

金荞麦的潜在分布区及生态特征

郭 杰^{1,2} 张 琴¹ 张东方³ 文 检⁴ 孙成忠⁵ 谢彩香^{1*}

(1. 中国医学科学院, 北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193; 2. 武汉理工大学, 武汉 430070; 3. 江苏师范大学, 徐州 221116; 4. 成都中医药大学, 成都 611137; 5. 中国测绘科学研究院, 北京 100830)

摘要: 为了解我国金荞麦 *Fagopyrum dibtrys* (D. Don) Hara 的潜在分布区及生态特征, 基于 38 个环境因子以及金荞麦在我国的 153 个地理分布记录, 应用最大熵模型 (MaxEnt) 与地理信息系统 (GIS) 对金荞麦进行生态适宜性区划, 并采用自然间断法对金荞麦的潜在区域进行划分。结果显示, 金荞麦的潜在分布区主要位于我国西南地区东部、华中地区、华东地区和华南地区 (22°N~35°N), 总面积约为 $250.99 \times 10^4 \text{ km}^2$; 将金荞麦的潜在分布区划分为适生区、低适生区与边缘适生区, 其中适生区主要集中在长江流域, 总面积为 $88.00 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。影响金荞麦地理分布的主要生态因子有最冷月最低温、最暖季降水量、高程、最干季降水量等 9 个因子, 其中气候因子对金荞麦的地理分布影响最大。表明金荞麦应在云南、贵州、四川等省扩大种植面积, 陕西、山西等省可考虑引种。

关键词: 金荞麦; 最大熵模型; 生态适宜区; 生态特征

Potential distribution area and ecological characteristics of common buckwheat *Fagopyrum dibtrys* (D. Don) Hara

Guo Jie^{1,2} Zhang Qin¹ Zhang Dongfang³ Wen Jian⁴ Sun Chengzhong⁵ Xie Caixiang^{1*}

(1. Institute of Medicinal Plant Development, Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100193, China; 2. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei Province, China; 3. Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China; 4. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, Sichuan Province, China; 5. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China)

Abstract: To determine the potential distribution areas and establish new climatic evaluation criteria for common buckwheat *Fagopyrum dibtrys* (D. Don) Hara in China, maximum entropy model (MaxEnt) and geographic information system (GIS) were used to predict the potential regions based on 38 ecological factors and 153 sample points. The results showed that the potential adaptive regions were mainly in the east of southwestern China, central China, eastern China and southern China (N 22°–35°) with an area of $250.99 \times 10^4 \text{ km}^2$, divided into suitable region, lowly suitable region and marginally suitable region based on Natural Breaks. The suitable regions were mainly in the Yangtze River basin with a total area of $88.00 \times 10^4 \text{ km}^2$. The ecological factors affecting the distribution of *F. dibtrys* were temperature of coldest month, precipitation of warmest quarter, altitude, precipitation of driest quarter and so on, among which the climate factors played the most important role. The results indicated that *F. dibtrys* could be expanded in Yunnan, Guizhou, Sichuan provinces and so on, and introduced to Shaanxi, Shanxi provinces and so on.

Key words: *Fagopyrum dibtrys* (D. Don) Hara; maximum entropy model (MaxEnt); ecological suitable region; ecological characteristics

金荞麦 *Fagopyrum dibtrys* (D. Don) Hara 为多年生草本蓼科植物,原产于中国西南地区,喜暖湿气候,主要分布于四川、云南、贵州、江西、湖北、湖南等省份,并且在云、贵、川3省最为集中(刘光德等,2006)。金荞麦在临床上常用于治疗急慢性气管炎、慢性阻塞性肺疾病等(李蕾等,2015),还具有较好的抗菌、抗肿瘤等作用(周洁云等,2015),此外还发现其籽粒具有较高的营养价值。随着金荞麦药用和营养价值的不断开发,市场需求量激增,使得金荞麦野生资源被过度采挖,种源大量减少,而且受栽培技术限制,其产量与品质难以满足市场需求。因此,开展金荞麦野生资源的人工栽培和规范化种植是保护野生资源和解决药材来源的有效途径。

