

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201303018

胡秀,郭微,吴福川,等. MaxEnt 生态学模型在野生植物近自然林引种区划中的应用——以红姜花为例[J]. 广西植物, 2015, 35(3):325—330

Hu X, Guo W, Wu FC, et al. Application of MaxEnt ecology model in near-nature forestry plant introduction regionalization with *Hedychium coccineum* as an example[J]. *Guihaia*, 2015, 35(3):325—330

MaxEnt 生态学模型在野生植物近自然林 引种区划中的应用——以红姜花为例

胡 秀¹, 郭 微¹, 吴福川², 刘 念^{1*}

(1. 仲恺农业工程学院 园林园艺学院, 广州 510225; 2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘 要: 近自然林的营建是园林景观的一个重要发展方向。由于待引种的野生植物种类繁多且缺少引种栽培实践, 如何在仅有野生分布数据的条件下进行植物的引种区划具有重要意义。MaxEnt(Maximum entropy method)的原理是基于物种分布与气候相适应, 以物种野生分布数据为基础, 寻找物种的潜在分布区, 与近自然林条件下野生植物引种区划的需要一致。该文以红姜花为例采用理论和实践检验相结合的方法, 对 Max-Ent 模型的有效性进行评价。在收集红姜花的野生地理分布数据基础上, 选择温度、降雨、海拔为环境因子, 以 75% 的数据进行建模, 25% 的分布数据作为检验作 ROC(Receiver operating characteristic)曲线对模型的有效性进行评价。结果表明: ROC 曲线下面积 AUC 值为 0.991, 评价结果优秀, 表明预测模型可靠性高; 进一步以全部分布数据在 MaxEnt 中制作区划图, 将引种栽培数据的分布位置与区划预测图进行比对, 划分适生性等级; 在适生性被划分为 0~1 的 11 级时, 区划图中大于 0.01 的区域内红姜花即可成功引种。结果证明对于缺少引种栽培实践, 拟采用近自然林模式栽培的野生植物, 可采用 MaxEnt 生态学模型制作引种区划图。

关键词: 引种区划; 红姜花; MaxEnt 生态学模型; 近自然林

中图分类号: Q948.12; S601.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)03-0325-06

Application of MaxEnt ecology model in near-nature forestry plant introduction regionalization with *Hedychium coccineum* as an example

HU Xiu¹, GUO Wei¹, WU Fu-Chuan², LIU Nian^{1*}

(1. College of Horticulture and Landscape, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China)

Abstract: The near-nature forestry construction is an important direction for landscape development in future. As species with potential landscape value in a large number but short of introduction practice, it has important significance to carry out introduction regionalization in only wild distribution data condition. The principle of MaxEnt ecological model is predicting potential distribution rang of species based on the wild species distribution data together with wild species distribution and climate adaptation on the premise, which is consistent with the need for identifying the introduction regionalization of potential landscape plants in near-nature forestry. In the study, *Hedychium coccineum* was used to be an example to evaluate the valid of introduction regionalization conducted by MaxEnt modeling framework

收稿日期: 2014-04-23 修回日期: 2014-07-12

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31100510)

作者简介: 胡秀(1976-), 女, 四川西昌人, 博士, 副教授, 研究方向为姜科植物花卉育种, (E-mail)554311889@qq.com。

* 通讯作者: 刘念, 教授, 研究方向为姜科和苏铁植物分类, (E-mail)liunian678@163.com。

according to the theoretical method together with introduction practice. Temperature, rainfall and altitude environmental factors were selected to be analyzed on the basis of collection for geography distribution data. And 75% data were used to construct model while the remaining were used to evaluate the valid of model by drawing receiver operating characteristic (ROC) plot. At last, suitable categories were determined by comparing the cultivated data with prediction map. The results showed that the area under the curve (AUC) was 0.991 diagnosed as excellent, which indicated that the model was highly reliable. Meanwhile, all the data were used to make a prediction map in MaxEnt. Further, categories were divided by comparing the location of introduction data with the map. The results indicated that *H. coccineum* could be cultivated successfully in the area where the above 0.01 when the suitability degrees between 0 and 1 were divided into eleven categories. In all, if the wild plant to be introduced in near-nature forestry, the highly reliable introduction regionalization map could be made in MaxEnt.

