

美国大陆外来入侵物种斑马纹贻贝 (*Dreissena polymorpha*) 潜在生境预测模型

李明阳¹, 巨云为¹, Sunil Kumar², Thomas J. Stohlgren^{2,3}

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037; 2. 美国科罗拉多州立大学自然资源与生态实验室, 科罗拉多州 柯林斯堡市 80523;
3. 美国地质调查局柯林斯堡研究中心, 科罗拉多州 柯林斯堡市 80523)

摘要:防止外来生物入侵造成危害的重要手段是阻止可能造成入侵的物种进入适合其生存的地区。论文以 1864 个美国外来入侵物种斑马纹贻贝定点发生数据和开放式基础地理信息数据库 Daymet 的 34 个环境变量为主要信息源, 采用逻辑斯蒂回归 (LR)、分类与回归树模型 (CART)、基于规则的遗传算法 (GARP)、最大熵法 (Maxent) 4 种途径, 建立美国大陆部分潜在生境预测模型, 从接受者运行特征曲线下面积 (AUC)、Pearson 相关系数、Kappa 值 3 个方面来检验模型预测精度, 在此基础上分析斑马纹贻贝的空间分布规律及其环境影响因素。研究结果表明: 在 3 个评价指标中, 4 个生态位模型预测精度均达到优良水平, 其中 Maxent 在物种现实生境模拟、主要生态环境因子筛选、环境因子对物种生境影响的定量描述方面都表现出了优越的性能; 距水源距离、海拔高度、降水频率、太阳辐射是影响物种空间分布的主要环境因子。论文提出的研究方法对中国外来入侵物种生境预测具有较强的借鉴意义, 研究结果对中国海洋外来入侵物种沙筛贝的预测与防治, 具有一定的指导作用。

关键词:外来入侵物种; 斑马纹贻贝; 潜在生境; 生态位模型

文章编号: 1000-0933(2008)09-4253-06 中图分类号: Q143, Q16, X17 文献标识码: A

Modeling potential habitat for alien species of *Dreissena polymorpha* in the continental USA

LI Ming-Yang¹, JU Yun-Wei¹, Sunil Kumar², Thomas J. Stohlgren^{2,3}

1 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2 Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, CO, 80523, USA

3 U. S. Geological Survey, Fort Collins Science Center, Fort Collins, CO, 80523, USA

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4253 ~ 4258.

Abstract: The effective measure to minimize the damage from invasive species is to block the potential invasive species entering into suitable areas. Occurrence records from 1864 locations and 34 environmental variables from Daymet datasets were gathered, four modeling methods including Logistic Regression (LR), Classification and Regression Trees (CART), Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction (GARP) and maximum entropy method (Maxent) were used to generate potential geographic distributions for *Dreissena polymorpha* in the continental USA. Then three statistical criteria including area under the Receiver Operating Characteristic curve (AUC), correlation (COR) and Kappa were calculated to evaluate the performance of the models, followed by analyses of major variable contributions. Results showed that in terms of three statistical criteria, the predictions from four modeling methods were either excellent or outstanding, in which Maxent

基金项目:北京林业大学省部共建教育部重点实验室开放基金资助项目 (GJSYS100220402); 国家林业局 948 资助项目 (2008-4-56)

收稿日期:2008-03-28; **修订日期:**2008-05-30

作者简介:李明阳 (1967 ~), 男, 河南三门峡人, 博士, 主要从事入侵生态学、3S 应用研究. E-mail: lmy196727@126.com

Foundation item: The project was financially supported by Key Laboratory Open Foundation of State Education Ministry (No. GJSYS100220402) and SFA 948 Program of China (No. 2008-4-56)

Received date:2008-03-28; **Accepted date:**2008-05-30

Biography: LI Ming-Yang, Ph. D., mainly engaged in invasive ecology and geomatics. E-mail: lmy196727@126.com

outperformed others in three aspects of predicting potential habitat distribution, selection of major contributing factors, quantifying the influence of environmental variables on habitat. Distance to water, elevation, frequency of precipitation and solar radiation were the four forcing environmental factors. The methods suggested in the paper could be used for modeling habitat of Chinese alien species and provide a direction to prevention of *Mytilopsis sallei* on Chinese coast line.