物种分布与地理环境因子间存在密切联系,不同区域环境特征对物种在空间尺度上的生长分布有巨大影响(肖小河等,2009;赵泽芳等,2016)。生态适宜性区划是基于中药资源和生态环境因子,对药用植物的空间分布进行区域划分,选择适宜的生态环境进行药材种植,可避免盲目引种造成损失,为中药材合理引种提供参考(康传志等,2016)。王欢等(2015)利用中药材数值区划信息系统软件得到黄花蒿 *Artemisia annua* 气候相似性95%~100%的区域位于北美洲东部、欧洲西部及亚洲东部;孟祥霄等(2016)和沈亮等(2016)基于药用植物全球产地生态适宜性区划信息系统研究了人参 *Panax ginseng*、三七 *Panax notoginseng* 等多种药材在全球的生态适宜区。目前对于金荞麦资源的研究主要集中在植物学、栽培学、遗传学等方面(雒晓鹏等,2013;赵丽丽等,2016;赵明坤和杨菲,2016),而关于其生态适宜性区划方面的研究较少。

MaxEnt模型是一种生态位模型,它不仅可以综合多种环境变量对物种的潜在地理分布进行预测,还能得到影响该物种正常生长的主要环境变量及其适应范围。与其它生态位模型相比,MaxEnt模型的稳定性、预测效果更好(Li et al., 2016),已被广泛应用于研究物种的潜在分布区及其生态特征。如Zhang et al. (2016)通过建立物种的分布模型对植物的主产地进行区划及分析;孙颖等(2015)利用MaxEnt模型明确了油菜茎基溃疡病菌 *Leptosphaeria maculans* 在我国定殖的可能性,为制订针对性的检疫措施提供理论指导。本研究利用MaxEnt模型对我国金荞麦的潜在分布区进行科学预测和适生区等级划分,进一步分析与其生长相关性较大的生态因

子,以期开展金荞麦的引种栽培和规范化种植工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

金荞麦在中国的分布点来源于中国植物标本馆(<http://www.cvh.org.cn/>)以及文献资料,其中以中国植物标本馆为主。标本馆中的样本点有地址、经纬度等详细信息,筛选出拉丁名正确和经纬度信息详实的点,剔除拉丁名错误、经纬度信息不全及重复的点,最终获得153个金荞麦分布点,主要分布于四川、重庆、贵州、云南、湖北、湖南、广西、江西、福建等省(市、区)。

本文共采用了38个生态因子(张琴等,2016),其中气候与地形因子数据来源于世界气候数据库(<http://www.worldclim.org/>);坡度和坡向数据是利用ArcGIS软件对高程数据进行表面分析所获得。土壤数据来自世界土壤数据库(<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>);基础地理信息数据来源于国家科技基础条件平台(<http://www.geodata.cn/Portal/index.jsp>)。采用ENVI 4.8和ArcGIS 10.0对土壤数据进行重采样,使其与气候数据的栅格大小相同,进行格式转换后,使得所有变量为同一数据格式(.bil),可直接加载于MaxEnt软件(Version 3.3.3k, <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>)。

1.2 方法

1.2.1 生态因子的筛选

由于各生态因子间存在一定的相关性,直接使用会导致模型过度拟合(Neftalí, 2011;王娟娟等,2014)。方差膨胀因子是进行多重共线性诊断的主要指标,其值越大表示因子间共线性越强。采用SPSS 19.0软件对38个生态因子进行多重共线性分析。筛选出方差膨胀因子小于30的生态因子后,再采用主成分分析法对方差膨胀因子大于30的生态因子进行分析,降低各生态因子间的相关性。

1.2.2 模型参数设置与评估

将分布点数据和筛选后的生态因子数据集导入MaxEnt软件中进行建模运行。以25%的分布点为测试集,75%的分布点为训练集,设置刀切法检验权重。

采用受试者工作特征(receiver operating charac-

teristic, ROC)曲线评价预测模型的准确度,其余选项采用模型默认设置。ROC曲线通过改变阈值,获得多对真(假)阳性率值,模型预测准确度可采用ROC曲线下面积AUC值衡量。AUC值由MaxEnt软件计算得出,AUC值是目前公认的诊断试验最佳评价指标(Jessica et al., 2014),其取值范围为[0.5, 1.0],值越大说明模型的判断力越强(王运生等, 2007; 2008)。