Key words: introduction regionalization; *Hedychium coccineum*; MaxEnt ecologic model; near-nature forestry

植物多样性低、地带性植被景观不突出是我国现阶段园林绿地建设的主要问题,应提高乡土野生植物在园林中的应用比例(达良俊等,2008)。由于待引种的野生植物种类繁多且缺少引种栽培实践,如何在仅有野生分布数据的条件下实现引种区划具有十分重要的意义。吴中伦等(1983)认为除了受土壤、气候及地形等环境因子的影响,植物分布还受自身传播能力的影响,使一些植物未能到达所有其适合生长的地域。由此,生态学研究者们开发了多种基于 GIS(Geography information system)的物种分布区预测模型及软件,用于寻找物种可能适合的分布区域。这类模型和软件均以物种现存的地理分布信息提取现存分布区的环境因子变量,运算出预测模型,再利用此模型预测物种在目标区域的可能分布范围。就软件的开发原理而言,正符合野生植物引种区划的需要。在设计原理上,这些潜在分布区预测模型首先假定物种与环境因子是平衡和适应的关系,即物种会出现在(presence)所有具有合适环境因子的地区,同时所有环境因子不适合的地方不存在(absence)(Guisan *et al.*, 2000),但这样的假定常由于生物之间的相互影响(Brown *et al.*, 1996; Pearson *et al.*, 2003),以及植物传播途径的限制(Svenning *et al.*, 2008)而不成立,使得物种预测软件在其本来设定的生态学领域中应用时具有一定局限性。不过将该软件应用于野生植物的近自然林引种区划时则不存在生物之间的相互影响以及传播途径的限制,与物种潜在分布区预测模型本来的设计原理更加吻合,具有更高的有效性。其中基于最大熵法(Maximum entropy method)采用存在数据(Presence-only)的 MaxEnt 模型软件操作简便、可靠性高(Phillips *et al.*, 2006; Ortega-Huerta *et al.*,

2008),除了在动植物的生境预测(Suárez-Seoane *et al.*, 2008; Gaikwad *et al.*, 2011; 齐增湘等, 2011)、检疫性病和虫害预测(赵文娟等, 2009)方面以外,还被用于经济植物的潜在种植区的预测(Sanchez *et al.*, 2010)等。

MaxEnt 生态学模型的评价采用先验性数据进行检验,方法是由软件随机选取一定比例的分布数据为训练集(training data),其余的作为测试集(test data),作 ROC(Receiver operating characteristic)曲线(王运生等, 2007)。红姜花(*Hedychium coccineum*)是优良的林下观花多年生草本植物,我们前期对其分布、生态习性、生境等研究(胡秀等, 2010),所有分布数据均有标本凭证或野外调查记录,确保了分布数据的准确性,从而可最大限度地降低因建模数据的质量带来的误差。本研究以红姜花为例,拟作 ROC 曲线对建立的模型进行评价,并以引种栽培的分布数据对区划结果图进行检验和辅助判读,研究 MaxEnt 在野生植物近自然林引种区划中应用的特点,并同时红姜花在中国的引种区域进行区划。

1 材料与方法

1.1 分布数据

查阅红姜花(*Hedychium coccineum*)在国内各大植物标本馆的标本记录(PE-北京植物研究所标本馆; IBSC-华南植物园标本馆; KUN-昆明植物园标本馆; HITBC-西双版纳植物园标本馆; IBK-广西植物研究所标本馆; GXMI-广西中医药研究所标本室),剔除鉴定错误和重复的记录,与本人的野外调查的工作记录合并,尽量采用本人野外实地考察的

表 1 野生红姜花的地理分布数据
Table 1 Geographic distribution data of wild *Hedychium coccineum* used in the study

