉博拉）

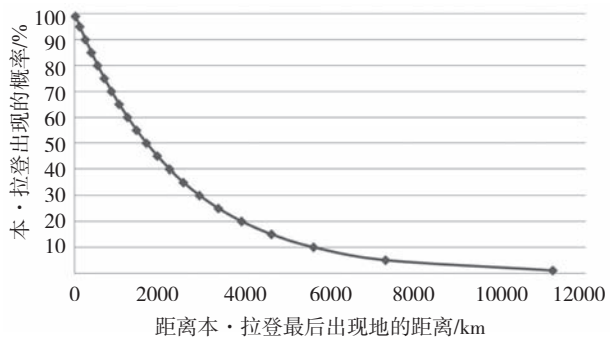


图2 距离衰减指数模型

根据本·拉登2001年最后出现地点，由距离衰减模型计算得出他最有可能藏身于联邦管辖部族地区(FATA)中的古勒姆地区(机率高达98%)(图3)。距离托拉博拉的20 km范围内，一共有26个城市岛。帕拉奇纳尔是其中最大，且隔离程度倒数第4的城市(图4)。从夜间灯光影像可以发现帕拉奇纳尔是离本·拉登最后出现地点最近且是古勒姆地区夜间最亮的城市(图5)。

在对城市帕拉奇纳尔进行建筑物排查后，确定了其中有3个建筑物满足表1中6个条件(图6)，有16个建筑物满足表1中5个条件。

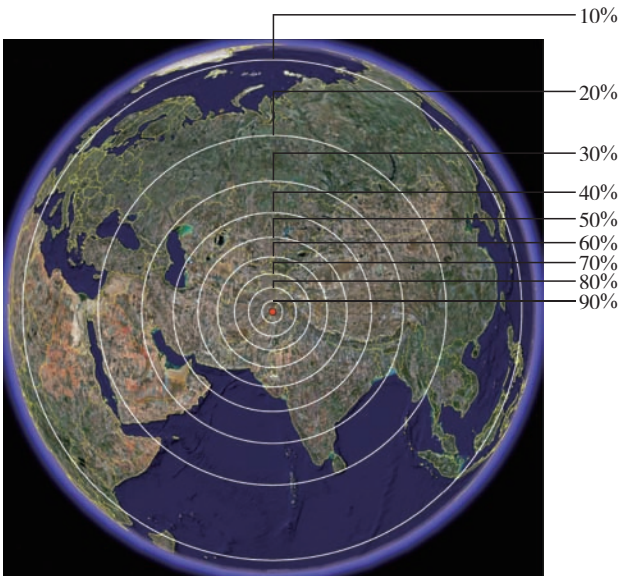


图3 根据距离衰减理论在全球尺度上本·拉登当前位置的概率模型

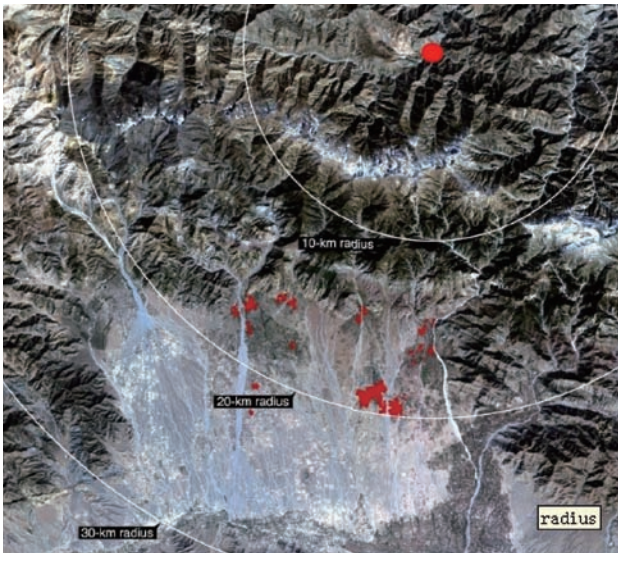


图4 距本·拉登最后一次出现地20 km范围内城市岛分析（从区域尺度）

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

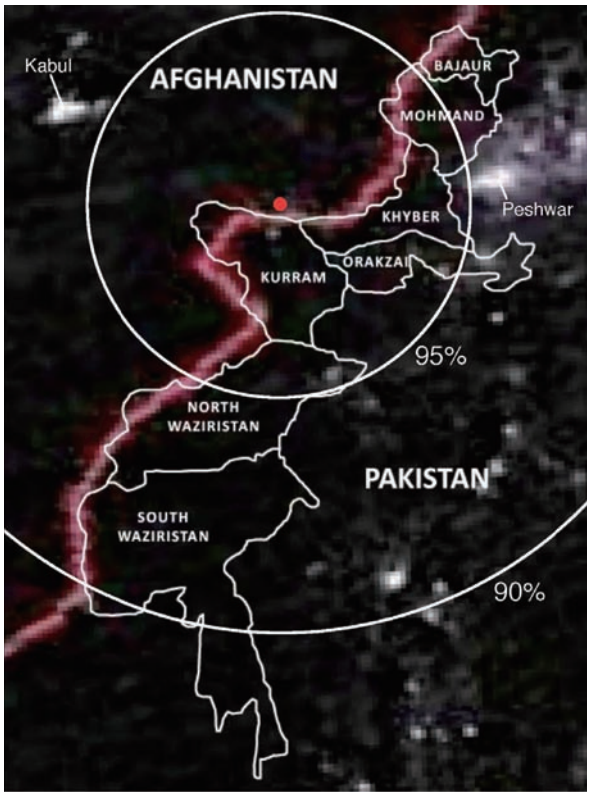


图5 使用夜间灯光影像对巴基斯坦联邦直辖部落地区的城市岛进行分析（从区域尺度）



图6 基于本·拉登个人数据预测他可能藏身的3个建筑物
(a)建筑物A（33.901944° N，70.093746° E）; (b)建筑物B（33.91694° N，70.0959° E）;
(c)建筑物C（33.888207° N，70.113308° E）

● 全球尺度

目前很少有刊物就本·拉登当前藏匿地(在全球或区域尺度上)作出报告。2005年12月11日，一封从Atiyah Abd al-Rahman 寄往Abu Musab al-Zarqawi (据称是本·拉登的二把手) 的信件中提到本·拉登及其基地组织领导集团正在巴基斯坦瓦济里斯区域(DeYoung，2006)。但由如此高级官员泄露本·拉登所在地区的可信度并不高。还有一种假说是本·拉登藏身于FATA那些拥有大量塔利班军事力量的地区。

