·中药资源·

华东覆盆子生态适宜性区划研究△

尹永飞[1]，景志贤[2]，张珂[1*]，刘小芬[3]，李石清[4]，刘浩[5]

1. 安徽中医药大学 安徽道地中药材品质提升协同创新中心，安徽　合肥　230012；
2. 中国中医科学院 中药资源中心，北京　100700；
3. 福建中医药大学，福建　福州　350100；4. 浙江中医药大学，浙江　杭州　310051；
5. 湖南省中医药研究院，湖南　长沙　410006

［摘要］ **目的**：预测华东覆盆子生态适宜性分布区，进行生态适宜性区划研究，为华东覆盆子的品质区划及生产区划提供依据，并探索影响华东覆盆子分布的主要生态因子，为其生态栽培研究提供理论依据。**方法**：以华东覆盆子的分布位点信息及生态因子数据为基础，利用最大熵模型（Maxent）及 Gis 制图软件进行生态适宜性预测，并对生态适宜区进行划分。**结果**：降水和气温是影响华东覆盆子全国分布的主要生态因子；华东覆盆子分布适宜区主要集中于华东地区长江以南的安徽南部、浙江、福建北部、江西东北部及江苏西南部，最适宜区主要集中在安徽皖南山区黄山山脉至浙江西部天目山一带、浙江东部山区、福建武夷山、江西东北部山区、江苏西南部地区。**结论**：本研究结果可以为华东覆盆子的道地药材生产布局及生态种植研究提供依据，并对扩大商品开发所需华东覆盆子原料产区具有一定的指导意义。

［关键词］ 华东覆盆子；生态适宜性；生态因子；最大熵模型

［中图分类号］ R282　　［文献标识码］ A　　［文章编号］ 1673-4890（2019）10-1342-06

doi：10.13313/j.issn.1673-4890.20190512001

Study on Ecological Suitability Regionalization of *Rubus chingii*

YIN Yong-fei[1], JING Zhi-xian[2], LIU Xiao-fen[3], LI Shi-qing[4], LIU Hao[5], ZHANG Ke[1*]

1. *Anhui University of Chinese Medicine, Synergetic Innovation Center of Anhui Authentic Chinese Medicine Quality Improvement, Hefei* 230012, *China*;
2. *National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing* 100700, *China*;
3. *Fujian University of Chinese Medicine, Fuzhou* 350100, *China*;
4. *Zhejiang University of Chinese Medicine, Hangzhou* 310051, *China*;
5. *Hunan Academy of Chinese Medicine, Changsha* 410006, *China*

［**Abstract**］ **Objective**: The ecological suitability distribution area of *Rubus chingii* was predicted and the ecological suitability regionalization was carried out to provide the basis for the quality regionalization and production regionalization of *R. chingii*. The main ecological factors affecting the distribution of *R. chingii* were explore and the theoretical basis for its ecological cultivation was provided. **Methods**: Based on the distribution site information and ecological factor data of *R. chingii*, the Maxent model and Gis mapping software were used to predict the ecological suitability, and the ecological suitability areas were divided. **Results**: Precipitation and temperature were the main ecological factors affecting the distribution of *R. chingii*. The suitable distribution area of *R. chingii* located in east China Yangtze river south of Anhui south, Zhejiang, Fujian north, Jiangxi northeast and Jiangsu southwest, The most suitable areas are mainly concentrated in the Huangshan mountains in the southern Anhui province and the Tianmu mountains in the western Zhejiang province, the mountains in the eastern Zhejiang

△［基金项目］ 中央本级重大增减支项目（2060302）；2014 年中医药部门公共卫生服务补助资金项目（财社〔2014〕76 号）；安徽省高等学校省级质量工程项目（2017jyxm0229）

*［通信作者］ 张珂，讲师，研究方向：中药资源学；E-mail：valleylily@qq.com

province, the Wuyi mountains in Fujian province, the mountains in the northeast Jiangxi province and the southwestern Jiangsu province. **Conclusion**: The results of this study provide a basis for the production layout of Authentic Chinese Medicine materials and ecological planting research of *R. chingii*, and have certain guiding significance for expanding the raw material production areas of *R. chingii* needed for commodity development.

