

红花玉兰潜在引种气候适生区研究

施晓灯¹, 马履一¹, 段 劼², 桑子阳³, 朱仲龙³, 姚 娜¹, 周明明¹, 贾忠奎¹

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083; 3. 五峰博翎红花玉兰科技发展有限公司, 湖北 宜昌 443400)

摘要: 红花玉兰 *Magnolia wufengensis* 是近年在湖北五峰发现的木兰科 Magnoliaceae 木兰属 *Magnolia* 植物新种, 其树形高大, 花被片内外纯红, 具有极高的观赏价值, 可作为城市绿化树种和山地景观树种。为科学合理开展红花玉兰引种, 避免盲目和失败, 需要对红花玉兰在中国的可能引种区域进行划分。根据植物引种气候相似性原理, 选取年平均气温、最热月平均气温、最冷月平均气温、年极端最高气温、年极端最低气温、年平均降水量、年平均风速、年平均相对湿度、年日照时数等 9 个气候因子, 采用模糊数学中的欧氏距离模糊相似优先比法, 并结合层次分析法对红花玉兰进行气候适生区划分, 确定了红花玉兰引种的适宜区、次适宜区和不适宜区。红花玉兰引种适宜区包括黄淮平原、长江中下游平原、江南丘陵、浙闽丘陵、四川盆地东南部、云贵高原东北部和两广丘陵北部地区。该区受亚热带季风影响, 雨热同期, 容易形成内涝和病虫害, 因此, 引种红花玉兰在夏季要及时做好圃地清理、病虫害防治及排水工作; 红花玉兰引种次适宜区包括四川盆地西北部、云贵高原西南部、两广丘陵南部、雷州半岛、海南岛和台湾岛、晋冀鲁山地丘陵地带、华北平原、辽东半岛、黄土高原中部及青藏高原东南部地区。该区部分地区持续低温时间较长且极端气温较低, 栽植苗龄为 3~4 年生及以下的红花玉兰易受冻害, 应进行越冬防寒; 红花玉兰引种不适宜区为东北平原、黄土高原西北部、青藏高原西北部、新疆、内蒙古等地。表 10 参 33

关键词: 植物学; 红花玉兰; 引种; 适生区; 模糊相似优先比

中图分类号: S722.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2018)04-0705-11

Potential climatically adaptive regions for the introduction of *Magnolia wufengensis*

SHI Xiaodeng¹, MA Lüyi¹, DUAN Jie², SANG Ziyang³, ZHU Zhonglong³, YAO Na¹,
ZHOU Mingming¹, JIA Zhongkui¹

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. National Energy R&D Center for Non-Food Biomass, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Wufeng Magnolia Technology Development Co. Ltd., Yichang 443400, Hubei, China)

Abstract: *Magnolia wufengensis* is a new species in Yulania subgenus, found in Wufeng County, Hubei Province a few years ago, with a tall form and totally red flowers. The species has a high aesthetic value, could be planted as an ornamental tree for horticulture and city landscapes. To introduce *M. wufengensis* scientifically and successfully, suitable regions in China must be found. Using the principle of Climatic Similarity for introducing plants to a region, nine climatic factors (mean annual temperature, mean temperature of the hottest month, mean temperature of the coldest month, extreme maximum temperature, extreme minimum temperature, mean annual precipitation, mean annual wind speed, mean relative humidity, and duration of sunshine), and accordance to the principles of comprehensiveness, detailedness and representativeness, 196 meteorological observation stations in 32 provinces (cities and autonomous regions) of China were selected to study. The meth-

收稿日期: 2017-08-27; 修回日期: 2017-10-17

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201504704)

作者简介: 施晓灯, 从事林木种苗培育理论与技术研究。E-mail: sxd2015@bjfu.edu.cn。通信作者: 贾忠奎, 副教授, 博士, 从事林木种苗培育理论与技术研究。E-mail: jiazk@bjfu.edu.cn

ods of fuzzy mathematics in the Euclidean distance of a fuzzy similarity priority ratio together with the Analytic Hierarchy Process (AHP) were adopted to determine potential climatically adaptive regions for introduction of *M. wufengensis*. Results showed suitable regions as the Huanghuai Plain, the middle and lower reaches of the Yangtze River Plain, the Jiangnan Hills, Zhejiang and Fujian Hills, the southeastern Sichuan Basin, the north-east of the Yunnan-Guizhou Plateau, and the northern part of the Guangdong and Guangxi Hills. Sub-suitable regions included the northwestern Sichuan Basin, the southwest of the Yunnan-Guizhou Plateau, the southern part of the Guangdong and Guangxi Hills, the Leizhou Peninsula, Hainan Island, Taiwan Island, the southeast of the Tibetan Plateau, the Shanxi-Hebei-Shandong mountainous hilly regions, the North China Plain, the Liaodong Peninsula, the middle of the Loess Plateau, and the southeastern part of the Tibetan Plateau. Unsuitable regions included the Northeast China Plain, the northwest of the Loess Plateau, the northwest of the Tibetan Plateau, Xinjiang, and Inner Mongolia. The above results provide a theoretical basis for the introduction and promotion of *M. wufengensis* in China. It is suggested that introduction should be made in the suitable and sub-suitable areas with a high success rate. [Ch, 10 tab. 33 ref.]

Key words: botany; *Magnolia wufengensis*; introduction; adaptive region; fuzzy similitude priority ratio