在全球尺度上，由距离衰减理论可知本·拉登藏身处并不服从随机分布。该理论指出随着与本·拉登最后出现之地距离的增加，他出现的可能性呈指数下降(Nekola和White，1999；Koleff 等，2003；Rocchini，2007)。基于此理论，我们计算的结果是，他出现在巴基斯坦的古勒姆地区的可能性为98%，他在7个联邦直辖部落地区中一个区域出现的可能性为86.6%。

整个联邦直辖部落地区从20世纪70年代起就不受中央政府控制，是武力伊斯兰的大本营。根据本·拉登最后出现在托拉博拉，我们估计他需要在4 km海拔高的地区途经3.1 km才能进入巴基斯坦的古勒姆地区。对于一个44岁的糖尿病患者，这样做无疑十分有难度。古勒姆地区三面被阿富汗边界包围，如果本·拉登离开托拉博拉前往阿富汗将意味着他将抛弃山区将自己暴露在开阔的农村，这样的可能性并不大。

● 区域尺度

在抵抗苏联侵略阿富汗时，帕拉奇纳尔拥有大量伊斯兰教游击队战士，所以现在该地应仍存在大量从该地前往阿富汗的塔利班战士。居住在大城市将减小本·拉登曝光和被消灭的可能，这是因为如果本·拉登选择藏身于小城镇中为数不多保护设施良好的建筑物里，他的安全性和隐密性将极大的降低(图7)。从夜间灯光影像我们可以发现，除了瓦济里斯北部的米拉姆沙(与托拉博拉相距102.3 km)，帕拉奇纳尔是整个联邦直辖部落地区中夜间最亮的城市之一。其他大多数城市夜间几乎没有灯光。白沙瓦夜间灯光最亮且即将落入塔利班的掌控。如果白沙瓦落入塔利班的掌控，该城市拥有的大量建筑物(与FATA地区相比较而言)将导致搜寻本·拉登的难度大大增加。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图7 巴基斯坦古勒姆地区小型城市岛及其建筑物示例