[**Keywords**]　*Rubus chingii*; ecological suitability; ecological factors; Maxent

华东覆盆子 *Rubus chingii* Hu 为蔷薇科悬钩子属落叶灌木，主要分布于安徽、浙江、江西、江苏、福建、广西等省。生低海拔至中海拔地区，在山坡、路边阳处或阴处灌木丛中常见[1]。因其叶裂如手掌，故又称掌叶覆盆子。其未成熟果实入药做中药覆盆子，具有益肾固精缩尿、养肝明目之功效[2]。随着中医药事业的发展及人们对养生保健的重视，作为药食同源植物，华东覆盆子因营养价值丰富、保健功效突出且果实口感极佳，被广泛用于新型水果、功能饮料、水果罐头、各类保健品的开发[3-6]。随着市场需求量的不断增加，野生华东覆盆子产量不能满足其入药及保健品市场需求，近年来覆盆子价格大幅上涨。在走访调查过程中发现近几年浙江、安徽等地栽培面积逐年增加，由于华东覆盆子栽培发展较晚，目前对覆盆子的栽培研究主要集中在栽培管理等方面，缺乏系统的区划研究，因此探索其生态适宜区及影响其生长的主导环境因子，为栽培研究提供科学依据，对推广华东覆盆子栽培、缓解市场供需矛盾具有重要意义。

近年来，郭兰萍等[7]对中药生态农业进行了研究与梳理，并在中药品质形成特点研究的基础上，提出了基于“逆境效应”的道地药材“拟境栽培”理论，鼓励中药材生产采用中药生态农业中模拟原始生境的“拟境栽培”方式，为中药的生态种植指明方向。中药生态区划的研究是以物种所在的自然生态系统为研究对象，以其生境特征及与自然条件之间的关系为依据，研究中药资源所在地自然条件的空间规律[8]，因此对中药进行生态区划研究可以为生态种植研究及道地药材生产布局提供依据。

中药区划方法有定性描述法、构建模板法、构建模型法及其他方法，其中构建模板法中的生态位模型在中药区划的研究中使用较广。生态位模型是利用研究对象已知的分布数据和环境因子数据，进行数学建模，判断物种生态需求，并预测其潜在分布范围[9]。生态位模型有 Maxent、Bioclim、Climax、Domain、Grap 模型等，蔡静芸等[10]通过研究分析认为 Maxent 模型的预测效果较好。Maxent 模型基于生态位原理建立生态位模型，以物种在已知分布区的信息及研究区环境变量为基础，通过比较该物种在已知分布区的生态环境变量来确定其占有的生态位，以此预测物种的潜在地理分布情况，Maxent 模型已被用于多种中药的生态适宜性区划研究[11-14]。本研究在实地调查的基础上，基于 147 个华东覆盆子分布位点信息及 55 个气候、土壤等生态因子数据，利用 Maxent 模型及 Gis 制图软件，探索华东覆盆子潜在分布，并进行生态适宜性区划研究，为我国华东覆盆子的生态种植研究及栽培布局提供理论依据。

1　材料与方法

1.1 采样仪器

HOLUX·m-241 轨迹记录仪，佳能单反相机。利用轨迹记录仪记录调查轨迹，将单反相机时间调节到与轨迹记录仪一致，利用单反相机所拍摄华东覆盆子照片与调查轨迹按照时间进行自动匹配，获取拍摄照片位置经纬度信息。

1.2 分布位点信息

通过实地调查和查阅中国数字植物标本馆(CVH)等方式共获取华东覆盆子分布位点信息 147 个，其中 98 个来源于第四次全国中药资源普查实地调查所收集位点信息，其余 49 个源于 CVH 收录的华东覆盆子标本记录位置信息。其中无经纬度坐标记录的分布位置以最小可查的地名为准，利用 Google 地图查询获取其经纬度信息。所收集分布位点样本主要分布于安徽、浙江、江苏、江西、福建、湖南(见图 1)，将位点信息输入 Excel 表格进行整理，并根据 Maxent 软件(3.3.3k)要求，将位点样本按 name(物种名)、long(经度)、late(纬度)三列存储为 csv 格式文件备用。

注：审图号为 GS(2019)3832 号。

图 1　华东覆盆子样本分布位点

1.3 生态因子数据来源

本研究使用的生态因子数据来源于“中药资源空间信息网络数据库”，共 55 个生态因子，包含 43 个气候类型数据(12 个月的降水量和平均气温，19 个综合气候因子，分辨率为 1 km)，8 个土壤类型数据(土壤 pH、土壤阳离子交换能力、土壤含沙量、土壤含黏土量、土壤亚类-sym90、土壤有效水含量等级、土壤质地分类、土壤有机碳含量)，3 个地形数据为高程(altitude)、坡度(slope)、坡向(aspect)，1 个植被类型数据。生态因子数据均为 .asc 格式。