数据类型 Type of data	数量 Number	来源 Source
标本 Specimen	38	GXMI(045244,045243,045245); HITBC(048930,048770,048962,048763,048723,048725,048964,048961,048974,048724,048726,048775,048722,048778,079342,048720,048721); IBK(00137636); IBSC(111324); KUN(0424647,0424666,0424659,0424661,0071978,0424657,0791976,0424646,0424654,0424668,0424662,0424665,0424670,0424675,0424673); PE(074939)
文献 Literature	2	高江云,2008; 甘甜等,2010
实地调查	11	云南福贡(4); 云南漾濞(2); 云南普洱(3); 云南路西(1); 云南腾冲(1)
Field investigation		Fugong, Yunnan (4); Yangbi, Yunnan (2); Pu'er, Yunnan (3); Luxi, Yunnan (1); Tengchong, Yunnan (1)

数据点,共收集 51 个样点(不包括引种栽培的样点),详见表 1。对没有经纬度信息的标本,按照地点和生境采用 Google Earth 进行查找。

1.2 环境因子数据的选择

影响植物生长的主要环境因子有温度、水分、光照、土壤、海拔。本研究的目标是研究野生植物在近自然林营建中的适生性区划,因此没有添加土壤因子。红姜花是一种林下植物,其光照环境与群落环境密切相关,其在引种栽培中对光照强度和时间的需求还是运用群落对光照的分配来处理较为合理,即将红姜花配置在光环境适合的植物群落中,因此也没有添加太阳辐射因子。

模型预测的目标区域是中国的行政区划范围。选用来自世界气候数据库分辨率为 2.5 min,包括温度和降雨在内的 19 项生物气候指标,外加海拔因子,精度范围为 5 km²。该气候数据采用插值法对 1950—2000 年以来世界各地气象站的数据进行了转换,站点丰富、精度高、获取方便(Hijmans *et al.*, 2005),可从世界气候数据库网站(<http://www.worldclim.org>)免费下载。同时,该气候数据的各项气候指标均为与植物生长和发育密切相关的生物气候因子。

具体气候指标如下:1,年平均温;2,每月最高温与最低温差值的平均值;3,温差等温值;4,季节性温度(standard deviation×100);5,最热月的最高温度;6,最冷月的最低温度;7,温度的年较差(5-6);8,最湿季度的平均温度;9,最干季度的平均温度;10,最热季度的平均温度;11,最冷季度的平均温度;12,年降雨量;13,最湿月的降雨量;14,最干月的降雨量;15,季节性降雨量(变异系数);16,最湿季度的降雨量;17,最干季度的降雨量;18,最热季度的降雨量;19,最冷季度的降雨量。

1.3 模型的建立和评价

首先,将野生分布数据和环境因子数据进行必

要的格式转换(<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>),然后导入软件,接下来在软件中将 25%的分布数据作为测试集,其余分布数据作为训练集,运行软件建立模型,输出 ROC 曲线图。通常,在 ROC 曲线与横坐标围成的面积 AUC 值为 0.5~0.7 时较低,在 0.7~0.9 时为中等,大于 0.9 时为优秀,越趋近于 1 诊断价值越高(Hanley *et al.*, 1982;王运生等,2007)。由于抽取的分布数据集的变化会影响软件的运算结果(Phillips *et al.*,2006),因此取软件随机运算 10 次的,取 AUC 值的平均值评价模型的有效性。

1.4 引种适生性区划

如利用 1.3 中先验性数据分割检验所建的预测模型评价为优秀,则合并所有野生分布数据,重新运行软件,输出预测图,导入 DIVA-GIS 平台。在 DIVA-GIS 中可实现分布数据图层、地图图层、区划结果图层的叠加和美化、区划等级的重新划分及地名、比例尺、图例等的添加。下载 1:100 万的中国地图(中国国家地理基础网站),导入 DIVA-GIS 并与预测图进行叠加,制作区划示意图。同时将引种栽培数据导入 DIVA-GIS 并进行标注,与预测示意图的范围和位置进行比对,辅助进行等级划分。DIVA-GIS 的导出格式可为 Photoshop 识别的 bmp 格式,可进一步在 Photoshop 中进行引种栽培地点的标记。引种栽培的数据分别位于勐腊、昆明、广州、深圳的西双版纳植物园、昆明植物园、仲恺农业工程学院钟村教学农场和深圳仙湖植物园。其中在广州仲恺农业工程学院钟村农场的引种栽培的由本人在 2008 年 3 月至 2013 年 3 月进行,其余 3 个栽培点的表现由调查获得。4 个引种栽培点均为无人工灌溉的露地栽培形式,引种成功的标准是能正常开花和进行根茎无性繁殖。DIVA-GIS 的使用参见用户指南(<http://www.diva-gis.org/>)。