木兰科 Magnoliaceae 植物在全世界有近 11 属 246 种, 主要分布于亚洲东南部温带及热带、美洲中部等地^[1-2], 木兰属 *Magnolia* 是木兰科中最大的属, 中国是世界上木兰属植物最多的国家, 被誉为“木兰王国”。从中国西南部省区到东南部省区均有木兰属树种分布^[3-4]。红花玉兰 *Magnolia wufengensis* 及其变种多瓣红花玉兰 *Magnolia wufengensis* var. *multitepala* 是在湖北五峰发现的木兰科木兰属玉兰亚属 *Yulania* Subgenus 新种^[5-6]。其树形高大, 冠型优美, 花被片数目、颜色、形状以及花型等存在丰富的变异。花被片数 9~46, 花色从深红到粉红具有 7 个色系^[7], 花被片形状有卵形、倒卵形、狭倒卵形和长披针形等, 花型有荷花型、月季型、菊花型和牡丹型等^[7]。红花玉兰可作为城市绿化和山地景观造林树种, 具有极高的观赏价值和巨大的开发利用潜力^[8]。模糊数学是研究和揭示模糊现象的定量处理方法, 广泛应用于模糊聚类分析、模糊模式识别、模糊综合评判、模糊线性规划等方面, 在决策、土木、农业、林业、气象、风险评估等领域^[9-15]已有相关研究成果。模糊相似优先比法是模糊数学中的重要内容, 它是以成对的样品与一个固定样品同时作比较, 以确定哪一个样品与固定样品最相似, 在所有树木引种区划的数学方法中是较为合理的且应用较多的方法^[16-17]。根据定义优先比的方法不同分为海明距离模糊相似优先比法和相对欧氏距离模糊相似优先比法^[16]等。陆鼎煌等^[18]曾采用海明距离(绝对值距离)模糊相似优先比法分析了油橄榄 *Olea europaea* 在中国的引种区划, 区划结果与油橄榄实际调查引种现状几乎吻合。但袁嘉祖等^[16]同时在 2 个生态环境相似性分析中指出海明距离模糊相似优先比法的不足之处在于分析的数据太多, 计算繁琐。而相对欧氏距离模糊相似优先比法计算起来相对简便, 结果与前者基本一致, 如果再考虑各个因素的权重, 划分出的相似性结果会更可靠^[19]。有祥亮等^[20]利用相对欧氏距离模糊相似优先比法对中国引种栓皮槭 *Acer campestre* 进行了生态适生区划分, 并分别提出了相应的栽培措施。同时还有日本甜柿 *Diospyros kaki*^[21], 美国黄松 *Pinus ponderosa*^[22], 梭梭 *Haloxylon ammodendron*^[23]等均采用此方法取得了较好的适生区划分结果。为保证红花玉兰能够成功引种到原生地以外区域, 本研究通过应用模糊数学原理^[9], 采用相对欧氏距离模糊相似优先比法分析和划分红花玉兰引种气候适生区, 为相应植物引种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 气候因子选择

查阅影响植物生长发育的主要气候因子^[24-27], 并依据红花玉兰生长特性对气候的需求^[28], 选取年平均气温 $T_1(^{\circ}\text{C})$, 最热月平均气温 $T_2(^{\circ}\text{C})$, 最冷月平均气温 $T_3(^{\circ}\text{C})$, 极端最高气温 $T_4(^{\circ}\text{C})$, 极端最低气温 $T_5(^{\circ}\text{C})$, 年平均降水量 $T_6(\text{mm})$, 年平均风速 $T_7(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$, 年平均相对湿度 $T_8(\%)$, 年日照时数 $T_9(\text{h})$ 等 9 个气候因子作为模糊相似优先比分析的因素。

1.2 资料收集与整理

按照全面、详细、有代表性的原则，选取全国 32 个省(市、自治区)196 个气象观测站点进行模糊相似优先比排序分析。红花玉兰是多年生树种，生长发育受到长期气候影响，因此，选择的各个气象观测站点的资料为 1981–2010 年 30 a 的平均值(表 1)。固定样地的气象数据采用红花玉兰原生地湖北省五峰土家族自治县 1981–2010 年相关气象数据均值。气象数据大部分来自中国气象局气象数据中心(<http://data.cma.cn/site/index.html>)，个别站点数据来源于各省(市、自治区)气象网站。

表 1 全国 196 个台站的 1981–2010 年主要气候要素值

Table 1 Values of the main climatic elements of 196 stations of China (the average value from 1981 to 2010)									
地点	年平均气温/℃	最热月平均气温/℃	最冷月平均气温/℃	极端最高气温/℃	极端最低气温/℃	年平均降水量/mm	年平均风速/(m·s ⁻¹)	平均相对湿度/%	年日照时数/h
1 北京	12.9	26.7	-3.1	41.9	-17.0	532.1	2.3	54	2 561.5
2 天津	12.9	26.8	-3.4	40.5	-18.1	511.5	2.3	61	2 375.8
3 河北石家庄	13.2	27.0	-2.8	41.9	-23.4	464.7	1.9	64	2 271.7
4 河北怀来	10.0	27.0	-7.0	41.7	-23.0	367.9	2.7	50	2 940.5
5 河北承德	8.9	24.2	-9.3	43.3	-27.0	503.5	1.1	57	2 611.9
6 河北乐亭	11.1	25.2	-5.1	38.7	-22.2	573.5	2.6	65	2 527.8
7 河北沧州	13.3	27.1	-2.9	42.0	-22.1	541.0	2.7	60	2 568.8
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
191 新疆和田	13.0	25.8	-3.9	41.1	-21.0	44.1	1.8	42	2 663.2
192 新疆伊吾	4.2	18.8	-11.8	33.2	-30.7	104.1	3.4	44	3 255.4
193 新疆哈密	10.3	26.8	-9.8	43.2	-28.9	43.6	1.5	45	3 318.2
194 香港	25.6	29.8	16.3	36.3	0.0	2 398.5	3.1	78	1 842.9
195 台湾台北	23.0	29.6	16.1	34.3	13.9	2 405.1	2.7	77	1 405.2
196 台湾高雄	25.1	29.2	19.3	32.4	15.7	1 884.9	2.4	76	2 212.2
0 湖北五峰	13.9	24.2	2.8	39.2	-9.6	1 354.4	1.2	77	1 348.2

1.3 数据处理与分析方法

试验采用相对欧氏距离模糊相似优先比法，用 Excel 2007 和 SPSS 22.0 软件对各地气候数据进行分析，再依据分析的结果，划分红花玉兰引种气候适生区。

$x=\{x_1, x_2, \cdots, x_n, x_0\}$, $n=1, 2, \cdots, 196$; $T=\{T_1, T_2, \cdots, T_m\}$, $m=1, 2, \cdots, 9$; $x_i=\{x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{im}\}$, $i=1, 2, \cdots, n$; $x_j=\{x_{j1}, x_{j2}, \cdots, x_{jm}\}$, $j=1, 2, \cdots, n$ 。其中： $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 表示全国 196 个气象观测站样本； $T_1, T_2, \cdots, T_m$ 为 9 个气候因子； x_i, x_j 为其中任意 2 个样本； x_0 表示湖北五峰气象观测站，即固定样本。

先对中国气象局气象数据中心下载的数据进行标准化处理，去除量纲对数据的影响，采用极差正规化方法。公式如下：

$$x'_{im}=(x_{im}-x_{imin})/(x_{imax}-x_{imin}), (i=1, 2, \cdots, n; m=1, 2, \cdots, 9)。$$
 (1)