Key Words: alien invasive species; *Dreissena polymorpha*; potential habitat; ecological niche model

外来有害生物入侵是一项全球性的问题,防止外来生物入侵造成危害的重要手段是阻止可能造成入侵的物种进入适合其生存的地区,即探明物种一旦引入将会在什么地方生存,其生存、爆发的可能性以及扩散的范围有多大^[1]。

作为全球 16 种最具危险性的外来入侵物种之一的斑马纹贻贝 (*Dreissena polymorpha*),原产于欧洲里海及黑海区域,1988 年在美国和加拿大交界的五大湖地区首先被发现^[2]。几年之后,该入侵物种迅速扩展至整个五大湖地区,并入侵美国五大湖以外的淡水流域和内陆湖泊。斑马纹贻贝堵塞管道,污染水源,排挤当地物种,对水力发电、居民饮水、船舶航运、水产养殖、水上旅游造成严重的经济损失^[3]。

与斑马纹贻贝同科的沙筛贝 (*Mytilopsis sallei*),原产于中美州,中国大陆沿海先后在厦门马銮湾(1990 年)、福建省东山八尺门(1993 年)和惠安北岐(1998 年)发现。1995 年前后,沙筛贝在马銮湾迅速扩散,几乎覆盖所有的网箱、浮球、柱桩、缆绳等一切能附着的面,成为污损生物群落的优势种。沙筛贝与养殖贝类争夺附着基、饵料和溶解氧,污染水源,对沿海航运、水产养殖造成了严重的经济损失^[4]。

在北美地区,关于斑马纹贻贝生态环境影响和防治措施的论文较多,然而有关该入侵物种潜在生境预测的研究多限于单一模型的研究^[5],缺乏多种生态位模型的预测性能比较和生态环境因子深入分析。本文以斑马纹贻贝美国大陆部分全球定位系统(GPS)定点发生数据、美国 Daymet 基础地理信息数据库为主要信息源,分别采用逻辑斯蒂回归(LR)、分类与回归树模型(CART)、基于规则的遗传算法(GARP)、最大熵法(Maxent)4 种生态位模型,建立潜在生境预测模型,通过接受者运行特征曲线下面积(AUC)、Pearson 相关系数 COR、Kappa 值 3 个指标来检验模型预测精度,在此基础上分析斑马纹贻贝的空间分布规律及其环境影响因素,以期总结出外来入侵物种潜在生境预测建模的一般规律和基本途径,从而对我国海洋外来入侵物种沙筛贝的预测预报工作提供借鉴经验。

1 材料与方法

1.1 数据源

美国地质调查局柯林斯堡研究中心(U. S. Geological Survey, Fort Collins Science Center)提供的斑马纹贻贝美国大陆部分 1864 个 GPS 定点发生数据(<http://www.niiss.org>);美国蒙大拿大学“数字地形动态模拟项目组”(University of Montana, Numerical Terra-dynamic Simulation Group)开发的“Daymet 基础地理信息数据库”(<http://www.daymet.org/default.jsp>),涵盖温度、地形、降水、太阳辐射、植被指数等 34 个生态环境因子,空间分辨率为 1km,地理范围覆盖美国大陆部分 48 个州。

1.2 软件平台

美国 ESRI 公司开发的全系列地理信息系统平台 ArcGis 9.2;美国 SYSTAT 软件公司开发的统计分析软件 SYSTAT 12.0;美国堪萨斯大学生物多样性研究中心 R. Scachetti Pereira 开发的 Desktop Garp 1.1.6;美国普林斯顿大学 AT&T 实验室 Steven Phillips 和 Miro Dudik 等人开发的 Maxent 3.1.0;德国波茨坦大学地生态学研究所在 Bonn 和 Schröder 开发的 ROC-Plot。