1.4 Maxent 软件参数设置及精度评价

将位点信息及生态因子数据导入 Maxent 软件，将随机测试比例设置为 20%，其余位点信息作为训练集用于建模，运算最大迭代次数设为 10^6，使用刀切法(Jackknife)检测变量权重，打开响应曲线，设置受试者工作曲线(receive operating characteristic，ROC 曲线)及曲线下面积(AUC 值)来评价生态适宜性分析模型预测结果的精度，其余参数为软件默认值。

1.5 生态因子筛选方法

将处理后的华东覆盆子分布信息及生态因子数据导入 Maxent 模型软件进行迭代运算，按照 **1.4** 方法设置软件，第一次运算结束后，查看运算生成的 HTML 文件信息，对变量分析表中贡献率为 0 的生态因子予以舍去，再进行下一次运算，经多次运算筛除至所有参与运算的生态因子均有贡献，其中贡献率大、权重高的为影响华东覆盆子生态适宜性的主要生态因子[8]。

1.6 生态适宜区划分方法

取经 **1.5** 方法确定的生态因子数据加载至 Maxent 模型软件分别运算 10 次，选取精度最大的一组运算结果加载至 Gis 制图软件中，将文件转换成栅格数据格式，同时导入中国行政区域地图，得到华东覆盆子生长适宜度图。在得到的适宜度图上根据样本分布位点提取生长适宜度，以提取值中的最小值作为华东覆盆子适宜生长和不适宜生长的分界线。对于适宜生长的区间，依据正态分布的参数标准差 σ 和平均值 μ，选择 $\mu+\sigma$ 作为阈值，区分“次适宜区”和“最适宜区”，既［0，最小值］为不适宜区，［最小值，$\mu+\sigma$］为此适宜区，［$\mu+\sigma$，1］为最适宜区。

2　结果与分析

2.1 模型精确度评价

本研究模型预测结果精度评价采用 ROC 曲线分析法，以 AUC 值为指标，其不受阈值影响，大小可作为模型预测准确度的衡量指标，AUC 取值范围为［0，1］，越接近 1 表明模型预测精度越高。指标评

价标准为：0.5～0.6 为预测失败，0.6～0.7 预测结果较差，0.7～0.8 为预测结果一般，0.8～0.9 为预测结果好，0.9～1.0 表明预测结果非常好，可以准确反应所预测的物种的潜在适生区[15]。通过 Maxent 模型软件运算预测，华东覆盆子 ROC 曲线（见图 2）训练集 AUC 值为 0.993，测试集 AUC 值为 0.993，表明 Maxent 模型运算预测效果非常好，预测得出的华东覆盆子生态适宜度具有较高的准确度和可信度。

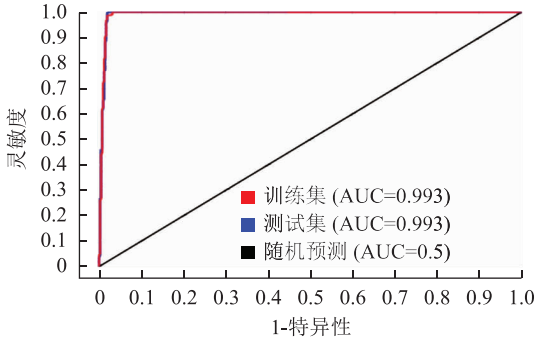

图 2　华东覆盆子生态适宜度预测 ROC 曲线

2.2 主导生态因子筛选

按照 **1.5** 方法经 Maxent 模型软件 7 次运算后，55 个生态因子中，18 个贡献率大于 0，将其加载至 Maxent 模型进行运算，选取效果较好、精度最高的一次作为研究结果，其生态因子刀切图见图 3。由刀切图可以看出最干月降水、最干季节降水量、1 月及 11 月降水量、温度季节性变化的标准差、4 月平均气温、9 月降水量 7 个生态因子对分布预测结果贡献率较高，其生态因子贡献率及排列重要性见表 1，前 7 个生态因子总贡献率达 91.3%，是影响华东覆盆子分布适宜度的主导生态因子。7 个主导生态因子均为气候类型因子，其中 5 个与降水量有关，两个与气温有关，表明气候环境对华东覆盆子的整体分布范围具有主导作用，植被类型、土壤类型、坡度、坡向等生长环境变量也对华东覆盆子的生长有一定的影响，但对华东覆盆子整体分布范围影响较小。

华东覆盆子最干月降水的适宜值为 38～70 mm，最干季降水适宜值为 140～200 mm，1 月降水最适宜量为 50～100 mm，11 月最适宜降水量为 50～80 mm，且随着 11 月降水超过 80 mm，其对适宜度降低的影响变小；温度季节性变化的标准差在 55～90 较适宜，4 月平均气温适宜值为 10～22 ℃，9 月降水量适宜值为 100～300 mm。