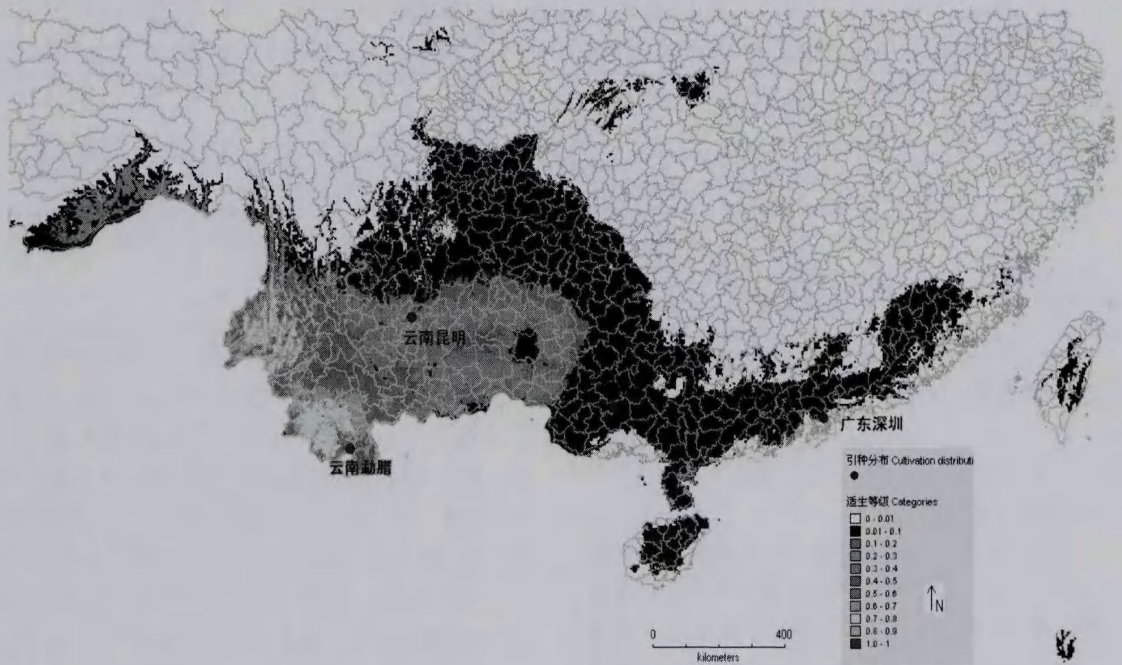


图 1 基于 MaxEnt 模型的红姜花引种区划示意图 等级越高表示适生性越高
Fig. 1 Schematic drawing of introduction area of *Hedychium coccineum* predicted by MaxEnt
Higher degrees indicate the higher suitability of being cultivated

2 结果与分析

2.1 模型的评价

采用 75% 的野生分布数据, 随机运算 10 次, MaxEnt 预测模型的 AUC 平均值为 0.991, 模型的诊断价值为优秀(王运生等, 2007), 表明本研究取样质量高、环境因子选择没有遗漏, 预测图可靠性高。在猴面包树的潜在种植区预测中, 同样采用 MaxEnt 软件建模, 并随机运算 10 次, 分别由全球、西非、东非分布记录建立的预测模型的 AUC 平均值分别为 0.879、0.963、0.933 (Sanchez *et al.*, 2010)。相比较而言, 本研究的 AUC 值更趋近于 1, 有效性更高。