斑马纹贻贝发生点生态环境因子的提取,是利用 ArcGis 平台上外挂式分析工具 HawthTools 中的 Intersect Point Tool 实现的,投影转换、参数反演、ASCII 文件到栅格文件的转换、潜在生境制图则通过 ArcMap 实现。Pearson 相关分析、数据变换、逻辑斯蒂回归、分类与回归树模型是通过 SYSTAT 实现的。基于规则的遗传算

法、最大熵法模型则分别通过 Desktop Garp、Maxent 实现。预测模型验证指标 AUC、P-Kappa 的计算通过 ROC-Plot 程序实现,而 COR 的计算通过 SYSTAT 实现。

1.3 技术路线

入侵物种发生地 (presence point) 生态环境因子相关分析→主要生态环境因子提取→入侵物种未发生地背景坐标点 (absence point) 的生成→预测模型建立→模型验证和精度评价→外来入侵物种生态环境因子分析。

1.3.1 主要生态环境因子的提取

在 Daymet 基础地理信息数据库 34 个环境变量中,许多变量存在着较为密切的相关性,这种相关性一方面会增大主要生态环境因子识别的难度,另外难以满足逻辑斯蒂回归预测模型变量正态、独立的建模要求。为此,在对 1864 个发生点 34 个环境因子进行 Pearson 相关分析基础上,运行 Maxent 模型,计算出各个环境变量对预测概率的贡献值。在相互关联的多个变量中,保留对预测概率贡献较大的变量,作为建模变量。共筛选出距水源距离 (dist_water, 34.1%)、海拔 (elev, 28.7%)、降水频率 (freqprecip, 10.3%)、太阳辐射 (radiation, 9.9%)、温度季节性变化 (bio4, 7.1%)、降水季节性变化 (bio15, 3.3%)、增强型植被指数变化范围 (evirange, 3.2%) 7 个环境变量,合计贡献率达 96.6%,以此作为外来入侵物种潜在生境预测建模的主要环境变量。

1.3.2 入侵物种未发生地背景坐标点的生成

在 4 个潜在生境预测模型中,Maxent、GARP 模型只要求提供发生点数据,而 LR、CART 则同时要求具备发生点、未发生点环境因子和发生概率数据,同时 4 个生态位预测模型的验证也需要同时具备这两种数据。在外来入侵物种生境建模中,通常将发生地以外的背景作为未发生地。在 ArcGis 平台上,以美国大陆部分的边界为参考,随机生成 2000 个抽样点,为避免集聚效应 (Aggregation) 的发生,抽样点彼此之间的最小间距设置为 0.3° (GCS_WGS_1984 坐标系)。通过 Intersect Point Tool 提取这些抽样点 Maxent 预测概率,根据统计学原理,将发生概率 $P < 0.05$ 的抽样点作为未发生点,共生成未发生地背景坐标点 564 个。通过 Merge 运算,将两个 presence point Shape、absence point Shape 文件合并,生成一个统一的建模空间数据库,将发生点的概率设置为 1,未发生点的概率设置为 0,随机抽取其中的 70% 样本点用于建模,30% 用于模型验证。

2 结果与分析

2.1 预测模型的建立

选取与斑马纹贻贝空间分布密切相关的 7 个环境变量,分别代入相应的软件,进行潜在生境预测。对于 LR 模型来说,在相关分析基础上,对不符合正态分布要求的海拔、距水源距离、太阳辐射 3 个环境变量,分别进行自然对数、平方根变换,以满足 LR 模型变量正态、独立的建模要求,得出 LR 预测模型如下:

$$y = 27.062 - 0.323 \times \text{bio15} + 0.029 \times \text{bio4} - 0.020 \times \text{sqrt}(\text{dist_water}) - 2.244 \times \ln(\text{elev}) - 9.744 \ln(\text{radiation}) + 4.552 \times \text{freqprecip} - 0.001 \times \text{evirange} \quad (1)$$