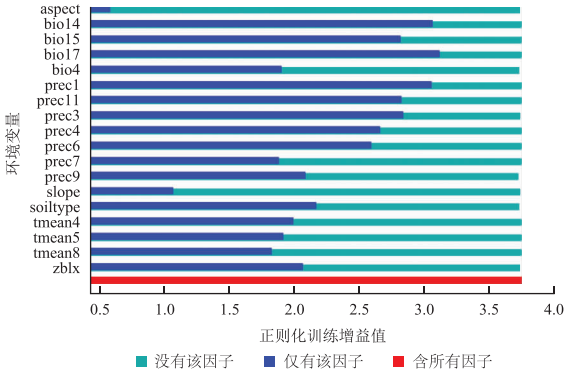

图 3　Maxent 模型预测生态因子刀切图

表 1　Maxent 模型运算的生态因子贡献率

生态因子变量	变量缩写	贡献率/%	排列重要性
最干月降水量	bio14	30.9	1.6
最干季降水量	bio17	21.4	2.4
1 月降水量	prec1	12.3	5.9
11 月降水量	prec11	9.6	0.5
温度季节性变化的标准差	bio4	6.3	42.0
4 月平均气温	tmean4	5.7	17.3
9 月降水量	prec9	5.1	6.0
7 月降水量	prec7	2.6	0
3 月降水量	prec3	1.4	1.8
坡度	slope	1.2	9.3
4 月降水量	prec4	0.7	3.2
土壤类型	soiltype	0.7	0.8
5 月平均气温	tmean5	0.6	0
年均温变化范围	bio15	0.5	1.5
植被类型	zblx	0.3	0.7
坡向	aspect	0.3	0.4
8 月平均气温	tmean8	0.3	5.6
6 月降水量	prec6	0.1	1.0

2.3 生态适宜性区划

按 **1.6** 方法对华东覆盆子生态适宜度进行运算，将最终 Maxent 模型软件运算结果加载到 Gis 制图软件中，并根据所设阈值进行重分类，［0，0.055 482］为不适宜区，［0.055 482，0.682 963］为此适宜区，［0.682 963，1］为最适宜区，制图得到华东覆盆子生态适宜性区划图（见图 4）。由图可知华东覆盆子集中分布区位于华东地区长江以南的安徽南部、浙江、福建北部、江西东北部及江苏西南部小部分地区，预测结果显示安徽西部大别山山区、湖北东南部、湖南北部及东南部、江西西部、广东北部、广西

注：审图号为 GS(2019)3832 号。

图 4　华东覆盆子生态适宜性分布

东北部及台湾中部生态环境也适合华东覆盆子分布，为其次适宜分布区。华东覆盆子生长最适宜区主要集中在安徽皖南山区黄山山脉至浙江西部天目山一带、浙江东部山区、福建北部武夷山一带、江西东北部山区、江苏西南部部分地区。

3　结论与讨论

本研究以实地调查华东覆盆子分布信息及网络查询分布信息为基础，利用 Maxent 模型预测其在我国的生态适宜性分布，本研究预测结果用 ROC 曲线分析法进行精度评价，所得 AUC 值在 0.9 以上，接近 1，表明模型预测结果准确，可信度高。

在全国尺度下进行华东覆盆子生态适宜性分布预测，通过对 55 个生态因子的筛选，发现全国尺度下对华东覆盆子的整体分布起主导作用的为气候因子，即降水和气温，且最干月、最干季降水量对其分布影响权重较高；而全国区划尺度下植被类型、土壤类型、坡度、坡向等生长环境指标对华东覆盆子分布影响较小。这可能与研究尺度的选择有关，若研究其生态种植条件的选择等问题，可根据生态适宜性区划结果缩小研究尺度，探索华东覆盆子的生态种植在选地、选择伴生植物等方面的具体指标。

张珂等[16]对安徽悬钩子属药用植物的分布与生态特点进行调查研究，发现悬钩子属药用植物的分布，与温度、水分、光照、海拔等环境因子均有关系。最干季降水量对华东覆盆子分布影响权重较高，表明华东覆盆子的分布与降水量关系密切。华东覆盆子野外分布多为亚热带地区，中国的亚热带地区为大陆东岸型，即季风型气候，夏季湿热，冬季干冷，最干季即冬季。这段时间华东覆盆子主要以越冬芽渡过休眠期。据张珂等观察研究，华东覆盆子越冬芽为混合芽，开花前一年初秋便开始花芽分化，并完成雌雄蕊分化。冬季植物体休眠时，芽内雄蕊细胞仍处快速生长分裂状态。通过对冬季越冬芽内雌雄蕊发育的观察，发现植物正处于快速发育期，分生细胞明显。3 月中上旬叶即初展，花苞伸出，进入花蕾期[17]。而冬季水分不足，是否会直接影响其雌雄蕊发育，以致影响华东覆盆子的分布、产量及品质，尚待进一步研究。

