

古红果榆适生区及其再生体系探索

徐梦寒¹ 白晨¹ 许晓岗^{1*} 童丽丽² 程瑶¹ 田露¹ 郑浩志¹ 戴伟¹

1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心/生物与环境学院, 江苏南京, 210037; 2. 金陵科技学院园艺园林学院, 江苏南京, 210038

*通讯作者: 许晓岗, 1208657126@qq.com

摘要 为了明确古红果榆的适宜分布区及其最佳繁殖方法, 本文基于全国红果榆分布点和气候环境信息, 使用 ArcGis10.8 和 MaxEnt 软件, 模拟了当前气候环境下红果榆的适宜分布区, 并通过在不同时期采取当年生, 1 年生, 2 年生枝条, 选取合适的生长促进剂浓度和浸泡时间, 结果表明: ①红果榆适宜分布区在长江流域以南的华中, 华东及华西地区。长江流域以北, 西藏, 云南, 华南地区为低适宜分布区, 不适宜红果榆的引种。②古红果榆有性繁殖和无性繁殖的再生方法均可行。种子繁殖的成活率不高, 不适宜作快速、廉价、大规模培育的手段, 但保存其优良的种质资源是可行的。扦插繁殖适宜采用浓度 100mg/L 的混合溶液 (萘乙酸: 吲哚丁酸=9: 1) 浸泡 2 年生的插穗, 处理 25mins 为最佳处理组合, 生根率可达 44%。这对于红果榆实生苗扦插来说是比较理想的。

关键词 红果榆; 古树; 适生区; 繁育技术; 栖霞山

Research on suitable distribution and regeneration system of ancient *Ulmus szechuanica*

Xu Menghan¹ Bai Chen¹ Xu Xiaogang^{1*} Tong LiliCheng² Yao¹ Tian Lu¹ Zheng Haozhi¹ Dai Wei¹

1. Co-innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China / College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 2. School of Horticulture & Landscape Architecture, Jinling Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 210038

*Corresponding author: Xu Xiaogang, 1208657126@qq.com

Abstract To determine the suitable distribution of *Ulmus szechuanica* and find out the best propagation method for it, the paper applied ArcGis and MaxEnt to figure out the suitable distribution of *U. szechuanica* based on its distribution and climate environment information and picked shoots of 1 year old and 2 years old stems at different periods and selecting the appropriate concentration of auxin and treating time. The results showed that: ①The suitable distribution of *U. szechuanica* is around south of the Yangtze River in the central and East China, while North of Yangtze River, Tibet, Yunnan and South China are not so suitable for distribution, and it is not suitable for the introduction of *U. szechuanica*. ②Both sexual and asexual reproduction methods are feasible for *Ulmus szechuanica*. The survival rate of seed propagation was not high so sexual reproduction is not suitable for rapid, cheap and large-scale cultivation, but it is feasible to preserve its excellent germplasm resources. The 2-year-old branches of *U. szechuanica* were suitable for cutting propagation, and the best treatment concentration is 100mg/L NAA: IBA=9:1 solution for 25mins, the rooting rate can reach 44%, which is ideal for cutting of *U. szechuanica*.

Keywords *Ulmus szechuanica*; ancient tree; suitable distribution; breeding technique; QiXia Mountain

红果榆 (*Ulmus szechuanica* W. P. Fang) 是榆科 (Ulmaceae) 榆属 (*Ulmus*) 的落叶大乔木, 其树体通直, 枝干平展, 树形优美, 春季翅果淡红色, 秋季树叶变黄, 是极好的季节观赏树种。但由于红果榆

受天然繁育能力的限制,其在华东低山丘陵地区分布范围狭窄且天然更新能力较差,因而对其繁育更新的研究甚为必要^[1]。目前南京地区最大的红果榆仅存于栖霞山,由于历代人为干扰已显颓势,保存其在华东地区的种质资源尤为重要。延续古树的继代繁殖的方法很多,其中最直接也是成本最低廉的手段是种子和扦插繁殖。国内外有关红果榆古树的繁育研究未见报道,有鉴于此,本文探索了适合红果榆古树繁育的扦插技术体系。