2.2 红姜花的引种适生性区划

图 1 为红姜花在中国的引种区划示意图, 可清楚的显示各适生等级的区域。图 1 中位于昆明、南宁、广州和深圳的四个样点为引种栽培地理分布数据。在仲恺农业工程学院钟村农场的观察结果显示 (2008 年 3 月至 2013 年 3 月), 红姜花可正常进行根茎繁殖和种子繁殖; 冬季保持常绿, 2 月下旬萌芽, 6—7 月开花, 物候期与云南普洱保持一致。从

图 1 可以看出, 位于南宁、广州和深圳的三个数据点在区划图中处于区划图的 0.01~0.1, 因此区划图中在 0.01 等级以上的区域都是适生的。各区域的适宜程度由不同的颜色表示, 颜色越暖适宜程度越高。云南省的怒江州、保山地区、德宏州、西双版纳州、红河州的西部是红姜花引种栽培区划的最适区。

3 讨论与结论

3.1 误差控制的方法

影响 MaxEnt 生态学模型软件预测结果的因素包括: (1) 由于建模方法不恰当或建模时数据收集不完整产生的误差; (2) 遗漏重要环境因子造成的误差 (Pearson *et al.*, 2006; Meynard *et al.*, 2007)。本研究从这两个方面对误差进行了控制。MaxEnt 在生态学领域具有广泛的应用, 已经证明其建模方法的有效性。在设计原理上, MaxEnt 模型假定物种与环境因子是平衡和适应的关系, 也即是物种会出现在 (presence) 所有具有合适环境因子的地区, 同时所有环境因子不适合的地方不存在 (absence) (Guisan *et al.*, 2000), 但这样的假定常由于生物之间的相互影响 (Brown *et al.*, 1996; Pearson *et al.*,

2003),以及植物传播途径的限制(Svenning *et al.*, 2008)而不成立,使得物种预测软件在其本来设定的生态学领域中应用时具有一定的局限性。不过将该模型应用于野生植物的近自然林引种区划时则不存在生物之间的相互影响以及传播途径的限制,更符合 MaxEnt 模型本来的设计原理。另外物种分布预测软件均假定某一物种的生境在种内是一致的、没有变化,但是对于广布种来说却并非如此(Stockwell *et al.*, 2006)。本研究选用的红姜花的种内一致性较高,同时对所有标本进行了严格的分类学鉴定,多数样点是实地调查获得,有效地控制了取样的质量。

在环境因子选择上,本研究选择了影响植物生长和分布的主要因素包括温度、降雨和海拔。温度和降雨为生物气候指标,其中平均温度(BIO1、BIO4)反映植物接受的总的热量及热量在不同季节的分配是否达到需求,温差(BIO2、BIO3、BIO7)反映植物对季节性温度变异的需求是否得到满足(如,原产北方的植物在南移的过程中会出现由于低温不足所致的温差不足产生的不能开花结实的情况),极端高温(BIO5、BIO10)、极端低温(BIO6、BIO11)、极端干旱(BIO14、BIO17)、极端阴雨(BIO13、BIO16)反映植物对极端温度和水分条件的耐受能力,另外降雨的季节性分布(BIO12、BIO15)是否合理、水热是否同步(BIO8、BIO9、BIO18、BIO19 等)也是影响植物正常生长的关键因子。由此可以看到,该气候数据非常适合用作野生植物的引种区划。

3.2 区划结果的检验和判读

通常,MaxEnt 模型的检验由先验性数据进行,从而确保了建模效果。首先选用部分分布数据作为训练集数据,剩余的作为测试集数据,作 ROC 曲线进行评价。这种方法最早用于评价雷达信号的接受性能(Leshowitz, 1969),后来逐渐在医学诊断领域应用(Goodenough *et al.*, 1974)。近年来,ROC 曲线分析在物种潜在分布预测模型评价中的应用较多,效果良好(Manel *et al.*, 2001; Anderson *et al.*, 2006)。除此之外,本研究以野生分布数据建模,引种栽培数据进行检验和判读,使得区划结果更符合实际(Sanchez *et al.*, 2010),同时也可消除由于取样等原因造成的误差。在本研究中选的 4 个引种栽培点,有 2 个已超出红姜花的自然分布范围,采用这样的引种栽培点可以很好的检验区划范围。在区划图中,适生性被划分为 0~1 的 11 级时,大于 0.01 的