利用 Maxent 模型对华东覆盆子分布进行预测，结果显示华东覆盆子主要分布在安徽、浙江、福建、江西、湖南、江苏、广西、广东等地[1]，与《中国植物志》记载基本一致，说明预测结果较合理。根据预测结果，发现安徽长江以北大别山区、湖北等地也可能是华东覆盆子的潜在分布区，而根据第四次全国中药资源普查安徽省普查队实地调查情况，安徽省长江以北大别山区没有发现华东覆盆子的野生分布，故预测结果与实际分布范围存在差异。而根据预测结果，可继续探索华东覆盆子在大别山区等潜在分布区的栽培条件，以适当的人为干预扩大

华东覆盆子栽培区域，为华东覆盆子相关商品开发提供更多的栽培资源。模型预测显示，台湾中部有华东覆盆子的生态适宜区，且有小部分地区为最适宜区，可探索在台湾中部部分地区发展华东覆盆子栽培，对当地中药产业发展具有一定的推动作用。

对华东盆子进行生态适宜性区划，结果显示华东覆盆子最适宜分布区为安徽皖南山区、浙江西部天目山山脉、浙江东部山区、福建北部武夷山一带、江西东北部山区、江苏西南部个别地区，研究结果对华东覆盆子的道地药材生产布局及生态种植研究具有一定的指导意义。

参考文献

[1] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志：第 37 卷[M]. 北京：科学出版社，1985：118.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：一部[M]. 北京：中国中医药科技出版社，2015：382.

[3] 李继，仁何冰. 覆盆子类 22 种生药中微量元素的含量分析[J]. 微量元素与健康研究，1999，16(3)：29-31.

[4] 闫翠香，丁新泉，夏昀，等. 德兴覆盆子产业化发展策略[J]. 广东农业科学，2013，40(20)：234-236.

[5] 相玉秀，臧洪鑫，郭玲玲，等. 覆盆子罐头加工工艺[J]. 北华大学学报(自然科学版)，2018，19(6)：805-809.

[6] 孙汉巨，高韩玉，钟昔阳，等. 覆盆子功能饮料加工工艺的研究[J]. 食品科学，2005，26(8)：131-134.

[7] 郭兰萍，吕朝耕，王红阳，等. 中药生态农业与几种相关现代农业及 GAP 的关系[J]. 中国现代中药，2018，20(10)：1179-1188.

[8] 卢有媛，郭盛，严辉，等. 甘遂生态适宜性区划研究[J]. 中国现代中药，2018，20(12)：1471-1475，1482.

[9] 张小波，黄璐琦. 中国中药区划[M]. 北京：科学出版社，2019：17-18.

[10] 蔡静芸，张明明，粟海军，等. 生态位模型在物种生境选择中的应用研究[J]. 经济动物学报，2014，18(1)：47-52.

[11] 张飞，陈随清，王利丽，等. 基于 Maxent 和 ArcGIS 的山茱萸生态适宜性区划研究[J]. 中国中药杂志，2017，42(16)：3078-3083.

[12] 王哲，李波，姜大成，等. 基于 MaxEnt 模型和 GIS 技术的吉林省玉竹主导环境因子与生态适宜性区划研究[J]. 时珍国医国药，2018，29(9)：2250-2253.

[13] 马晓辉，卢有媛，黄得栋，等. 中麻黄生态适宜性区划研究[J]. 中国中药杂志，2017，42(11)：2068-2071.

[14] 严辉，张小波，朱寿东，等. 当归药材生产区划研究[J]. 中国中药杂志，2016，41(17)：3139-3147.

[15] 王运生，谢丙炎，万方浩，等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用[J]. 生物多样性，2007，15(4)：365-372.

[16] 张珂，王德群. 安徽省悬钩子属药用植物资源[J]. 现代中药研究与实践，2005，19(3)：44-46.

[17] 张珂，王德群，蒋慧莲. 掌叶覆盆子果实发育研究[J]. 安徽中医学院学报，2011，30(4)：70-72.

（收稿日期：2019-05-12　　编辑：戴玮）