国外在 1993 年就开始了榆树的无性繁殖,主要方法是使用植物组织培养的方法将榆树的健康枝条离体培养,诱导产生愈伤组织,产生不定芽和根之后,经过炼苗种植到户外独立生长^[2]。而 R. C. Thakur 也使用无性繁殖的方法对榆树进行了扩繁和引种栽培^[3]。国内关于红果榆的研究主要集中于红果榆实生苗的繁育技术,包括红果榆的种子播种、嫩枝和硬枝扦插、苗床养护和病害处理等^[4],但是缺乏红果榆古树繁育方面的研究。红果榆老龄树由于形成层衰退,所以扦插繁殖难度系数大。而扦插的优点在于可以快速扩大南京古红果榆的种质资源,以较快的速度繁育出一批古红果榆的继代苗,保存古树的优良性状。

本课题通过对该古红果榆的种子及扦插繁殖技术探索,探索红果榆古树的最佳繁殖方法,为保存栖霞山古红果榆种质资源找到一条可行的、廉价的技术路线,为延续栖霞山古树文化而保存植物载体,同时也为类似地域的同类古树种质资源保存与繁育提供可复制、可操作的技术指引。

1 材料与方法

1.1 材料

古红果榆种子样本采摘自栖霞山中峰涧西南坡,于四月初果实落下时采集,本次实验以该栖霞山古红果榆种子繁殖的 2 株实生苗(2019 年栽种)为采穗母株,此实生苗定植于栖霞山苗圃园,树龄 5 年,树高在 3m 左右,树干基部分叉多,枝叶繁茂,生长良好,无病虫害。3 月初南京地区的红果榆尚未发芽,采取 1 年生,2 年生枝条进行遮荫沙藏,保持扦插基质的湿度在 70%-80% 左右,每隔 3 天检查基质湿度,保证插穗表面不干燥。观察叶芽的萌发和愈伤组织的生成状况。4 月份红果榆新叶完全长出,红果榆古树也开花结果,采集枝条时果已落下。采集当年生,1 年生,2 年生枝条,剪去枝条幼嫩部位,减少蒸腾作用和嫩枝对养分的消耗,清水浸泡 48h,每天换 2 次水,去除枝条内的粘液,修剪待用。扦插实验地为金陵科技学院幕府校区的园艺站。

1.2 实验方法

1.2.1 分布区分析技术

红果榆分布点数据来自三个地方:①本课题组前期调查研究,测量南京市红果榆经纬度,记录数据。②红果榆相关的文献,有关红果榆种源分布的数据,筛选其中的有用数据。③通过标本数据库检索,数据来源于中国国家标本资源平台(<http://www.nsii.org.cn>)和 CVH 自然标本馆

(<https://www.cvh.ac.cn>),取样时间从 1960 年至今,共整理红果榆电子照片与标本数据 278 份,删去其中重复与不合标准数据,最终整理有效数据 41 份。中国地图基于自然资源技术审查中心标准地图下载服务,下载的审图号为 GS (2019) 1822 号^[5-6]。

将得到的分布数据导入 ArcGis 10.8 软件中,使用 SDMtoolbox 工具包处理数据,再次去除分布过于接近的地理坐标。选取当前时期的 19 个气候变量(Bio1-Bio19),数据来自全球气候数据库

(<http://www.worldclim.org>),空间分辨率为 2.5arc-min(约为 5km×5km)。利用空间分析工具 Spatial Analysis Tools 的 Extraction 功能将关于中国的环境因子数据从全球数据中分割出来,利用 Raster Tool 中的 Raster to ASCII (folder),将 TIF 文件批量转为 ASC 格式^[6-9]。

1.2.2 繁殖技术实验

1.2.2.1 种子繁殖

将采集到的古红果榆种子随即拌沙处理,然后可以直接播种,不需要进行催芽。提前准备好苗床,喷洒多菌灵杀菌。将干净的种子均匀拌在沙子中,喷洒清水保持湿润,等到出芽后,就可以移栽到大田里。

1.2.2.2 扦插繁殖

1.2.2.2.1 生长促进剂浓度和处理时间对扦插生根的影响

将处理好的红果榆枝条按照芽位剪取 5-7cm 的插穗，每个插穗保留 1-2 个芽，已发芽长叶的插穗去除所有叶片保留腋芽。插穗顶端平剪，减少水分的散失，底部斜剪，有利于插穗吸收基质中水分。

扦插基质为粗砂，筛去其中较大的石子，粗砂具有一定的保水性和透气性，可以使插穗保持湿润，不腐烂，有利于生根。为了保证扦插基质的微酸性，这里选用柠檬酸调节基质 pH 至 5 左右。