1.2.3 金荞麦生态适宜性区划

利用ArcGIS 10.0软件对MaxEnt模型的运行结果进行适生指数分级和叠加分析,绘制出金荞麦生态适宜性区划图。采用Natural Breaks分级法进行适生指数重分类,将金荞麦的潜在分布区根据适生指数从低到高依次分为非适生区[0, 0.1)、边缘适生区[0.1, 0.31)、低适生区[0.31, 0.52)和适生区[0.52, 0.86]4个等级(郭水良等, 2011),获得金荞麦在中国范围内的潜在分布区。

MaxEnt模型通过迭代运算,归一化处理得到生态因子重要性,代表了各生态因子对金荞麦地理分布的影响力。生态因子重要性越大,其对金荞麦的地理分布影响越大(崔麟和魏洪义, 2016)。可根据各生态因子响应曲线判断金荞麦生态因子的适宜范围,其横坐标为生态因子的值,纵坐标为药用植物的存在概率,当存在概率大于0.5时的生长因子值为植物的适宜生长范围。

2 结果与分析

2.1 生态因子的筛选结果

通过共线性诊断与主成分分析对生态因子筛选后共得到21个因子,分别是最冷月最低温、最湿季平均温、最干季平均温、最冷季平均温、年降水量、最湿月降水量、最干月降水量、降水的季节性、最湿季降水量、最干季降水量、最暖季降水量、高程、土壤中有机碳比例、土壤中可交换的钠离子、土壤导电率、土壤的阳离子交换能力、土壤中粘粒子组的阳离子交换能力、土壤中碳酸钙含量、土壤酸碱度、土壤基础饱和度、土壤中沙子比例。

2.2 模型评估

模型评估结果显示,训练集AUC值达到0.991,测试集AUC值达到0.987,说明模型预测准确度极高,表明用于金荞麦在中国的潜在分布区预测具有较高的可信度与准确度。

2.3 金荞麦生态适宜性区划

利用ArcGIS 10.0软件对MaxEnt模型的运行结

果进行叠加分析和地图制作,绘制出金荞麦在中国的潜在分布图,结果显示,金荞麦在中国的潜在分布区主要分布于西南地区东部、华中地区、华东地区和华南地区(E 92°~122°, N 22°~35°),总面积达到 $250.99 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。金荞麦的分布区适宜性以北纬27°为中心随纬度变化呈中心高两侧低的分布趋势,受经度影响较小。适生区主要集中于云南、贵州、四川、重庆、湖南、江西和浙江等省(市),在西藏、广西、福建、安徽和湖北5个省(区)也有小面积分布,总面积为 $88.00 \times 10^4 \text{ km}^2$;低适生区面积较大的省(市)包括云南、四川、陕西、重庆、湖北、广东、江西、福建、贵州等,总面积为 $83.65 \times 10^4 \text{ km}^2$;边缘适生区主要分布在四川、陕西、河南、安徽、江苏、山东、湖南、江西、广西等省(区),总面积为 $79.34 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。金荞麦在中国的适生区占全国面积的8.75%,低适生区占8.32%,边缘适生区占7.89%,其余均为非适生区(图1)。

2.4 金荞麦潜在分布区生态特征

生态因子重要性的分析结果显示,气候、土壤、地形的重要性依次为78.8%、13.1%和8.1%。影响金荞麦分布的主要气候因子有最冷月最低温(28.5%)、最暖季降水量(23.4%)、最干季降水量(7.1%)、降水的季节性(6.4%)、最湿季平均温(5.7%)、最干季平均温(3.2%);土壤因子主要有土壤导电率(5.7%)和土壤中粘粒子组的阳离子交换能力(3.1%)等土壤因子;地形因子中高程(8.1%)对金荞麦的潜在分布也有较大影响(表1)。

根据响应曲线分析获得影响金荞麦的主要生态因子的适宜范围。当最冷月最低温小于-20℃时,金荞麦的存在概率几乎为零,当大于-20℃时其存在概率开始增长,当温度为-3℃时,存在概率为0.5,当温度为0℃时,存在概率最大,当最冷月最低温继续上升时,金荞麦存在概率开始降低,当大于4℃后,存在概率小于0.5,因此最冷月最低温的适宜范围为-3~4℃(图2)。其它主要生态因子的适宜范围分别为:最暖季降水量的适宜范围为450~700 mm、最干季降水量的适宜范围为150~200 mm、降水的季节性的适宜范围为48~100、最湿季平均温的适宜范围为18~24℃、最干季平均温的适宜范围为4~11℃(图2);高程的适宜范围为1 000~4 000 m;土壤导电率的适宜范围为0~5 ds/m,土壤中粘粒子组的阳离子交换能力的适宜范围为15~35 cmol/kg。