其中,7 个环境变量的含义参见材料与方法 1.3.1, sqrt、ln 分别指数据的平方根、自然对数变换。LR 模型的 Naglekerke's R^2 为 0.920,即预测模型能够解释 92% 的环境变量差异,模型拟合精度较高。在此基础上,在 ArcMap 平台上,借助于 spatial analyst 工具中的 raster calculator,通过公式 $\text{LR} = \exp(y) / [\exp(y) + 1]$ 进行参数反演,生成斑马纹贻贝潜在生境预测概率图 (图 1-A)。

对于 CART 模型,输入的 7 个环境变量,只有 elev、bio15、radiation 起作用,模型误差比例降低值 (PRE) 为 0.854,即预测模型能够解释 85.4% 的环境变量差异。在生成 CART 模型基础上,借助于 raster calculator 中的条件判断函数 con(),通过公式 (2) 进行参数反演,生成斑马纹贻贝潜在生境预测概率图 (图 1-B)。

$$\text{CART} = \text{con}[(\text{elev} + \text{bio15}) > 401, 0.185, \text{con}(\text{radiation} < 15.26, 1.0, 0.035)] \quad (2)$$

由于 Garp 模型运行的不稳定性,每次运算结果都不完全一致^[6],采用软件程序的缺省配置 (20 次运算,每次最大迭代数 1000,收敛值 0.01),在运算结果产生的最佳子集中,选取模型训练精度最高 (0.8863) 的运

算结果作为模型预测值。对于 Maxent 模型,第一次运算的主要目的在于识别主要环境变量,同时辅助生成斑马纹贻贝未发生地背景坐标点。模型第二次运算时,仅仅代入 7 个环境变量,模型训练精度 AUC 为 0.989,说明模型拟合精度极高。通过 ArcGis 中 ArcToolbox 数据转换功能,将 GARP、Mxent 的模型预测结果从 ASCII 文件转换为 Raster 文件格式(图 1-C、1-D)。