式(1)中： x_{imax}, x_{imin} 分别是第 m 个因子中的极大值和极小值， $x'_{im} \in [0, 1]$ 。

根据层次分析法^[29]对因子之间相对重要性标度(表 2)进行打分，然后用求平均及四舍五入的方法构造判断矩阵(表 3)，求出各因素的权重值 W_s 。用归一后的各气候因子值 x'_{im} 数据与相对应的权重 W_s 相乘，得到 x''_{im} 。即： $x''_{im}=x'_{im} \times W_s$ 。

用相对欧氏距离计算被选样品 x_i 与固定样品 x_0 之间的差距(D_{i0})。

表 2 相对重要性标度

Table 2 Means of relative importance scale	
标度	含义
1	表示 2 个元素相比，具有同样重要性
3	表示 2 个元素相比，前者比后者稍重要
5	表示 2 个元素相比，前者比后者明显重要
7	表示 2 个元素相比，前者比后者强烈重要
9	表示 2 个元素相比，前者比后者极端重要

说明：2, 4, 6, 8 表示上述相邻标度的中间值

$$D_{i0}=\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{m=1}^m (x''_{im}-x''_{om})^2}。$$

表 3 红花玉兰气候因子判断矩阵

Table 3 Estimation matrix of climatic elements of *Magnolia wufengensis*

气候因子	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
T_1	1	2	1/3	2	2	1/2	2	3	2
T_2	1/2	1	1/4	1	1/3	1/4	1	2	3
T_3	3	4	1	4	2	1	4	5	5
T_4	1/2	1	1/4	1	1/3	1/4	1	2	1/2
T_5	2	3	1/2	3	1	1	4	4	4
T_6	3	4	1	4	1	1	4	4	2
T_7	1/2	1	1/4	1	1/4	1/4	1	2	1/2
T_8	1/3	1/2	1/5	1/2	1/4	1/4	1/2	1	1/3
T_9	1/2	1/3	1/5	2	1/4	1/2	2	3	1

说明：分数表示表 2 标度的倒数，若元素 i 与 j 的重要性之比为 x_{ij} ，那么 j 元素与 i 元素重要性之比为 $1/x_{ij}$

计算相似优先比(r_{ij}):

$$r_{ij}=\frac{D_{j0}}{D_{i0}-D_{j0}}(i\neq j)。(2)$$

式(2)中： $r_{ji}=1-r_{ij}$ ，当 $i=j$ 时， $r_{ij}=1$ 。另外，令 $r_{ij}=r_{ji}=1$ ，其中， i, j 为备选样品， k 为固定样品。

取 λ 水平截集，计算出全国 196 个站点与固定样本的相似顺序。即从表 3 矩阵中的元素，求出每行的最小值组成一列，将此列中的最大值所在的行所对应的样本记为 1，即该样本与固定样本最相似，然后删除该行及相对应的列，重复上述过程，再依次求取相似样品，序号为 2, 3, 4, …, 196 等。

2 结果与分析

2.1 确定气候因子权重

依据表 3 可得出各个气候因子权重值(表 4)，并对表 3 进行一致性检验得出其最大特征根 $\lambda_{\max}=9.729\ 4$ ，一致性指标 $I_c=0.091\ 18$ ，平均随机一致性指标 $I_R=1.46$ ，随机一致性比率 $R_c=0.062\ 45<0.1$ ，表明该矩阵具有令人满意的一致性，得出的权重值不需要调整。

表 4 各个气候因子权重值

Table 4 Weights of each climatic factors

T	W_s	T	W_s	T	W_s
T_1	0.119 0	T_4	0.052 7	T_7	0.051 0
T_2	0.064 3	T_5	0.177 2	T_8	0.033 4
T_3	0.242 2	T_6	0.197 6	T_9	0.062 7

2.2 建立模糊相似优先比矩阵

通过式(3)求得模糊相似优先比矩阵 $R, R=[r_{ij}]_{n \times n}$ (表 5)。其中：元素 $r(x_i, x_j)$ 表示 x_i, x_j 与固定样地 x_0 比较时， x_i 比 x_j 或者 x_j 比 x_i 的优越程度，若 $r_{ij} \in [0.5, 1.0]$ ，则表示 x_i 比 x_j 优先；若 $r_{ij} \in [0, 0.5]$ ，则表示 x_j 比 x_i 优先。

2.3 划分适宜区

根据表 5 红花玉兰模糊相似优先比矩阵采用 λ 水平截集的计算结果，将各台站按序号值从小到大进行排列(表 6)，表中序号值的大小基本反映了全国 196 个气象观测站综合气候生态条件与红花玉兰原产地五峰相似程度的大小：序号越小，表示相似程度越高；序号越大，表示相似程度越低。根据引种的气候相似性原理，将中国引种的红花玉兰的气候适生区大致划分如表 6 所示，详细气候因子划分范围见表 7。

2.3.1 适宜区 该区序号值最靠前，且相对欧氏距离值均小于等于 0.02，与红花玉兰原产地五峰气候条件最相似(表 8)，主要包括：①华东、华中地区：从地域上看，该区包含地点分别属于黄淮平原、长江中下游平原、江南丘陵、浙闽丘陵西北部。该区主要以亚热带温湿季风气候为主，地处湿润区，与原产地湖北五峰有非常相似的水热条件，四季分明，降水丰富，冬季气温较温和，夏季气温偏高，雨热同期，降水量多集中在夏季，容易形成高温高湿的环境，造成圃地内涝，发生病虫害，其中红花玉兰主要

表 5 红花玉兰模糊相似优先比矩阵

Table 5 Fuzzy similitude priority ratio matrix of <i>Magnolia wufengensis</i>													
站点	1	2	3	4	5	6	...	191	192	193	194	195	196
1	1.00	0.50	0.52	0.57	0.57	0.51	...	0.59	0.65	0.63	0.59	0.61	0.60
2	0.50	1.00	0.52	0.57	0.57	0.51	...	0.59	0.65	0.63	0.59	0.61	0.60
3	0.48	0.48	1.00	0.55	0.55	0.50	...	0.58	0.63	0.62	0.58	0.59	0.59
4	0.43	0.43	0.45	1.00	0.50	0.44	...	0.52	0.58	0.57	0.52	0.54	0.53
5	0.43	0.43	0.45	0.50	1.00	0.45	...	0.53	0.58	0.57	0.53	0.54	0.53
6	0.49	0.49	0.50	0.56	0.55	1.00	...	0.58	0.63	0.62	0.58	0.60	0.59
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
191	0.41	0.41	0.42	0.48	0.47	0.42	...	1.00	0.56	0.54	0.50	0.52	0.51
192	0.35	0.35	0.37	0.42	0.42	0.37	...	0.44	1.00	0.49	0.44	0.46	0.45
193	0.37	0.37	0.38	0.43	0.43	0.38	...	0.46	0.51	1.00	0.46	0.48	0.47
194	0.41	0.41	0.42	0.48	0.47	0.42	...	0.50	0.56	0.54	1.00	0.52	0.51
195	0.39	0.39	0.41	0.46	0.46	0.40	...	0.48	0.54	0.52	0.48	1.00	0.49
196	0.40	0.40	0.41	0.47	0.47	0.41	...	0.49	0.55	0.53	0.49	0.51	1.00