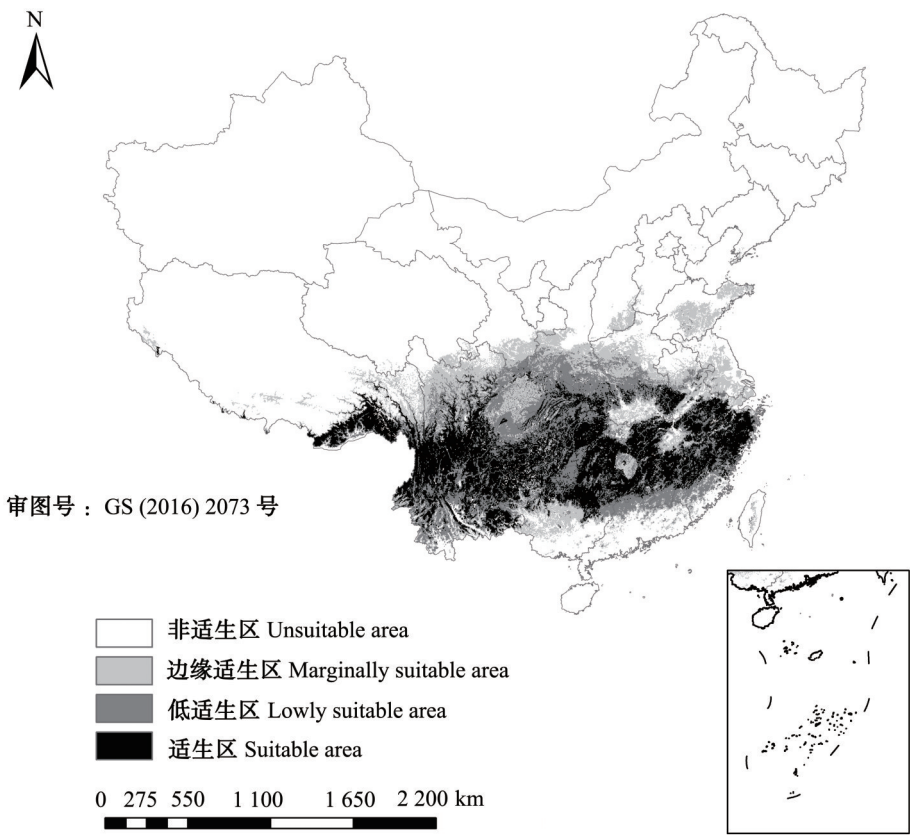


图 1 金荞麦在中国的潜在生态适宜区划

Fig. 1 Ecological division of *Fagopyrum dibtrys* in China

表 1 影响金荞麦分布的生态因子重要性

Table 1 Permutation importance of ecological factors influencing the potential distribution of *Fagopyrum dibtrys* %

生态因子 Ecological factor	重要性 Permutation importance
最冷月最低温 Min temperature of coldest month	28.5
最暖季降水量 Precipitation of warmest quarter	23.4
高程 Altitude	8.1
最干季降水量 Precipitation of driest quarter	7.1
降水的季节性 Precipitation seasonality	6.4
最湿季平均温 Mean temperature of wettest quarter	5.7
土壤导电率 The electrical conductivity of topsoil	5.7
最干季平均温 Mean temperature of driest quarter	3.2
土壤中粘粒组分的阳离子交换能力 The cation exchange capacity of the clay fraction in topsoil	3.1
土壤中可交换的钠离子 The exchangeable sodium percentage in the topsoil	2.0
最冷季平均温 Mean temperature of coldest quarter	1.9
年降水量 Annual precipitation	1.2
土壤基础饱和度 The base saturation in topsoil	0.9
最干月降水量 Precipitation of driest month	0.7
土壤酸碱度 The soil reaction of topsoil	0.5
最湿月降水量 Precipitation of wettest month	0.4
土壤中沙子比例 Percentage sand in the topsoil	0.4
最湿季降水量 Precipitation of wettest quarter	0.3
土壤中有机碳比例 The percentage of organic carbon in topsoil	0.3
土壤中碳酸钙含量 The calcium carbonate (lime) content in topsoil	0.2