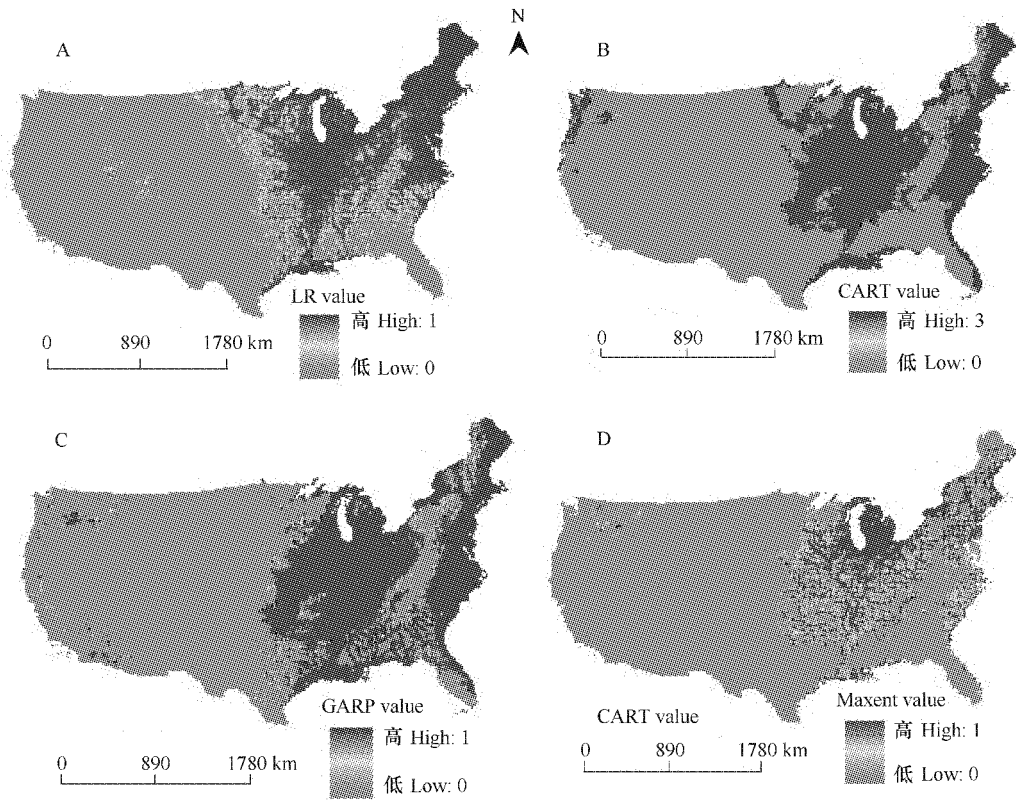


图 1 斑马纹贻贝美国大陆部分潜在生境分布图

Fig. 1 Potential habitat map for *Dreissena polymorpha* in the continental USA

2.2 模型验证

分别采用 AUC、P-Kappa、COR 三个统计指标来评价预测模型的性能(表 1)。AUC 是一个与参考阈值无关的统计量,通过百分比的方法计算解靴带置信区间(bootstrap confidence interval),来评价模型区分存在点和背景点的诊断性能^[7]。一般认为 AUC 值为 0.5~0.7 时模型诊断价值较低;为 0.7~0.9 时诊断价值中等;大于 0.9 时诊断价值优秀。与 AUC 不同, Kappa 是一个与参考阈值有关的统计量,具有机会改正的能力,综合考虑了冗余误差和代表误差的影响^[8],在论文中采用最大 Kappa 值 P-Kappa 来衡量模型的精度。COR,也称为点双列相关系数,一般通过 Person 相关系数来计算,与基于等级的 AUC 不同,COR 考察的重点是验证数据观察值与模型预测值的偏离程度^[9]。

从表 1 看出,4 个模型的 AUC 值均大于 0.9,说明选择的预测模型诊断价值都达到了优秀水平。在 3 项指标中,4 个模型相差不大,总体平均值非常接近,说明 4 个预测模型虽各有特色,但总体性能相差不大。值得注意的是,Maxent 模型总体平均值最高,与该模型最大熵值算法设计、处理抽样偏差、分辨变量间交互作用

表 1 预测模型验证指标计算表

Table 1 Evaluation statistical criteria of prediction models				
指标 Criteria	LR	CART	GARP	Maxent
AUC	0.9383	0.9205	0.9167	0.9358
P-KAPPA	0.8184	0.8490	0.8368	0.8604
COR	0.8086	0.8455	0.8368	0.8359
平均值 Average	0.8551	0.8717	0.8634	0.8774

的能力有关^[10]。与 LR 相比, CART、GARP 虽具有较高的总体平均值,但这 2 个模型预测结果是只包含 1、0 的离散型概率值,这说明它们对存在、不存在之间的细微差别难以识别,这可以从 CART、GARP 较低的 AUC 值看出来。另外,Maxent、LR 对入侵物种现实生境的刻画功能虽强,但对潜在生境的预测能力并不强。从图 1 可以看出,在 CART、GARP 模型中,清晰地显示出美国西北角的外来物种潜在生境,而 LR、Maxent 模型却难以揭示出这一趋势。

2.3 斑马纹贻贝潜在生境生态环境因子分析

从图 1 可以看出,斑马纹贻贝主要集中在 3 个区域:美国和加拿大交界的五大湖地区及其下游 Ohio River、Mississippi River 等内陆河流两岸,美国东部沿海地区,美国西北部 Columbia River、Sacramento River、San Joaquin River 内陆河流地区。

影响斑马纹贻贝生境的主要环境因子有 7 个,按照对存在概率贡献值由大到小的顺序排列依次是:距水源距离 (dist_water, 34.1%)、海拔 (elev, 28.7%)、降水频率 (freqprecip, 10.3%)、太阳辐射 (radiation, 9.9%)、温度季节性变化 (bio4, 7.1%)、降水季节性变化 (bio15, 3.3%)、增强型植被指数变化范围 (evirange, 3.2%)。这里采用模型综合评价指数最高的 Maxent 模型输出的环境变量对存在概率反应曲线来分析斑马纹贻贝的生态环境因子(图 2)。为节省篇幅,这里只给出前 4 个主要环境因子的反应曲线,其它 3 个变量则结合结果 2.1 中的 LR 回归方程自变量系数加以说明。图 2 反应曲线中的横坐标为环境变量,纵坐标为环境变量对预测概率贡献值的自然对数。