表 6 各站点引种红花玉兰适应性排序

Table 6 Order of stations of China according to the suitability of ordinal numbers									
适宜区			次适宜区			不适宜区			
站名	欧氏距离	序号	站名	欧氏距离	序号	站名	欧氏距离	序号	
138 四川万源	0.004	1	120 广西梧州	0.021	63	161 甘肃合作	0.041	123	
129 重庆酉阳	0.006	2	131 四川马尔康	0.022	64	191 新疆和田	0.042	124	
74 安徽霍山	0.006	3	121 广西南宁	0.022	65	34 辽宁朝阳	0.042	125	
100 湖北恩施	0.008	4	79 福建龙岩	0.022	66	25 内蒙古呼和浩特	0.042	126	
103 湖南常德	0.008	5	150 云南思茅	0.023	67	188 新疆喀什	0.042	127	
105 湖南芷江	0.008	6	95 河南郑州	0.023	68	151 西藏拉萨	0.042	128	
67 浙江杭州	0.008	7	89 山东济南	0.023	69	175 宁夏银川	0.042	129	
102 湖北武汉	0.008	8	80 福建厦门	0.023	70	9 山西大同	0.042	130	
104 湖南长沙	0.009	9	154 陕西西安	0.023	71	31 内蒙古赤峰	0.042	131	
75 安徽宁国	0.009	10	149 云南澜沧	0.023	72	159 甘肃皋兰	0.042	132	
142 贵州兴仁	0.009	11	92 山东兖州	0.024	73	176 宁夏盐池	0.042	133	
101 湖北宜昌	0.009	12	91 山东菏泽	0.024	74	44 吉林临江	0.043	134	
70 浙江义乌	0.009	13	94 河南新乡	0.025	75	190 新疆莎车	0.043	135	
107 湖南岳阳	0.010	14	93 河南安阳	0.025	76	41 吉林四平	0.043	136	
66 江苏溧阳	0.010	15	118 广西百色	0.025	77	43 吉林延吉	0.043	137	
141 贵州贵阳	0.010	16	119 广西龙州	0.025	78	186 新疆阿克苏	0.043	138	
98 河南信阳	0.010	17	162 甘肃武都	0.025	79	24 内蒙古包头市	0.044	139	
68 浙江定海	0.011	18	13 山西运城	0.026	80	187 新疆库尔勒	0.044	140	
61 江苏南京	0.011	19	163 甘肃天水	0.026	81	32 辽宁彰武	0.045	141	
108 湖南郴州	0.011	20	164 甘肃麦积	0.027	82	26 内蒙古鄂托克旗	0.045	142	
59 上海宝山	0.011	21	112 广东汕头	0.027	83	179 新疆塔城	0.045	143	
106 湖南永州	0.011	22	132 四川松潘	0.027	84	185 新疆吐鲁番	0.045	144	
140 贵州遵义	0.011	23	110 广东广州	0.027	85	183 新疆乌鲁木齐	0.045	145	
85 江西南昌	0.012	24	90 山东潍坊	0.028	86	42 吉林长春	0.046	146	
62 江苏东台	0.012	25	111 广东河源	0.028	87	189 新疆铁干里克	0.046	147	
82 江西吉安	0.013	26	88 山东成山头	0.028	88	157 甘肃民勤	0.047	148	
69 浙江衢州	0.013	27	38 辽宁丹东	0.028	89	167 青海都兰	0.047	149	
76 安徽合肥	0.013	28	143 云南德钦	0.028	90	28 内蒙古林西县	0.048	150	
127 重庆万州	0.014	29	87 山东惠民	0.029	91	23 内蒙古杭锦后旗	0.048	151	

表6 (续)