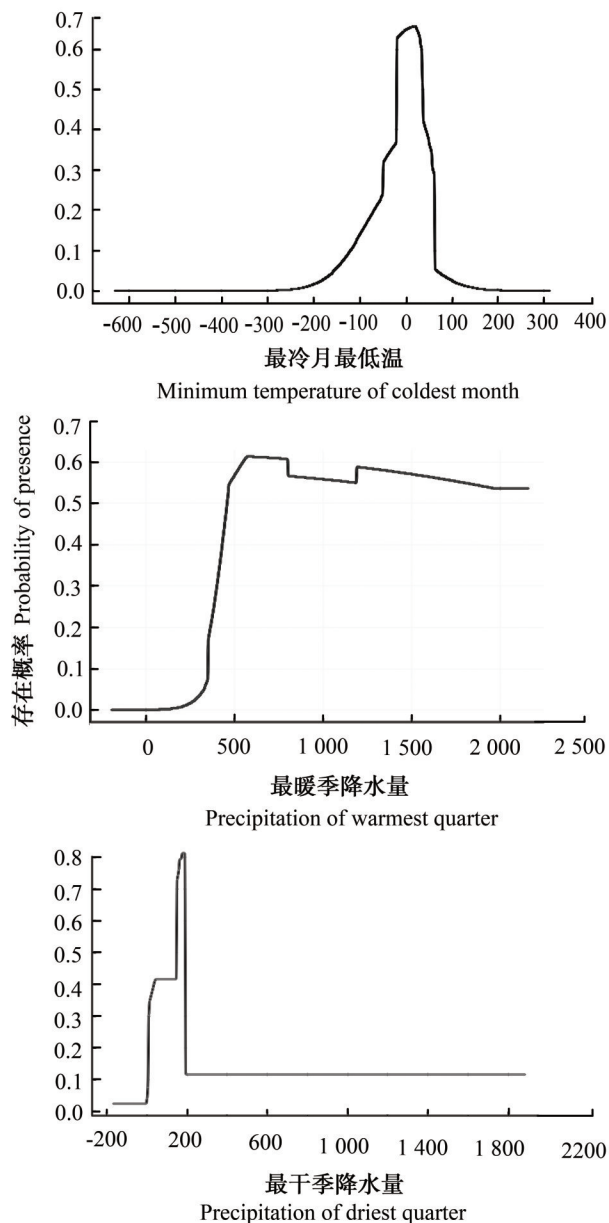


图2 影响金荞麦分布主要生态因子的响应曲线

Fig. 2 Response curves of main climate factors influencing the potential distribution of *Fagopyrum dibtrys*

3 讨论

金荞麦喜温暖湿润气候,亚热带季风气候区适宜金荞麦的生长和发展人工种植(曾小凡等,2007;杜尧东等,2010)。本研究结果表明金荞麦适生区主要分布在我国南部省区,如四川、云南、贵州、湖北、湖南、江苏、浙江、江西等省份,而中国北部的新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙、河北及东北三省等均为金荞麦的非适生区。因此,云南、四川、贵州、重庆、湖南、江西、浙江、福建、广西、安徽、西藏、湖北等省(市、区)可结合实际情况考虑扩大金荞麦的种植面积,而

在陕西、山西、河南、江苏、广东等省也可考虑引种金荞麦。

研究表明,在金荞麦适生区中,最暖季降水量的适宜范围为450~700 mm、最干季降水量的适宜范围为150~200 mm、降水季节性的适宜范围为48~100,说明金荞麦适生区内的降水量较大,且季节差异较小。张益锋等(2009)发现不同水分供应下的金荞麦生物量配比有明显差异。在施水量非常低的情况下金荞麦出现植株矮化、寿命短等现象,严重影响金荞麦的生殖生长,说明水分在金荞麦的生长发育中非常重要。本试验结果显示,在金荞麦适生区内最冷月最低温的适宜范围为-3~4℃、最湿季平均温的适宜范围为18~24℃、最干季平均温的适宜范围为4~11℃,可见金荞麦喜欢温和气候,高温逆境会导致金荞麦产量和品质下降(赵丽丽等,2016),表明温度也是影响金荞麦地理分布的主要因素。金荞麦适生区高程的适宜范围为1 000~4 000 m,而吴惠群和李光德(1994)调查发现金荞麦适生地海拔为1 000~3 000 m,产生这种差异可能是由于人工调查过程中环境、交通等方面的限制,本试验扩大了金荞麦在高海拔区域的分布范围,所预测的适生区范围更广。影响金荞麦分布的土壤因子主要是土壤电导率和土壤中粘粒子组的阳离子交换能力,这2个土壤因子均为反映土壤肥力的基础指标,表明土壤肥力对金荞麦有一定影响,这与王海玲等(2014)等研究结果类似,不同肥料施用量对金荞麦品质有较大影响,氮肥的施用量是影响金荞麦根茎产量的主要因素,兼顾磷、钾肥使用能够有效提高金荞麦的产量与品质(李桂强等,2011)。因此,金荞麦在栽培时肥料补给工作尤为重要(舒成仁,2005)。