扦插使用方形的塑料箱，沙子平铺装满箱子的 3/4，扦插前 24h 喷洒多菌灵，保持基质湿润。扦插前画好沟槽，以免对插穗底部造成损伤。在每个沙箱里面画 6-7 个沟槽，用木棍倾斜 15°在沟槽里面间隔 4-5cm 插出深度 1-2cm 的小洞，便于插穗扦插。

扦插完之后将插穗根部的沙子盖上，浇透水并遮荫放置。之后每隔 3-5 天用多菌灵喷洒消毒。时刻注意保持基质的含水量在 70%-80% 之间。

试验设计以 L₄2⁽³⁾ 正交表为基础，设置了三因子四水平的混合正交表，共 16 个处理组合。将插穗分为 16 个处理组，每个处理 8-12 个重复，捆扎在一起。

表 1 实验设计因子与水平

Table 1 Factors and levels for experiment design

氨基酸	水平			
插穗(枝龄)	0	1	2	
处理时间(min)	1	10	25	40
生长促进剂浓度(mg/L)	50	100	400	800

1.2.2.2.2 时间效应对红果榆扦插生根的影响

于不同时间采集红果榆的实生苗插穗，探究时间效应对红果榆扦插苗生根率的影响。分别于 3 月初红果榆未萌芽时，和 4 月初果实落下时的插穗，研究不同时期红果榆体内累积的营养物质量的不同对红果榆插穗的生根影响。

3 月初进行一次实验，插穗的处理方式为遮荫沙藏，以降解插穗内的部分淀粉，使其转换为可溶性的糖类，为后续生根提供养分。

4 月初红果榆果落，经历过开花结果的红果榆枝干内的养分已消耗，采集此时的枝条，旨在于观测是否更有利于生根。

1.2.2.2.3 部位效应对红果榆扦插生根的影响

采集红果榆实生苗当年生，1 年生和 2 年生的枝条进行扦插，研究部位效应对红果榆扦插苗生根率的影响。红果榆不同枝龄的插穗累积的物的量和营养物质不同，对生根也会有一定的影响。根据文献所述，生根较好的部位为树基部的萌芽条，由于管理人员的前期修剪，根部已无萌芽条。所以取消树木根部、中间和上层不同高度的枝干对生根率的影响。采取中间部分较长的枝条，探索当年生，1 年生，2 年生枝条对生根率的影响。两次实验不同的之处在于，3 月初的实验，当年生的枝条属于去年枝条。而 4 月初的实验，红果榆的嫩枝已经发出。由于本次实验不考虑嫩枝扦插的结果，所以去除了所有嫩枝。

2 结果与分析

2.1 红果榆适生区分析

由图可知红果榆主要分布的地区在江苏南部，安徽南部，浙江北部，江西北部，重庆，贵州和四川地区。其中红果榆在浙江分布最多，其次是江苏、安徽等地。经标本生境分析，红果榆高度适生区的栖息地为林缘的陡坡面，土质疏松且排水良好，其降水量均在 1000mm 左右。红果榆在华东分布较多的浙江地区由于沿海受海洋湿润季风的影响，降雨充足，地形主要以山地，丘陵为主。而南京地区的红果榆位于栖霞山中峰涧的西南坡，降水量充沛，排水良好。这一切表明，红果榆喜欢气候湿润且排水良好的生境。

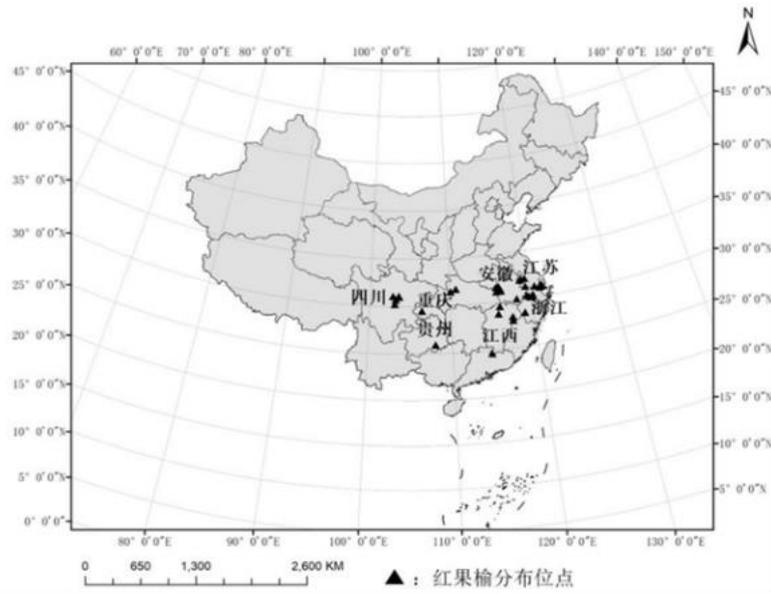


图 1 红果榆在我国的分布(1960s-2020s)