Table 6 Continued

适宜区			次适宜区			不适宜区		
站名	欧氏距离	序号	站名	欧氏距离	序号	站名	欧氏距离	序号
73 安徽蚌埠	0.014	30	1 北京	0.029	92	156 甘肃酒泉	0.048	152
139 贵州毕节	0.014	31	2 天津	0.029	93	33 辽宁建平镇	0.048	153
96 河南驻马店	0.014	32	8 河北泊头	0.029	94	56 黑龙江鸡西	0.048	154
155 陕西汉中	0.014	33	7 河北沧州	0.030	95	58 黑龙江绥芬河	0.048	155
83 江西赣州	0.014	34	39 辽宁大连	0.030	96	29 内蒙古通辽	0.048	156
81 福建建阳	0.015	35	6 河北乐亭	0.030	97	57 黑龙江牡丹江	0.048	157
137 四川会理	0.015	36	3 河北石家庄	0.031	98	174 青海达日	0.049	158
86 江西南城	0.015	37	113 广东汕尾	0.031	99	166 青海格尔木	0.049	159
84 江西景德镇	0.015	38	12 山西介休	0.032	100	158 甘肃乌鞘岭	0.049	160
99 湖北老河口	0.016	39	153 陕西延川	0.033	101	193 新疆哈密	0.049	161
145 云南腾冲	0.016	40	130 四川甘孜	0.033	102	16 内蒙古扎兰屯	0.050	162
126 重庆沙坪坝	0.016	41	11 山西太原	0.033	103	180 新疆和布克赛尔	0.051	163
64 江苏沐阳	0.016	42	196 台湾高雄	0.034	104	53 黑龙江哈尔滨	0.051	164
135 四川宜宾	0.016	43	122 广西钦州	0.034	105	184 新疆达坂城	0.051	165
60 江苏赣榆	0.017	44	123 海南海口	0.035	106	21 内蒙古四子王	0.051	166
63 江苏徐州	0.018	45	37 辽宁营口	0.036	107	22 内蒙古化德	0.051	167
128 重庆綦江	0.018	46	10 山西原平	0.036	108	169 青海同德	0.052	168
146 云南大理	0.018	47	114 广东阳江	0.037	109	40 吉林前郭	0.052	169
147 云南昆明	0.018	48	133 四川理塘	0.037	110	182 新疆精河	0.052	170
97 河南南阳	0.018	49	5 河北承德	0.038	111	192 新疆伊吾	0.052	171
109 广东韶关	0.018	50	168 青海西宁	0.038	112	171 青海曲麻莱	0.053	172
144 云南丽江	0.018	51	160 甘肃会宁	0.038	113	181 新疆克拉玛依	0.053	173
77 福建武夷山	0.019	52	4 河北怀来	0.038	114	49 黑龙江齐齐哈尔	0.054	174
71 浙江温州	0.019	53	36 辽宁本溪	0.039	115	51 黑龙江富锦	0.054	175
65 江苏泗洪	0.019	54	35 辽宁沈阳	0.039	116	52 黑龙江安达	0.054	176
72 安徽亳州	0.019	55	125 海南琼海	0.039	117	30 内蒙古多伦县	0.055	177
136 四川西昌	0.019	56	172 青海玉树	0.039	118	55 黑龙江尚志	0.055	178
117 广西柳州	0.019	57	124 海南东方	0.040	119	165 青海冷湖	0.056	179
134 四川九龙	0.019	58	194 香港	0.040	120	177 新疆阿勒泰	0.056	180
78 福建福州	0.019	59	195 台湾台北	0.040	121	54 黑龙江通河	0.057	181
116 广西河池	0.020	60	152 陕西榆林	0.040	122	50 黑龙江海伦	0.057	182
115 广西桂林	0.020	61				27 内蒙古锡林浩特	0.058	183
148 云南临沧	0.020	62				19 内蒙古二连浩特	0.059	184
						48 黑龙江克山	0.059	185
						173 青海玛多	0.060	186
						178 新疆富蕴	0.060	187
						18 内蒙古东乌珠穆沁	0.061	188
						47 黑龙江孙吴	0.061	189
						20 内蒙古阿巴嘎旗	0.062	190
						46 黑龙江嫩江	0.063	191
						170 青海沱沱河	0.064	192
						45 黑龙江呼玛	0.065	193
						15 内蒙古海拉尔	0.066	194
						17 内蒙古阿尔山	0.067	195
						14 内蒙古图里河	0.074	196

表 7 各类适生区气候因子对比

Table 7 Comparison of climate factor types for each suitability county (city)

	区域	T_1 / $^{\circ}\text{C}$	T_2 / $^{\circ}\text{C}$	T_3 / $^{\circ}\text{C}$	T_4 / $^{\circ}\text{C}$	T_5 / $^{\circ}\text{C}$
适宜区	华东、华中	13.9~20.2	23.6~29.8	0.0~11.2	35.1~42.0	-20.7~-1.7
	华南、西南	9.0~21.0	15.3~26.1	1.6~11.7	31.0~44.5	-15.6~0.2
次适宜区	华南、西南	3.7~25.0	11.0~29.5	-4.9~19.3	25.9~42.2	-30.6~6.4
	华东、华北、东北	8.9~14.8	23.6~27.5	-9.3~0.5	32.0~43.3	-27.0~-11.7
不适宜区	西北	3.8~14.9	13.3~27.1	-11.4~3.7	29.6~42.9	-34.5~-8.6
	东北	-0.4~9.5	19.3~25.0	-24.7~9.2	35.3~43.3	-44.4~-28.0
	西北	-4.0~15.1	8.0~32.5	-28.4~3.9	24.3~47.8	-49.6~-21.0
	区域	T_6 /mm	T_7 /(m·s ⁻¹)	T_8 /%	T_9 /h	
适宜区	华东、华中	793.3~1 888.1	0.8~3.3	69~82	1 049.3~2 367.2	
	华南、西南	866.1~1 887.8	0.6~3.2	61~81	938.5~2 413.0	
次适宜区	华南、西南	640.0~2 221.0	0.9~4.3	57~84	1 505.6~2 995.7	
	华东、华北、东北	367.9~693.5	1.1~6.0	50~74	2 010.3~2 940.5	
	西北	370.3~961.5	1.1~4.2	53~69	1 594.9~2 679.8	
不适宜区	东北	369.3~810.3	1.1~3.8	51~73	2 170.1~2 830.5	
	西北	15.3~557.9	0.9~5.8	30~73	2 386.1~3 341.2	

病害是叶片表面盖满煤污状黑霉的煤污病和从根茎部开始腐烂的根腐病，主要虫害是刺吸性害虫，如红蜘蛛 *Tetranychus cinnabarinus*，斑潜蝇 *Liriomyza*，粉蚧 *Pseudococcus* 等。因此在引种栽植红花玉兰时应选择适宜的立地条件，若在低洼地段应做高床，夏季及时做好圃地清理及排水工作。发生煤污病需喷质量分数为 0.3%~0.5%波尔多液进行防治，根腐病可采用 500 倍多菌灵喷洒，连续打药 2~3 次，基本上可控制病情发展，刺吸类害虫用氧化乐果 500~1 000 倍液喷雾。②华南、西南地区：从地域上看，该区包含地点分别属于四川盆地东南部、云贵高原东北部、浙闽丘陵东南部和两广丘陵北部。主要以亚热带季风气候为主，地处湿润区，气候温和，湿度较大，例如四川万源，云南昆明、大理等地四季如春，但是需要注意一些地区降雨季节分配不均，夏秋季引种容易遭受较长期的干旱，红花玉兰较难成活，因此这些地区引种栽植红花玉兰时，遇到较大旱情需要及时增加灌溉等抗旱措施。

表 8 红花玉兰引种适宜区

Table 8 Suitable area for the introduction of *Magnolia wufengensis*

区域	华东、华中地区	华南、西南地区
地点	上海，浙江，江西，江苏，福建(龙岩和厦门除外)，安徽霍山、宁国、合肥、蚌埠、亳州，湖北，湖南，河南信阳、驻马店、南阳，陕西汉中	广东韶关，广西柳州、河池、桂林，四川万源、会理、宜宾、西昌、九龙，重庆，云南腾冲、大理、昆明、丽江、临沧，贵州兴仁、贵阳、遵义、毕节