本研究基于气候、土壤、地形等生态因子和MaxEnt模型预测金荞麦在我国的潜在分布区,初步明确了金荞麦适宜区在我国的空间分布,而未考虑土地利用状况和土壤微生物等因素,所以预测结果可能与金荞麦实际适宜区存在一定差距。同时,本研究的生态适宜性区划是基于大尺度空间生态因子,而小尺度生境和种间关系等因素对金荞麦的引种也有一定影响。因此在实际栽培过程中,应在实地调查的基础上,考虑经济社会等其它因素并先开展小规模试种。同时采用如温室大棚、遮荫棚等相关农业设施条件和灌溉、土壤改良、地膜覆盖等人工措施合理调控相关生态因子,然后方可考虑大规模栽培引种。

参考文献 (References)

- Cui L, Wei HY. 2016. Predicting the geographical distribution of *Urochela distincta* Distant with MaxEnt and DIVA-GIS. *Journal of Plant Protection*, 43(3): 362–368 (in Chinese) [崔麟, 魏洪义. 2016. 基于 MaxEnt 和 DIVA-GIS 的亮壮异蝾潜在地理分布预测. *植物保护学报*, 43(3): 362–368]
- Du YD, Duan HL, Tang LS. 2010. Adaptability of citrus in subtropics of China under future climatic scenario. *Chinese Journal of Ecology*, 29(5): 833–839 (in Chinese) [杜尧东, 段海来, 唐力生. 2010. 全球气候变化下中国亚热带地区柑桔气候适宜性. *生态学杂志*, 29(5): 833–839]
- Guo SL, Gao PL, Lou YX. 2011. Prediction of potential invasive range of quarantine weed *Lactuca serriola* in China by MaxEnt model. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 29(5): 15–19 (in Chinese) [郭水良, 高平磊, 娄玉霞. 2011. 应用 MaxEnt 模型预测检疫性杂草毒莠苣在中国的潜在分布范围. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 29(5): 15–19]
- Jessica BS, Christine RW, Karen VR. 2014. Developing macrohabitat models for bats in parks using MaxEnt and testing them with data collected by citizen scientists. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 6(2): 171–183
- Kang CZ, Zhou T, Jiang WK, Guo LP, Zhang XB, Xiao CH, Zhao D. 2016. Research on quality regionalization of cultivated *Pseudostellaria heterophylla* based on climate factors. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 41(13): 2386–2390 (in Chinese) [康传志, 周涛, 江维克, 郭兰萍, 张小波, 肖承鸿, 赵丹. 2016. 基于气候因子的全国栽培太子参品质区划分析. *中国中药杂志*, 41(13): 2386–2390]
- Li GQ, Du S, Wen ZM. 2016. Mapping the climatic suitable habitat of oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) for introduction and cultivation at a global scale. *Scientific Reports*, 6: 30009
- Li GQ, He P, Zhang CP, Zhang YF, Hu SJ. 2011. Effects of “3414” fertilizer application on the yield of *Fagopyrum cymosum*. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 34(2): 171–175 (in Chinese) [李桂强, 何平, 张春平, 张益峰, 胡世俊. 2011. 药用金荞麦“3414”施肥效应研究. *中药材*, 34(2): 171–175]
- Li L, Sun ML, Zhang SY, Wei Y, Shi XJ, Zhang J, Xu DH, Liu TH. 2015. Progress of chemical constituents and pharmacological activity test of *Fagopyrum dibotrys*. *Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 21(4): 46–48 (in Chinese) [李蕾, 孙美利, 张舒媛, 魏颖, 时晓娟, 张晶, 徐瞰海, 刘铜华. 2015. 近十年金荞麦化学成分及药理活性研究进展. *中药制剂与药理分析*, 21(4): 46–48]
- Liu GD, Li MY, Zhu QL, Li YD, Gui SZ. 2006. The research advance on resource plant *Fagopyrum dibotrys*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22(10): 380–389 (in Chinese) [刘光德, 李名扬, 祝钦尧, 李艳冬, 睦顺照. 2006. 资源植物野生金荞麦的研究进展. *中国农学通报*, 22(10): 380–389]