- 局部尺度

根据奥萨马·本·拉登个人数据，我们锁定3个建筑物为目标，建议通过近距离监视来检验这个结果正确性。A、B、C这3个建筑物是帕拉奇纳尔城市中设防最严密且占地面积较大的居所。建筑物A和C是居民房，而建筑物B更像是一所监狱。不过，假如建筑物B真是一所监狱，这个监狱也配有整个帕拉奇纳尔城市最好的花园。除此之外，还有16个建筑物满足奥萨马·本·拉登个人数据中的五项指标(图6和表2)。研究结果表明本·拉登应藏匿在A、B、C三个房屋之中。现在还流行一种观点：本·拉登躲在洞穴里。藏匿人的洞穴需要满足一些基本条件如：密封的入口、供暖和通风设施以及由外界逐年或逐月提供的生活必需品。满足这些条件将在空间尺度上产生一些非常容易识别的标识，所以本·拉登藏在洞穴这一假说可能性不大但也可进行相关检验。

表2 帕拉奇纳尔城市7个1 km×1 km格网中较符合本·拉登个人数据(至少满足5点特征)的建筑物集

格网标号	建筑物	得分	纬度/(°)	经度/(°)
1	1	5	33.903432	70.091091
	2	6	33.901944	70.093746
	3	5	33.902662	70.095839
2	1	5	33.899715	70.104956
	2	5	33.900707	70.103338
	3	5	33.906885	70.105129
3	1	5	33.898657	70.116777
	2	5	33.899745	70.118473
	3	5	33.894525	70.121523
4	1	5	33.897951	70.089383
	2	5	33.898225	70.087519
5	1	5	33.892353	70.106461
	2	5	33.887763	70.111442
6	1	5	33.885623	70.115935
	2	5	33.891417	70.114477
	3	5	33.888207	70.113308
7	1	5	33.911694	70.095900
	2	5	33.913399	70.097189

3 结论与展望

我们的模型和所有其他模型一样都具有关键的假设。本文中通过这个可检验的尺度假说来排除本·拉登不可能在的地方，从而缩小搜寻本·拉登的范围。目前一些商用卫星可以提供0.4 m高分辨率影像，从这些影像上我们可以看到联邦直辖部落地区所有建筑物的清晰影像。但这些开放的卫星高分辨率影像已足以对该地国家安全产生威胁(Butler，2005；Nourbakhsh和Sargent，2006)。例如，2005年10月8日克什米尔地震后，为了方便救灾工作的展开，国际救援组织在网上共享该地高分辨率卫星影像。巴基斯坦政府迫使删除这些影像，因为他们担心这些数据会损害克什米尔当地的安全。从这一角度考虑，当前利用这一技术就本·拉登目前所在地这一问题建立面向公众的数据库也许是不合时宜的。

美国情报界至少有3家机构参与搜寻本·拉登的工作。国家安全局负责密码破译和通讯监控。国家地理空间情报局负责制图和对监控影像进行分析。而卫星影像由国家侦察办公室提供。美国情报界去年就情报活动一项耗资500亿美元，这其中有一部分一定被用来搜寻本·拉登。美国情报界应该就2001年—2006年所有收集到的数据对公众做一份报告。以上提及的3个机构应从以下3个方面检验文中假说：(1)本·拉登是否在巴基斯坦的古勒姆地区；(2)本·拉登是否在帕

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

拉奇纳尔城市；(3)本·拉登是否藏于文中所提及3个假定的建筑物之一。本文方法是可重复操作的，一旦美国情报界更新了本·拉登最后出现之地，便可重新定位本·拉登最有可能的藏身之处。

REFERENCES

Butler D. 2005. Quake aid hampered by ban on web shots. Nature 437(7062): 1072–1073.