2.3.2 次适宜区 该区序号值排在适宜区之后，且欧氏距离为 0.02~0.04，主要是适宜区向四周扩散的区域，综合气候条件与红花玉兰原产地五峰有一定差异(表 9)。主要包括：①华南地区、西南区。从地域上看，该区包含地点分别属于四川盆地西北部、云贵高原西南部，两广丘陵以南，雷州半岛，海南岛和台湾岛。该区以亚热带季风气候为主，部分高海拔地区为山地气候，地跨湿润区、半湿润区。与适宜区相比，西南山区海拔较高，气候变化幅度较大，引种红花玉兰需要栽植在海拔较低的区域，同时在个别干热河谷，区域内光热资源丰富，气候炎热少雨，水土流失严重，生态十分脆弱，寒、旱、风、虫、草、火等自然灾害特别突出，需要注意这些地区不适宜引种红花玉兰。华南地区夏季相对适宜区更加高温高湿，太阳辐射更强，雨热同期时间更长，台风、洪涝灾害频发。这些地区引种红花玉兰需要注意地形地势的选择，远离洪涝频发区域，发生病虫害应及时进行治理，以防蔓延，出现内涝及时疏通清理，减少引种红花玉兰的死亡。②华东、华北、东北地区。从地域上看，该区包含地点分别属于晋冀鲁山地丘陵地带，华北平原以及辽东半岛，以暖温带大陆性季风气候为主，地处半湿润区。该区光照充足，冬季寒冷干燥，风速较大，夏季高温炎热，年平均降水量偏少，最冷月均温较低，苗龄低于 3~4 a 的红花玉兰无法自然越冬，因此，在引种此类苗龄红花玉兰时冬季需要采取适当的防寒措施，保护红花玉兰安

全越冬。目前,园林绿化方面应用比较成熟的防寒措施有搭建防风障和使用保温棉进行树木包裹并覆土。夏季高日照会引起红花玉兰叶片日灼等伤害,需要搭建遮阳网,同时注意高温干旱会引起红花玉兰苗木生长不适等状况,需及时进行人工灌溉。③西北地区。从地域上看,该区包含地点分别属于黄土高原中部,青藏高原东南部地区。该区以温带季风性气候为主,地处半湿润区,水、热条件基本能满足红花玉兰生长需求,但是最冷月均温较低,3~4年生红花玉兰无法自然越冬,需要对红花玉兰进行越冬保护,如搭建防风障,使用保温棉进行苗木包裹并覆土等,还要做好灌溉设施配套和管理,充分利用好水资源,常年对红花玉兰进行人工灌溉。同时在引进红花玉兰不同品种时,尽量挑选抗旱、抗寒性强的品种。

表9 红花玉兰引种次适宜区

Table 9 Sub-suitable area for the introduction of *Magnolia wufengensis*

区域	华东、华北区	华南、西南区	西北区
地点	北京,天津,山东,河北,山西运城、介休、太原、原平,河南郑州、新乡、安阳,辽宁丹东、大连、营口、本溪、沈阳	海南,香港,福建龙岩、厦门,台湾,广东(韶关除外),广西梧州、南宁、百色、龙州、钦州,云南思茅、澜沧、德钦,四川甘孜、松藩、理塘	陕西西安、延川,甘肃武都、天水、麦积、会宁,青海西宁、玉树

2.3.3 不适宜区 该区序号排在最后,且相对欧氏距离大于0.04,综合气候条件与红花玉兰原产地五峰具有较大差异(表10)。主要包括:①东北地区。该区从地域上看属于东北平原,主要以温带季风性气候为主,地跨湿润区、半湿润区。该区光照充足,但是最冷月均温远低于红花玉兰原产地五峰,冬春低温干旱时间过长,不适宜红花玉兰生长。②西北地区。该区从地域上看属于黄土高原西北部,青藏高原西北部,新疆,内蒙古等地,主要以温带大陆性气候为主,地跨半干旱区和旱区。该区光照条件丰富,冬季寒冷干燥,夏季高温,但是水、热条件较差,最冷月均温远低于红花玉兰原产地,风、旱、雪、冻灾害频发,土地荒漠化严重,大部分是干旱地区,因此,在该区不适合引种红花玉兰。

表10 红花玉兰引种不适宜区

Table 10 Un-suitable area for the introduction of *Magnolia wufengensis*

区域	东北区	西北区
地点	辽宁朝阳、建平、彰武,吉林,黑龙江	甘肃合作、皋兰、民勤、酒泉,宁夏,内蒙古,新疆,青海(西宁、玉树除外),西藏

3 结论

红花玉兰在中国引种的适宜区包括黄淮平原、长江中下游平原、江南丘陵、浙闽丘陵、四川盆地东南部、云贵高原东北部和两广丘陵北部。该区受亚热带季风影响,夏季温度偏高,雨热同期,降水量多集中在夏季,容易形成圃地内涝和病虫害,因此该区引种红花玉兰在夏季要及时做好圃地清理、病虫害防治及排水工作。目前,生产上已经在上述引种适宜区中的安徽滁州,江苏常州、南京,上海,河南南阳,湖南娄底,广西柳州,贵州贵阳和云南昆明等地进行了小范围引种并且生长表现良好。建议这些地区可以扩大引种。

红花玉兰在中国引种的次适宜区包括四川盆地西北部、云贵高原西南部、两广丘陵以南、雷州半岛、海南岛和台湾岛、晋冀鲁山地丘陵地带、华北平原、辽东半岛、黄土高原中部及青藏高原东南部地区。该区南部台风、洪涝等自然灾害较多,引种红花玉兰需要注意地形地势的选择。北部地区持续低温时间较长且极端气温较低,栽植苗龄为3~4年生及以下的红花玉兰易受冻害,应进行越冬防寒,西北部还需常年进行灌溉。目前,生产上已经在上述引种次适宜区的辽宁丹东、甘肃天水、河北石家庄、天津蓟县、北京海淀、山东临沂等地也进行了小范围引种红花玉兰。在夏季这些地区容易干旱导致红花玉兰生长不良,所以应增加灌溉,在冬季发现这些地区红花玉兰若不采取保护措施会发生生理干旱导致枯梢,因此,冬季应对红花玉兰进行防寒。

红花玉兰在中国引种的不适宜区包括东北平原、黄土高原西北部、青藏高原西北部、新疆和内蒙古等地。目前,陕西西安进行了红花玉兰少量引种,但是此地属于红花玉兰引种不适宜区,若需种植必须采取保护地栽培。