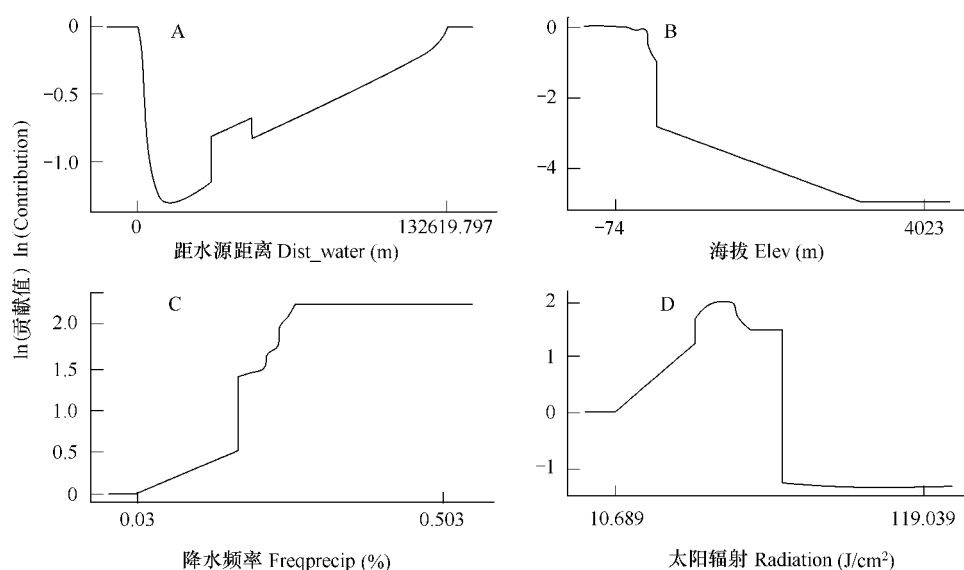


图 2 环境变量对预测概率贡献值的反应曲线

Fig. 2 Response Curve of environmental variables to probability

从图 2 可以看出,作为一种水生软体动物,斑马纹贻贝喜欢低洼、潮湿的生态环境,对栖息地水文状况要求较高,对太阳辐射的适应力较差,同时具有一定的抗干旱的陆地生存能力。在水中,斑马纹贻贝的生存概率最大;在岸边,生存概率最小;随着离岸边距离的扩大,生存概率逐渐增大(图 2-A)。在低于海平面的淡水中,斑马纹贻贝的生存概率最大,随着海拔的升高,降水概率逐渐降低,太阳辐射越来越强,生存概率逐渐减少(图 2-B)。从图 2-C 可以看出,斑马纹贻贝的生存概率随着降水频率的增大而增大,但当降水频率增大到 0.28 左右时,已有的降水量已经能够满足其生存基本需求,生存概率不再继续增大。从图 2-D 可以看出,作为一种水生软体动物,斑马纹贻贝具有一定的陆地生活能力,在 0~14 范围内,随着太阳辐射的增强,生存概率逐渐增强,表现出较强的繁殖能力,但当太阳辐射增加到 14 以上,斑马纹贻贝的生存概率迅速降低,表明该外来物种对高温、强太阳辐射能力的忍耐力较差。

从结果 2.1 中的 LR 回归方程可以看出,斑马纹贻贝的潜在生境概率与距水源距离(−0.020)、海拔高度(−2.244)、太阳辐射(−9.744)呈负相关关系,与降水频率(4.552)正相关,变化趋势与 Mxent 反应曲线完全一致。从 LR 回归方程还可以看出,斑马纹贻贝的潜在生境概率与温度季节性变化(0.029)呈正相关关系,与降水季节性变化(−0.323)、增强型植被指数变化范围(−0.0001)负相关。这些相关关系表明,在生境选择上,斑马纹贻贝对水文状况要求较高,但能够承受较大幅度的季节性温度变化,同时对主要食物水藻的变化(evirange)耐受力较弱。