区域内即可成功引种,证明在没有引种栽培数据辅助判别的情形下,只要控制好取样的质量,选择温度、降雨和海拔为环境因子指标,MaxEnt 的预测结果是很准确的。

3.3 MaxEnt 生态学模型在植物引种区划方面的适用性

本研究通过控制分布数据的质量,采用世界气候数据库(<http://www.worldclim.org>)中的温度、降雨、海拔等环境因子数据,并辅以引种栽培的数据对区划结果进行判别,成功的对红姜花进行了以近自然林营建为目标的引种区划,证实应用 MaxEnt 软件进行野生植物的引种区划时可以获得可靠性较高的区划结果。另外,MaxEnt 软件获得的区划的精度较高,在气候数据分辨率为 2.5 min 时区划结果的精度范围为 5 km²,当采用分辨率为 30 s 时,分辨率可达 1 km²,为提高 MaxEnt 应用于引种区划时的有效性,除提高样点的代表性、准确性,主导环境因子的选择无遗漏外,引种栽培数据的比对是消除误差最有效的方法。

参考文献:

- Anderson PR, Dudik M, Ferrier S, *et al.* 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data [J]. *Ecography*, **29**(2): 129–151
- Brown JH, Stevens GC, Kaufman DM. 1996. The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure [J]. *Ann Rev Ecol Syst*, **27**: 597–623
- Da LJ(达良俊), Fang HJ(方和俊), Li YY(李艳艳). 2008. Diversity analysis and harmony assessment on the plant community in green space of central Shanghai(上海中心城区绿地植物群落多样性诊断和协调性评价) [J]. *Chin Landsc Architect* (中国园林), (3): 87–90
- Gaikwad J, Wilson PD, Ranganathan S. 2011. Ecological niche modelling of customary medicinal plant species used by Australian Aborigines to identify species-rich and culturally valuable areas for conservation [J]. *Ecol Mod*, **222**(18): 3 437–3 443
- Gan T(甘甜), Li QJ(李庆军). 2010. The crossability and hybrid Seed vigor among several sympatric *Hedygium* (Zingiberaceae) species(几种同域分布姜花属植物的种间杂交亲和性及杂交后代种子活力) [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **32**(3): 230–238
- Gao JY(高江云). 2008. Study on the reproductive ecology of Zingiberaceae: floral longevity do matter(姜科植物繁殖生态学研究—花寿命的适应意义) [D]. Mengla(勐腊): Xishuangbanna Tropical Botanical Garden of Chinese Academy of Sciences(中国科学院西双版纳植物园)
- Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB. 1974. Radiographic applications of receiver operating characteristic (ROC) curves [J]. *Radiology*, **110**(1): 89–95
- Guisan A, Zimmermann NE. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology [J]. *Ecol Mod*, **135**(2): 147–186

- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, *et al.* 2005. A Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas[J]. *Int J Climatol*, **25**(15):1 965—1 978
- Hu X(胡秀), Gao LX(高丽霞), Liu N(刘念). 2011. The identification, propagation and landscape use of several *Hedychiums* with cymbidium fragrance(几种兰香类姜花属植物的鉴定、繁殖及园林应用)[J]. *J Guangdong Landsc Architect* (广东园林), **33**(145):56—58
- Leshowitz B. 1969. Comparison of ROC curves from one-and two-interval rating-scale procedures[J]. *J Acoust Soc Am*, **46**:399
- Manel S, Williams HC, Ormerod SJ. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence[J]. *J Appl Ecol*, **38**(5):921—931
- Meynard CN, Quinn, JF. 2007. Predicting species distributions: a critical comparison of the most common statistical models using artificial species[J]. *J Biogeogr*, **34**(8):1 455—1 469
- Ortega-Huerta MA, Peterson AT. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods[J]. *Rev Mex Biodivers*, **79**(1):205—216
- Pearson RG, Thuiller W, Araújo MB, *et al.* 2006. Model-based uncertainty in species range prediction[J]. *J Biogeogr*, **33**(10):1 704—1 711
- Pearson RG, Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, **12**(5):361—371
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. *Ecol Model*, **190**(3):231—259
- Qi ZX(齐增湘), Xu WH(徐卫华), Xiong XY(熊兴耀), *et al.* 2011. Assessment of potential habitat for *Ursus thibetanus* in the Qinling Mountains(基于 MAXENT 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价)[J]. *Biodivers Sci* (生物多样性), **19**(3):343—352
- Sanchez AC, Osborne PE, Haq N. 2010. Identifying the global potential for baobab tree cultivation using ecological niche modeling[J]. *Agrofor Syst*, **80**(2):191—201
- Stockwell DRB, Peterson AT. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models[J]. *Ecol Model*, **148**(1):1—13
- Suárez-Seoane S, García dela Morena EL, Morales Prieto MB, *et al.* 2008. Maximum entropy niche-based modelling of seasonal changes in little bustard (*Tetrax tetrax*) distribution[J]. *Ecol Model*, **219**(1):17—29
- Svenning JC, Normand S, Skov F. 2008. Postglacial dispersal limitation of widespread forest plant species in nemoral Europe[J]. *Ecography*, **31**(3):316—326
- Wang YS(王运生), Xie BY(谢丙炎), Wan FH(万方浩), *et al.* 2007. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species potential distribution models(ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用)[J]. *Biodivers Sci* (生物多样性), **15**(4):365—372
- Wu ZL((吴中伦). 1983. The Introduction of Foreign Woody Species(国外树种引种概论)[M]. Beijing(北京): Science Press(科学出版社):1—5
- Zhao WJ(赵文娟), Chen L(陈林), Ding KJ(丁克坚), *et al.* 2009. Prediction of potential geographic distribution areas of the maize downy mildew in China by using MAXENT(利用 MAXENT 预测玉米霜霉病在中国的适生区)[J]. *Plant Prot* (植物保护), **35**(2):32—38

(上接第 430 页 Continue from page 430)

- Science Press(科学出版社), 7: 353
- Liu CM(柳春梅), Zhou HB(周慧斌), Zhang WD(张卫东). 2010. Terpenoids from stems and leaves of *Cupressus gigantea* (巨柏茎叶的萜类成分)[J]. *Chin J Nat Med* (中国天然药物), **8**(6):405—410
- Liu W(刘伟), Bai SP(白素平), Liang HJ(梁会娟), *et al.* 2010. Studies on the chemical constituents of *Lonicera japonica* (小叶忍冬藤的化学成分研究)[J]. *Chin Trad & Herb Drugs* (中草药), **41**(7):1 065—1 068
- Yuan Y(原源), Chen WS(陈万生), Zheng SQ(郑水庆), *et al.* 2001. Studies on chemical constituents in root of *Rumex patientia* L.(巴天酸模的化学成分)[J]. *Chin J Chin Mat Med* (中国中药杂志), **26**(4):40—42
- Yang Y(杨郁), Zhang Y(张杨), Ren FX(任凤霞), *et al.* 2013. Chemical constituents from the roots of *Angelica polymorpha* Maxim(拐芹根的化学成分研究)[J]. *Acta Pharm Sin* (药学报), **48**(5):718—722
- Yang YB(杨亚滨), Yang XQ(杨雪琼), Xu YQ(徐艳群), *et al.* 2009. Two diterpenoids from herbs of *Huperzia serrata* (千层塔中的 2 个二萜类化合物)[J]. *Chin J Chin Mat Med* (中国中药杂志), **34**(8):987—989
- Zhao DB(赵东保), Wang HQ(汪汉卿), Zhang W(张卫), *et al.* 2005. Studies on flavonoids from herb of *Artemisia ordosica* (黑沙蒿黄酮类化学成分研究)[J]. *Chin J Chin Mat Med* (中国中药杂志), **30**(18):1 430—1 432