4 讨论

湖北、湖南、河南、浙江、福建、江西、安徽、云南、贵州、四川等省为红花玉兰的引种适宜区。这些地区属于亚热带季风气候，水热条件较好，寒害冻害风险低，影响红花玉兰生长的极端气候因子较少，非常适合红花玉兰的生长。该区天然分布木兰属树种占到全国种的 93.9%^[30]，而且这些地区的木兰属树种与变异最为丰富^[31]，其中云南(10 属 69 种)、四川(5 属 24 种)、广西(7 属 36 种)、广东(5 属 27 种)等地是木兰属树种的现代分布中心^[32-33]，说明该区划结果可靠，可为红花玉兰的大范围引种提供科学依据。

红花玉兰的半致死温度为 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，但是在适宜区中的江苏沐阳、徐州、泗洪，安徽亳州，河南驻马店等地极端气温低于 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，如果单从极端最低气温角度考虑，这些地区是不适宜引种红花玉兰的。因此像这样的站点在引种红花玉兰时必须挑选适当的品种，充分考虑引种地小气候条件，针对限制因子采取相对应的栽培措施。

在植物潜在引种气候适生区区划研究中，指标体系的选择构建、指标权重确定对区划结果的可靠性有直接影响。在构建区划指标体系中，本研究综合考虑了红花玉兰生长过程中所有可能限制红花玉兰分布的气候因子，并在指标权重方面，考虑到各个因子对红花玉兰生长发育所起的作用(即权重)是不同的，因此，采用专家打分法和层次分析法相结合的方法确定权重，避免了以往单纯依赖专家主观打分带来的局限性，更加注重内在逻辑性，使权重确定更加具有科学合理性。本研究仅分析了植物引种气候相似性原理中的气候因素，但是引种红花玉兰能否成功是其遗传基因和环境共同作用的结果，此过程不仅受气候因子的影响，当地的地形、海拔、土壤条件以及其他非生物因素等都可能影响其成活和生长^[21]，例如胡建忠^[24]在植物引种栽培试验研究方法中所提到的风土驯化理论就考虑了不只气候——“风”这一个因素，还有“土”，即指土壤也影响着植物引种的成功。

5 参考文献

- [1] 刘玉壶. 木兰科分类系统的初步研究[J]. 植物分类学报, 1984, **22**(2): 89 – 109.
LAW Yuhwu. A preliminary study on the taxonomy of the family Magnoliaceae [J]. *Acta Phytotaxon Sin*, 1984, **22**(2): 89 – 109.
- [2] 张庆宝, 申亚梅, 范义荣. 木兰属(*Magnolia*)观赏植物育种现状及育种策略[J]. 江苏林业科技, 2008, **35**(6): 46 – 48, 52.
ZHANG Qingbao, SHEN Yamei, FAN Yirong. Current breeding situation and breeding strategy of ornamental plant breeding in *Magnolia* [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 2008, **35**(6): 46 – 48, 52.
- [3] 王亚玲, 李勇, 张寿洲, 等. 用 *matK* 序列分析探讨木兰属植物的系统发育关系 [J]. 植物分类学报, 2006, **44**(2): 135 – 147.
WANG Yaling, LI Yong, ZHANG Shouzhou, *et al.* The utility of *matK* gene in the phylogenetic analysis of the genus *Magnolia* [J]. *Acta Phytotaxon Sin*, 2006, **44**(2): 135 – 147.
- [4] 林祁, 段林东, 袁琼, 等. 单性木兰属(木兰科)植物的分类学订正[J]. 武汉植物研究, 2005, **23**(3): 236 – 238.
LIN Qi, DUAN Lindong, YUAN Qiong, *et al.* Taxonomic notes on the genus *Kmeria* (Pierre) Dandy (Magnoliaceae) [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2005, **23**(3): 236 – 238.
- [5] 马履一, 王罗荣, 贺随超, 等. 中国木兰科木兰属一新种[J]. 植物研究, 2006, **26**(1): 4 – 7.
MA Lüyi, WANG Luorong, HE Suichao, *et al.* A new species of *Magnolia* (Magnoliaceae) from Hubei, China [J]. *Bull Bot Res*, 2006, **26**(1): 4 – 7.
- [6] 马履一, 王罗荣, 贺随超, 等. 中国木兰科木兰属一新变种[J]. 植物研究, 2006, **26**(5): 516 – 519.
MA Lüyi, WANG Luorong, HE Suichao, *et al.* A new variety of *Magnolia* (Magnoliaceae) from Hubei, China [J]. *Bull Bot Res*, 2006, **26**(5): 516 – 519.
- [7] 梁大伟. 红花玉兰优树选择与类型划分[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
LINAG Dawei. *Select on Superior Tree Magnolia wufengensis and Cultivar Classification* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.