- Luo XP, Bai YC, Gao F, Li CL, Chen H, Wu Q. 2013. Gene cloning and expression level of chalcone isomerase during florescence and content of flavonoids in *Fagopyrum dibotrys*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 44(11): 1481–1485 (in Chinese) [雒晓鹏, 白悦辰, 高飞, 李成磊, 陈惠, 吴琦. 2013. 金荞麦查尔酮异构酶的基因克隆及其花期表达与黄酮量分析. *中草药*, 44(11): 1481–1485]
- Meng XX, Huang LF, Dong LL, Li XW, Wei FG, Chen ZJ, Wu J, Sun CZ, Yu YQ, Chen SL. 2016. Analysis of global ecology of *Panax notoginseng* in suitability and quality. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 51(9): 1483–1493 (in Chinese) [孟祥霄, 黄林芳, 董林林, 李西文, 魏富刚, 陈中坚, 吴杰, 孙成忠, 余育启, 陈士林. 2016. 三七全球产地生态适宜性及品质生态学研究. *药学报*, 51(9): 1483–1493]
- Neftali S. 2011. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. *Ecological Modelling*, 222(8): 1343–1346
- Shen L, Wu J, Li XW, Xu J, Dong LL, Sang MC, Sun CZ, Fujihara N, Chen SL. 2016. A study of global ecological adaptability and field selection practices of *Panax ginseng*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 41(18): 3314–3322 (in Chinese) [沈亮, 吴杰, 李西文, 徐江, 董林林, 桑明春, 孙成忠, 藤原直树, 陈士林. 2016. 人参全球产地生态适宜性分析及农田栽培选地规范. *中国中药杂志*, 41(18): 3314–3322]
- Shu CR. 2005. Research on cultivation and harvesting technology of *Fagopyrum dibotrys*. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 16(2): 176 (in Chinese) [舒成仁. 2005. 金荞麦栽培与采收技术的研究. *时珍国医国药*, 16(2): 176]
- Sun Y, Zhou GL, Malgorzata J, Chen Y, Yi JP. 2015. Assessment of potential establishment of fungus *Leptosphaeria maculans* in China. *Journal of Plant Protection*, 42(4): 523–530 (in Chinese) [孙颖, 周国梁, Malgorzata Jedryczka, 陈艳, 易建平. 2015. 油菜茎基溃疡病菌在中国定殖的可能性评估. *植物保护学报*, 42(4): 523–530]
- Wang H, Li H, Zeng FL, Xie CX. 2015. Spatial distribution and global potential suitability regions of *Artemisia annua*. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 38(3): 460–466 (in Chinese) [王欢, 李慧, 曾凡琳, 谢彩香. 2015. 黄花蒿空间分布及全球潜在气候适宜区. *中药材*, 38(3): 460–466]
- Wang HL, Wang XH, Zhao MY, Ruan PJ, Mei Y, Zhang J, Tu GH, Liu JX. 2014. The study of impactation under different potassium fertilization on *Fagopyrum cymosum*. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 25(7): 1722–1724 (in Chinese) [王海玲, 王孝华, 赵明勇, 阮培均, 梅艳, 张俊, 涂光红, 刘建新. 2014. 钾肥不同施用量对金荞麦影响的研究. *时珍国医国药*, 25(7): 1722–1724]
- Wang JJ, Cao B, Bai CK, Zhang LL, Che L. 2014. Potential distribution prediction and suitability evaluation of *Fritillaria cirrhosa* D. Don based on MaxEnt modeling and GIS. *Bulletin of Botanical Research*, 34(5): 642–649 (in Chinese) [王娟娟, 曹博, 白成科, 张琳琳, 车乐. 2014. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 预测川贝母潜在分布及适宜性评价. *植物研究*, 34(5): 642–649]
- Wang YS, Xie BY, Wan FH, Xiao QM, Dai LY. 2007. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models. *Biodiversity Science*, 15(4): 365–372 (in Chinese) [王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英.