Figure 1 The distribution of *U. szechuanica* in China(1960s-2020s)

2.2 经模拟预测红果榆潜在分布范围

红果榆适生等级分区：分析和制图软件采用 ArcMap 10.8。MaxEnt 模型输出结果为 ASCII 格式，使用 Arc Toolbox 中的格式转换工具，将该数据转为 Raster 格式，使其能在 ArcMap 中可视化表示。Max Ent 软件模拟输出的结果值在[0,1]内，值越接近 1 表示物种越可能存在。0-0.08 表示不适生，0.08-0.26 为低适生区，0.26-0.47 为中适生区，0.47-0.71 为较高适生区，0.71-1 为高适生区。

使用 MaxEnt 模型预测当前气候条件下红果榆在我国的潜在分布区，如图所示。模拟出的潜在分布区主要集中在长江流域地区，江苏南部，安徽南部，浙江北部，四川地区，与红果榆实际分布区重叠，在这几个地区为乡土树种。其中，浙江、安徽、四川地区的山地是红果榆的高适宜分布区，这几个地区的地理和生态环境气候适宜红果榆生长。此外，台湾地区的山区和西藏与云南的交界处也有部分地区适合红果榆生长。

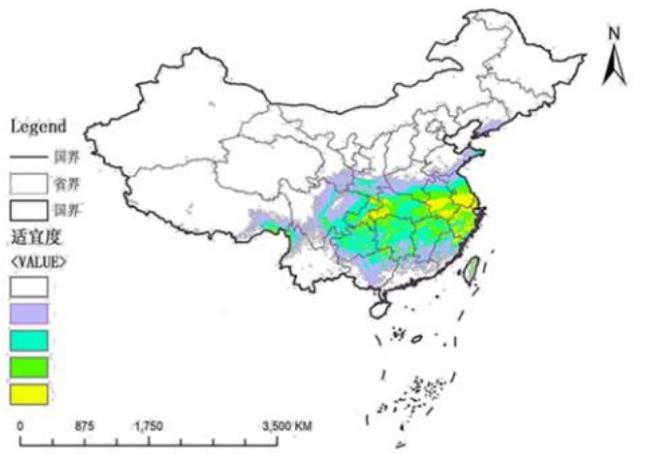


图 2 红果榆在我国的潜在分布区

Figure 2 The potential distribution of *U. szechuanica* in China

2.3 主导气候因子分析

由表 2 可知, 19 个气候环境因子中对红果榆分布起重要作用的有最干旱月份降水量, 为 58.3% 的贡献率, 对红果榆的分布起次要作用为最冷季均温, 贡献率为 15.6%。此外, 年降水量, 等温性, 年均温也对红果榆现代地理分布产生重要影响^[10-12]。综上所述, 影响红果榆现代分布格局的主要气候因子为温度因子和降雨因子。

表 2 主导环境因子百分贡献比

Table 2 Percent contribution of Main environment factors

代码	环境变量	贡献率(%)
Bio14	最干旱月份降水量	58.3
Bio11	最冷季度的均温	15.6
Bio12	年降水量	7.4
Bio3	等温性	4
Bio1	年均温	3.6

2.4 繁殖结果分析

种子繁殖的红果榆成活率不高, 拌沙播种出苗率在 25.6% 左右。与周忠胜采集杭州天目山种源进行的实验相比, 其实验的发芽率为 87.45%。而本实验播种的大部分种子都不能正常出芽, 具体原因可能是古红果榆年龄过大, 或近几年极端高温导致古红果榆树体受损, 种子没法正常发育。

表 3 不同插穗与生长促进剂处理组合成活率

Table 3 The surviving rate under different treatment of the combination between cutting genre and phytohormone