3 结论与讨论

(1)各项评价指标表明,借助于外来物种发生数据和开放式基础地理信息数据,采用生态位模型 LR、CART、GARP、Maxent,对斑马纹贻贝美国大陆部分的潜在生境进行预测,预测精度较高,研究方法对大尺度上中国主要外来入侵物种生境预测具有较强的借鉴作用。

(2)在 4 个生态位模型中,Maxent 在物种现实生境模拟、主要生态环境因子筛选、环境因子对物种生境影响的定量描述方面都表现出了优越的性能,从而成为外来物种潜在生境预测的首选模型。

(3)根据主要环境因子对斑马纹贻贝生境影响的分析,距水源距离、海拔高度、降水频率、太阳辐射是影响物种空间分布的主要环境因子。Drake^[5]研究表明,铲除水藻,减少水源,提高水温,增大太阳辐射剂量,有可能成为防治斑马纹贻贝的主要措施,这对与斑马纹贻贝近亲属的中国海洋外来入侵物种沙筛贝的预测与防治,无疑具有一定的指导作用。

(4)如何生成外来入侵物种发生的背景值(absence point)是 LR、CART 模型建立的前提和 4 个预测模型验证的基础。国外没有现成的方法可以借鉴,本文提出的设计思路虽符合统计学的要求,但其理论上尚需进一步验证。

References:

- [1] Higgins S I, Richardson D M, Cowling R M, *et al.* Predicting the landscape scale distribution of alien plants and their threats to plant diversity. *Conservatory Biology*, 1999, 13: 303–313.
- [2] Hebert, P D N, Muncaster B W, Mackie G L. Ecological and genetic studies on *Dreissena polymorpha* (Pallas): a new mollusk in the Great Lakes. *Canada Journal of Fish and Aquatic Science*, 1989, 46: 1587–1591.
- [3] Hebert P D N, Wilson C C, Murdoch M H and Lazar R. Demography and ecological impacts of the invading mollusk, *Dreissena polymorpha*. *Canada Journal of Zoology*, 1991, 69: 405–409.
- [4] Li Z Y, Xie Y. Alien Invasive Species in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 30–60.
- [5] Drake J M and Bossenbroek J M. The potential distribution of zebra mussels in the United States. *BioScience*, 2004, 54: 931–941.
- [6] Stockwell D & Peters D. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 1999, 13(2): 143–158.
- [7] Hanley J A, McNeil B J. The meaning and use of the area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 1982, 143: 29–36.
- [8] Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 1960, 20: 37–46.
- [9] Zheng B. and Agresti A. Summarizing the predictive power of a generalized linear model. *Statistics in Medicine*, 2000, 19: 1771–1781.
- [10] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 2006, 190: 231–259.

参考文献:

- [4] 李振宇, 解焱. 中国外来入侵物种. 北京: 中国林业出版社, 2002. 30–60.

算结果作为模型预测值。对于 Maxent 模型,第一次运算的主要目的在于识别主要环境变量,同时辅助生成斑马纹贻贝未发生地背景坐标点。模型第二次运算时,仅仅代入 7 个环境变量,模型训练精度 AUC 为 0.989,说明模型拟合精度极高。通过 ArcGis 中 ArcToolbox 数据转换功能,将 GARP、Mxent 的模型预测结果从 ASCII 文件转换为 Raster 文件格式(图 1-C、1-D)。