2007. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 15(4): 365–372]
- Wang YS, Xie BY, Wan FH, Xiao QM, Dai LY. 2008. Application of ecologic niche models in explanation of niche shift of invasive alien species. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10): 4974–4981 (in Chinese) [王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. 2008. 应用生态位模型研究外来入侵物种生态位漂移. 生态学报, 28(10): 4974–4981]
- Wu HQ, Li GD. 1994. Research on organisms of *Fagopyrum cymosum* Meisn. *Journal of Yunnan Normal University*, 14(4): 102–109 (in Chinese) [吴惠群, 李光德. 1994. 金荞麦生态环境研究. 云南师范大学学报, 14(4): 102–109]
- Xiao XH, Chen SL, Huang LQ, Xiao PG. 2009. Survey of investigations on Daodi Chinese medicinal materials in China since 1980s. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 34(5): 519–523 (in Chinese) [肖小河, 陈士林, 黄璐琦, 肖培根. 2009. 中国地道药材研究20年概论. 中国中药杂志, 34(5): 519–523]
- Zeng XF, Su BD, Jiang T, Chen ZH. 2007. Projection of future climate change in the Yangtze River basin for 2001–2050. *Advances in Climate Change Research*, 3(5): 293–298 (in Chinese) [曾小凡, 苏布达, 姜彤, 陈正洪. 2007. 全球增暖背景下2050年前长江流域气候趋势的一种预估. 气候变化研究进展, 3(5): 293–298]
- Zhang MG, Slik JWF, Ma KP. 2016. Using species distribution modeling to delineate the botanical richness patterns and phytogeographical regions of China. *Scientific Reports*, 6: 22400
- Zhang Q, Zeng FL, Zhang DF, Xie CX, Chen SL. 2016. Ecology suitability regions and ecological characteristics of *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen based on maximum entropy model. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 51(10): 1629–1637 (in Chinese) [张琴, 曾凡琳, 张东方, 谢彩香, 陈士林. 2016. 基于最大熵模型的三七生态适宜区及生态特征. 药学报, 51(10): 1629–1637]
- Zhang YF, He P, Li GQ, Liu Y, Zhang CP, Hu SJ. 2009. Effects of different water-supplying conditions on morphology and biomass distribution of *Fagopyrum dibotrys*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 40(9): 1456–1459 (in Chinese) [张益锋, 何平, 李桂强, 刘云, 张春平, 胡世俊. 2009. 不同施水处理对金荞麦形态和生物量分配的影响. 中草药, 40(9): 1456–1459]
- Zhao LL, Wang PC, Chen C, Deng R, Xiang QH, Chen YP. 2016. Influence of long-term persistent drought stress on growth, physiological and ecological characteristics of *Fagopyrum dibotrys* and comprehensive evaluation of their drought resistance. *Acta Agrestia Sinica*, 24(4): 826–833 (in Chinese) [赵丽丽, 王普昶, 陈超, 邓蓉, 向清华, 陈燕萍. 2016. 持续干旱对金荞麦生长、生理生态特征的影响及抗旱性评价. 草地学报, 24(4): 826–833]
- Zhao MK, Yang F. 2016. Comparison test of three wild *Fagopyrum cymosum* varieties. *Prataculture & Animal Husbandry*, (4): 36–38 (in Chinese) [赵明坤, 杨菲. 2016. 三个野生金荞麦引种比较试验. 草业与畜牧, (4): 36–38]
- Zhao ZF, Wei HY, Guo YL, Gu W. 2016. Potential distribution of *Panax ginseng* and its predicted responses to climate change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 27(11): 3607–3615 (in Chinese) [赵泽芳, 卫海燕, 郭彦龙, 顾蔚. 2016. 人参潜在地理分布以及气候变化对其影响预测. 应用生态学报, 27(11): 3607–3615]
- Zhou JY, Lin J, Du X, Wu SL, Xiao YL. 2015. Research situation of clinical application of jinqiaomai (rhizoma *Fagopyri dibotryis*). *Henan Traditional Chinese Medicine*, 35(7): 1705–1707 (in Chinese) [周洁云, 林静, 杜霞, 吴胜林, 肖远莉. 2015. 金荞麦临床应用概况. 河南中医, 35(7): 1705–1707]

(责任编辑:王 璇)