- [8] 桑子阳, 马履一, 陈发菊, 等. 五峰红花玉兰种质资源保护现状与开发利用对策[J]. 湖北农业科学, 2011, **50**(8): 1564 – 1567.
- SANG Ziyang, MA Lüyi, CHEN Faju, *et al.* Protection status and utilization countermeasure of germplasm resources of the *Magnolia wufengensis* in Wufeng County [J]. *Hubei Agric Sci*, 2011, **50**(8): 1564 – 1567.
- [9] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1983.
- [10] ZHANG Huimin. Group decision making based on incomplete multiplicative and fuzzy preference relations [J]. *Appl Soft Comput*, 2016, **48**: 735 – 744.
- [11] 李整, 文雨松, 罗艺, 等. 基于典型断面雨量-水位函数的中小桥水害预测[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2010, **41**(4): 1597 – 1603.
- LI Zheng, WEN Yusong, LUO Yi, *et al.* Flood forecast method for middle & small bridges based on rainfall-water level functions of representative riverbed sections [J]. *J Cent South Univ Sci Technol*, 2010, **41**(4): 1597 – 1603.
- [12] 李丽纯, 陈家金, 林晶, 等. 基于模糊相似优先比的闽台两地果树气候相似性分析[J]. 中国生态农业学报, 2013, **21**(9): 1149 – 1156.
- LI Lichun, CHEN Jiajin, LIN Jing, *et al.* Using fuzzy similarity priority ratio to analyse climate similarity between Fujian and Taiwan for fruit tree cultivation [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2013, **21**(9): 1149 – 1156.
- [13] 韩蓓蓓. 陕西省5种主要经济林树种气候区划研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- HAN Beibei. *Study on Suitability Division of Five Main Economic Forest in Shaanxi Province* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010.
- [14] 张京伟, 张德顺, 有祥亮, 等. 基于模糊相似优先比法划分与上海气候相似的美国区域[J]. 江西农业大学学报, 2009, **31**(6): 1178 – 1182.
- ZHANG Jingwei, ZHANG Deshun, YOU Xiangliang, *et al.* Zoning of USA for Shanghai introduction with the method of fuzzy analogy preferred ratio [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2009, **31**(6): 1178 – 1182.
- [15] RADIONOV A, UZHGA-REBROV O. Application of fuzzy logic for risk assessment [J]. *Inf Technol Manage Sci*, 2015, **17**(1): 50 – 54.
- [16] 袁嘉祖, 冯晋层. 模糊数学及其在林业中的应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- [17] 袁嘉祖, 邓朝经. 模糊相似优先比法的探讨[J]. 四川林业科技, 1987, **8**(2): 93 – 96.
- YUAN Jiazuo, DENG Chaojing. Discussion on method of fuzzy similarity priority ratio [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 1987, **8**(2): 93 – 96.
- [18] 陆鼎煌, 袁嘉祖. 应用模糊相似优选比区划中国油橄榄引种分布[J]. 北京林学院学报, 1982, **4**(4): 1 – 13.
- LU Dinghuang, YUAN Jiazuo. Division of introduction regions of olive tree in China by means of indistinct similar optimum seeking ratio [J]. *J Beijing For Coll*, 1982, **4**(4): 1 – 13.
- [19] 袁嘉祖. 2个生态环境相似性计算方法的探讨[J]. 生态学杂志, 1987, **6**(6): 55 – 56, 45.
- YUAN Jiazuo. Discussion on calculation method of similarity of two ecological environment [J]. *J Ecol*, 1987, **6**(6): 55 – 56, 45.
- [20] 有祥亮, 余新晓, 陈吉虎, 等. 我国引种栓皮槭的气候生态适生区划分[J]. 中国水土保持科学, 2006, **4**(5): 83 – 91.
- YOU Xiangliang, YU Xinxiao, CHEN Jihu, *et al.* Division on suitable climatic and ecological region for introducing of *Acer campestre* L. to China [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2006, **4**(5): 83 – 91.
- [21] 陈红星, 王劲风, 龚榜初, 等. 我国引种日本甜柿气候生态适生区初步分析[J]. 林业科学研究, 2000, **13**(3): 323 – 327.
- CHEN Hongxing, WANG Jinfeng, GONG Bangchu, *et al.* A preliminary analysis on the suitable climatic and ecological region for introducing Japanese sweet persimmon [J]. *For Res*, 2000, **13**(3): 323 – 327.
- [22] 潘静, 唐德瑞, 车少辉, 等. 我国引种太平洋黄松的气候适生区划[J]. 西北林学院学报, 2008, **23**(3): 80 – 84.
- PAN Jing, TANG Derui, CHE Shaohui, *et al.* Division on suitable climatic and ecological region for introducing of *Pinus ponderosa* var. *ponderosa* to China [J]. *J Northwest For Univ*, 2008, **23**(3): 80 – 84.
- [23] 王德英, 丁国栋, 赵媛媛, 等. 中国珍稀荒漠植物梭梭在半干旱沙地引种适应性[J]. 北京林业大学学报, 2015, **37**(4): 74 – 81.

- WANG Deying, DING Guodong, ZHAO Yuanyuan, *et al.* On suitability for introduction of Chinese rare desert plant *Haloxylon ammodendron* in semi-arid sandy regions of northwestern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2015, **37**(4): 74 – 81.
- [24] 胡建忠. 植物引种栽培试验研究方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [25] 田士林, 李莉. 香樟在我国中部引种适应性研究[J]. 安徽农业科学, 2006, **34**(11): 2403 – 2445.
TIAN Shilin, LI Li. Research on the adaptability of fragrant camphor tree in the central section in China [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2006, **34**(11): 2403 – 2445.
- [26] 李耀明, 王玉杰, 储小院, 等. 降雨因子对缙云山地区典型森林植被类型地表径流的影响[J]. 水土保持研究, 2009, **16**(4): 244 – 249.
LI Yaoming, WANG Yujie, CHU Xiaoyuan, *et al.* Effects of the rainfall factors on surface runoff of typical forest vegetations in three gorges region [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2009, **16**(4): 244 – 249.
- [27] 普宗朝, 张山清, 宾建华, 等. 气候变化对乌鲁木齐市冬小麦产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, **41**(3): 115 – 123.
PU Zongchao, ZHANG Shanqing, BIN Jianhua, *et al.* Impact of climate change on winter wheat yield in Urumqi, Xinjiang [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2013, **41**(3): 115 – 123.
- [28] 桑子阳, 马履一, 陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, **31**(1): 109 – 115.
SANG Ziyang, MA Lüyi, CHEN Faju. Growth and physiological characteristics of *Magnolia wufengensis* seedlings under drought stress [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2011, **31**(1): 109 – 115.
- [29] 刘孟霞, 张延龙, 牛立新, 等. 运用层次-关联分析法综合评价加拿大引种草本花卉[J]. 西北农业学报, 2009, **18**(4): 261 – 266.
LIU Mengxia, ZHANG Yanlong, NIU Lixin, *et al.* The comprehensive evaluation of the ornamental flower plants introduced from Canada by the application of hierarchy-relation analysis [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 2009, **18**(4): 261 – 266.
- [30] 闫双喜, 李永华, 位凤宇. 中国木兰科植物的地理分布[J]. 武汉植物学研究, 2008, **26**(4): 379 – 384.
YAN Shuangxi, LI Yonghua, Wei Fengyu. Geographical distribution of Magnoliaceae plants in China [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2008, **26**(4): 379 – 384.
- [31] 何彦峰. 我国木兰属植物研究进展[J]. 北方园艺, 2010(3): 186 – 190.
HE Yanfeng. The research progress of *Magnolia* plant in China [J]. *Northern Hortic*, 2010(3): 186 – 190.
- [32] 刘玉壶, 夏念和, 杨惠秋. 木兰科(Magnoliaceae)的起源、进化和地理分布[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, **3**(4): 1 – 12.
LIU Yuhu, XIA Nianhe, YANG Huiqiu. The origin, evolution and phytogeography of Magnoliaceae [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 1995, **3**(4): 1 – 12.
- [33] 吴征镒. 论中国植物区系的分区问题[J]. 云南植物研究, 1979, **1**(1): 1 – 20.
WU Zhengyi. On the zoning of the flora of China [J]. *Acta Bot Yunan*, 1979, **1**(1): 1 – 20.