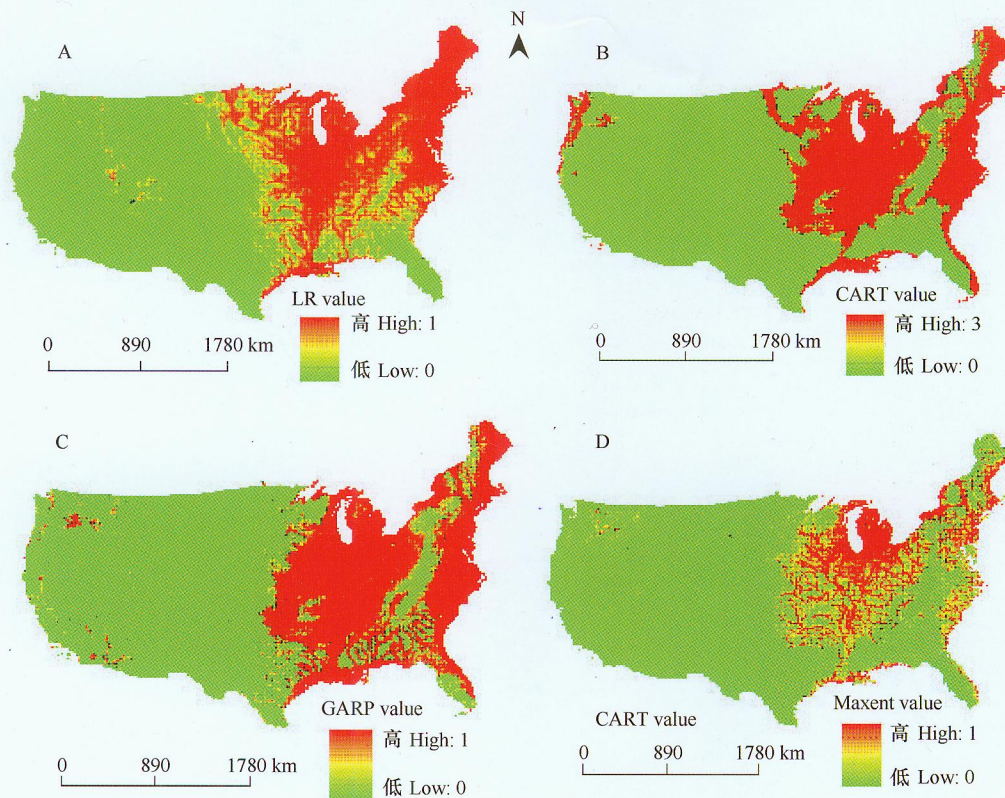


图 1 斑马纹贻贝美国大陆部分潜在生境分布图

Fig. 1 Potential habitat map for *Dreissena polymorpha* in the continental USA

2.2 模型验证

分别采用 AUC、P-Kappa、COR 三个统计指标来评价预测模型的性能(表 1)。AUC 是一个与参考阈值无关的统计量,通过百分比的方法计算解靴带置信区间(bootstrap confidence interval),来评价模型区分存在点和背景点的诊断性能^[7]。一般认为 AUC 值为 0.5~0.7 时模型诊断价值较低;为 0.7~0.9 时诊断价值中等;大于 0.9 时诊断价值优秀。与 AUC 不同, Kappa 是一个与参考阈值有关的统计量,具有机会改正的能力,综合考虑了冗余误差和代表误差的影响^[8],在论文中采用最大 Kappa 值 P-Kappa 来衡量模型的精度。COR,也称为点双列相关系数,一般通过 Person 相关系数来计算,与基于等级的 AUC 不同,COR 考察的重点是验证数据观察值与模型预测值的偏离程度^[9]。

从表 1 看出,4 个模型的 AUC 值均大于 0.9,说明选择的预测模型诊断价值都达到了优秀水平。在 3 项指标中,4 个模型相差不大,总体平均值非常接近,说明 4 个预测模型虽各有特色,但总体性能相差不大。值得注意的是,Maxent 模型总体平均值最高,与该模型最大熵值算法设计、处理抽样偏差、分辨变量间交互作用

表 1 预测模型验证指标计算表

Table 1 Evaluation statistical criteria of prediction models				
指标 Criteria	LR	CART	GARP	Maxent
AUC	0.9383	0.9205	0.9167	0.9358
P-KAPPA	0.8184	0.8490	0.8368	0.8604
COR	0.8086	0.8455	0.8368	0.8359
平均值 Average	0.8551	0.8717	0.8634	0.8774