枝龄(年)	生长素浓度(mg/L)	处理时间(min)	成活率(%)
0	50	1	15.45
0	50	25	27.00
0	50	40	22.22
0	100	10	29.00
0	400	10	36.36
0	400	40	25.00
0	800	1	16.67
0	800	25	10.00
1	100	1	18.00
1	100	40	9.00
1	400	25	14.00
1	800	10	14.00
2	50	10	25.00
2	100	25	44.44
2	400	1	30.00
2	800	40	0.00

用 spss 对得到的成活率数据进行处理, 经方差分析(考虑交互作用)结果如下:

表 4 不同插穗与生长促进剂处理组合成活率的方差分析

Table 4 The variance analysis of the surviving rate under different treatment of the combination between cutting genre and phytohormone

变差来源	自由度	离差平方和	均方	均方比	显著性
插穗类型因素	2	293.37	146.68	1.22	0.14
处理时间	3	333.07	111.03	0.87	0.48
生长促进剂浓度	3	659.21	219.74	2.19	0.14

根据统计, 当年生枝条的扦插成活率在 23.8%, 1 年生枝条的成活率在 12.5%, 而 2 年生枝条的扦插成活率最高, 为 24.89%, 高于其他组的平均数据。就最佳扦插枝龄来说, 2 年生枝条最适合用于红果榆扦插。当年生枝由于相对比较幼嫩, 内含的抑制物质比较少, 所以生根率相对也比较高。1 年生枝条由于既没有储存足够的养分用于生根, 又有大量的抑制物质, 导致总体成活率不高。

生长促进剂浓度和处理时间交互作用成活率的估算边际值如下图所示:

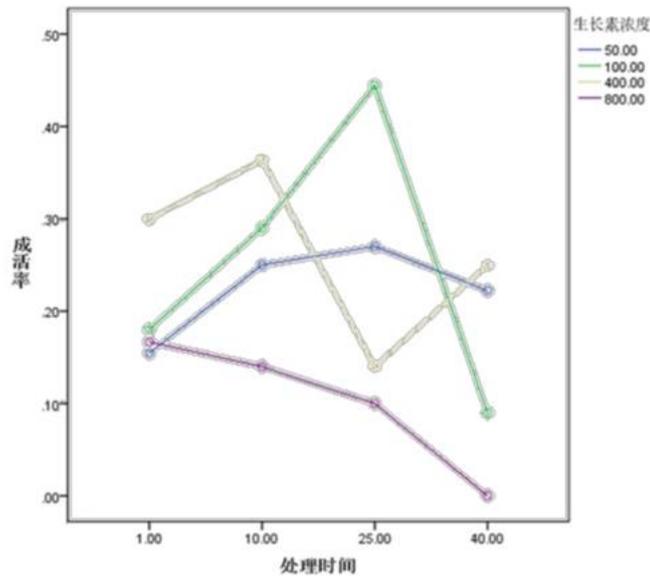


图 3 生长调节剂浓度和处理时间交互作用图

Figure 3 Graph of interaction between auxin concentration and treatment time

由上图可得知, 红果榆扦插最佳的处理组合为 100mg/L 的 NAA: IBA=9: 1 处理 25mins, 生根率在 44% 左右。

4 月份采集的插穗由于开花养分消耗过大, 并且气温和基质含水量过高, 导致的根部因不透气, 全部腐烂死亡, 因此没有获得相关实验数据。

3 讨论

本研究利用气候因子和 MaxEnt 模型对红果榆的潜在分布区进行了预测, 精度检验中 AUC 值达到 0.937, 标准差为 0.072, 因此研究结果有较高的可信度, 可以较为准确地反映该物种地潜在地理分布^[11]。与红果榆原先分布点比较, 二者基本重叠, 这表明红果榆是这几个地区的乡土树种, 其中, 浙江北部, 安徽、江苏南部, 四川等地是红果榆的高度适生区, 红果榆在这些地方长势良好。

经过实验得出: 古红果榆有性繁殖和无性繁殖的再生方法都是可行的。有性繁殖的方法有利于继承亲本的优良性状, 并且由于此处只有一棵古红果榆, 只能自花授粉, 自交的优点在于可以确保其“血统纯正”, 在同种植物稀少的时候, 保证自交植物可以在新环境下生存和扩展^[13]。由于实生苗的基因来自于同一棵母树, 可以很好的继承古树的优良性状。考虑到古树的年龄和南京地区为红果榆的非高度适生区, 所以有性繁殖不适宜作快速、廉价、大规模培育的手段。相比之下, 无性繁殖的方法可以在短期内获得大量扦插苗, 成本低, 操作方便。但是由于该古树已有一百多岁的树龄, 枝干都会含有一定的糖份和抑制生根的物质如淀粉等^[14], 导致直接扦插效果不好, 因而建议用继代的实生苗进行扦插扩繁更为有效。由于近年来的极端气候, 客观上造成了古红果榆生理状况的变化, 这直接影响到采穗和采种的质量, 因而不可避免对实验结果造成影响。