Nourbakhsh I and Sargent R. 2006. Mapping disaster zones. Nature 439(7078): 787–788

DeYoung K. 2006. Letter gives glimpse of Al-Qaeda's leadership. [2006-10-02] http://www.washingtonpost.com

Gillespie T W, Chu J, Frankenberg and E Thomas D. 2007. Assessment and prediction of natural hazards from satellite imagery. Progress in Physical Geography, 31(5): 459–470

Gillespie T W and Agnew J A. 2009. Finding Osama bin Laden: An Application of Biogeographic Theories and Satellite Imagery. MIT International Review, http://web.mit.edu/mitir/2009/online/finding-bin-laden.pdf [2009-02-17] http://web.mit.edu/mitir

Hargis C D, Bissonette J A and David J L. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. Landscape Ecology, 13(10): 167–186

Willis K J and Whittaker R J. 2002. Species diversity-scale matters. Science, 295(5558): 1245–1248

Kean T H and Hamilton L. 2004. The 9/11 Commission Report: Final Report of the National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States. New York: W.W. Norton and Company

Koleff P, Gaston K J and Lennon J J. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. Journal of Animal Ecology, 72(3):367–382

MacArthur R H and Wilson E O. 1967. The Theory of Island Biogeography. Princeton: Princeton University Press

Naughton P. 2009. Osama bin Laden calls for new jihad over Israeli offensive in Gaza. New York Times, 2009-01-14

Nekola J C and Brown J H. 2007. The wealth of species: ecological communities, complex systems and the legacy of Frank Preston. Ecology Letters, 10(3): 188–196

Nekola J C and White P S. 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. Journal of Biogeography, 26(4): 867–878

Rocchini D. 2007. Distance decay in spectral space in analyzing ecosystem-diversity. International Journal of Remote Sensing, 28(11): 2635–2644

Stewart J. 2007. The Savage Border: The History of the North-West Frontier. Gloucestershire: Sutton Publishing Limited

附录1：卫星影像及处理方法

- 卫星影像

为了寻找本·拉登当前位置，选择的卫星数据有：陆地卫星ETM+影像，航天雷达地形测图，快鸟影像，国防气象卫星业务化线扫描影像。将所有的影像统一校正到WGS-84地理坐标系统下。其中，ETM+影像有两幅，时间分别是2001-03-28和2002-09-22，覆盖阿富汗和巴基斯坦地区，分辨率为30 m。航天雷达地形测图提供分辨率为90 m的地面高程影像，用于与同一区域ETM+影像融合。0.6 m分辨率的快鸟可见光影像可通过Google Earth获得，一共有2幅(2004-03-19至2007-11-12)。国防气象卫星业务化线扫描系统影像收集的是2007年无云和低月照情况下的数据。

- 数据分析

全球尺度：通过ETM+和航天雷达地形测图影像合成托拉博拉地区的三维景观模型，并在影像上标识出本·拉登最后的出现之地。距离衰减模型中将初始地点定为托拉博拉，利用指数曲线来模拟本·拉登在各地出现的概率。其中，假设本·拉登在托拉博拉(34.0641° N，70.1375° E) 出现的概率为99%，在华盛顿白宫(38.8976° N，77.0366° W，11246 km)出现的概率为1%(图1)。根据这些假设可以算出指数模型($P(d)=k^d$)中的常数k。(d为与最后一次出现地点之间的距离，$P(d)$为本·拉登在距离d处出现的概率)。根据这个公式我们可以发现，距离本·拉登最后一次出现地越远，本·拉登出现的概率越低。一旦知道距离，便可以根据这个公式($P(d)=0.99959058977238^d$)算出本·拉登出现的概率。

区域尺度：将所有大于100 m × 100 m的城市岛在地理编码的快鸟影像中数字化并在ArcGIS 9.0系统中表达其区域大小和隔离指标。城市岛是指在空间上具有连续人造地物的一片区域，它的隔离指标就是通过它与其他所有城市岛之间以km为单位所表示的距离计算得到(Hargis 等，1998)。在夜间灯光影像上加载联邦直辖部落地区边界，来确定联邦制辖部落地区中的城市岛。

局部尺度：在确定了本·拉登最可能出现的城市后，获取当地的快鸟影像。将整幅影像分割成1 km × 1 km的格网，然后根据本·拉登个人数据中的六项特征在每个格网中寻找与之匹配的建筑物(表1)。每符合一项特征就给对应的建筑物加上1分。最后那些获得高分值(5分或6分)的建筑物即为本·拉登最可能的藏匿地点。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net