研究表明, 插穗内的营养物质与扦插生根率有重要的联系, 插穗体内的可溶性糖的含量与扦插成功率在一定程度上呈现正相关^[15], 这就是我们为什么要对采摘下来的红果榆进行遮荫沙藏以降解插穗内储存的部分淀粉, 使其转变为可溶性的糖类。这种处理方式可以大大地提高扦插的成活率。

在扦插的过程中, 插穗要保留 1-2 个芽, 这是为了让这些幼嫩部位产生的生长素通过极性运输到插穗底部可以在一定程度上促进生根。但是有时候会出现芽萌发的情况, 这并不意味着插穗一定能够顺利生根, 相反, 过早萌发的芽消耗了插穗的养分, 不利于根的生长^[16]。

综上所述, 要基于繁育目的和实际情况来选择合适的红果榆繁育技术。若是出于弘扬和保存古树文化, 传承珍贵古树的基因, 可以选择无性繁殖的手段, 例如扦插, 嫁接和组培。由于古树的寿命已经很长了, 所以无性繁殖再生能力较低, 而且寿命相对较短。若是出于延续种质资源的目的, 可以采用古红果榆自花授粉的果实进行种子繁殖, 子代可以延续古红果榆的优良基因, 而且不受扦插苗寿命的限制, 可以保存更久, 或者用其实生苗扦插继代繁殖也是可行的。

参考文献

- [1] 刘济祥, 万承永, 卢高杨, 等. 珍贵树种红果榆的繁育技术[J]. 现代园艺, 2018, 367(19): 88-89.
- [2] Corchete MP, Diez JJ, Valle T. Micropropagation of *Ulmus pumila* L. from mature trees[J]. Plant Cell Rep. 1993, 12(9): 534-536.
- [3] Thakur R. C, Karnosky DF. Micropropagation and germplasm conservation of Central Park Splendor Chinese elm (*Ulmus parvifolia* Jacq. 'A/Ross Central Park') trees[J]. Plant Cell Rep. 2007; 26(8): 1171-1177.
- [4] 崔梦凡, 黄琳曦, 裴文慧, 等. 红果榆实生苗培育技术与应用[J]. 林业科技通讯, 2019(06): 62-64.
- [5] Brown J L. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses [J]. Methods in Ecology and Evolution. 2014, 5(7): 694-700.
- [6] Brown J L, Bennett J R, French C M. SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. The open access journal for life and environment [J]. 2017, Peer J 5: e4095.
- [7] Phillips S J, Anderson R P, Dudik M. Opening the black box: an open-source release of Maxent[J]. Ecography, 2017, 40(7): 887-893.
- [8] 王茹琳, 李庆, 封传红, 等. 基于 MaxEnt 的西藏飞蝗在中国的适生区预测[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8556-8566.
- [9] 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(04): 365-372.
- [10] 王璐, 许晓岗, 李焱. 末次盛冰期以来陀螺果潜在地理分布格局变迁预测[J]. 生态学杂志, 2018, 37(01): 278-286.
- [11] 郭晓旭, 王璐, 许晓岗, 等. 基于 MaxEnt 模型的芬芳安息香潜在适生区预测[J]. 生态科学, 2020, 39(04): 119-124.
- [12] 韩淑敏, 闫伟, 杨雪栋, 等. 白榆在我国的潜在分布格局及未来变化[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022: 1-9.
- [13] 李玲玲, 王茜, 肖钰, 等. 植物交配系统与分子进化理论及其应用研究[J]. 中国科学: 生命科学, 2023, 53(01): 50-63.
- [14] 祁承经. 园林树木学[M]. 重庆大学出版社: 2013, Pp: 637. 28
- [15] 赵瑞, 沈永宝. 林木扦插繁殖研究进展[J]. 种子, 2019, 38(09): 57-66.
- [16] 王俊杰. 扦插育苗的理论基础与分析[J]. 甘肃林业科技, 2017, 42(03): 1-9+42.