

# 基于层次分析法的乐东拟单性木兰 优良种源选择

蒋艾平<sup>1</sup>, 刘 军<sup>1</sup>, 姜景民<sup>1\*</sup>, 张建忠<sup>2</sup>, 徐永勤<sup>2</sup>, 沈凤强<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;

2. 浙江省杭州市余杭区长乐林场, 浙江 杭州 311123)

**摘要:**以乐东拟单性木兰 14 个种源试验林幼林为材料, 利用层次分析方法对其进行综合评价。研究表明: 乐东拟单性木兰树高、胸径、树冠浓密度、叶面积、造林保存率和叶色 6 个性状地理种源差异显著, 改良潜力大; 这 6 个性状的广义遗传力分别为 0.835、0.811、0.857、0.823、0.950、0.708, 说明环境因子对这些性状的影响较小, 而遗传因子对其影响较大。通过层次分析法对 14 个乐东拟单性木兰种源进行分析, 乐东拟单性木兰种源优劣排序为: SC > XN > LQ > JL > SZ > RS > CJ > MX > QY > LP > RJ > LN > LD > JFL。其中福建顺昌、湖南新宁、浙江龙泉和福建将乐 4 个种源在浙北地区具有推广和应用价值, 而江西龙南、海南乐东及海南尖峰岭 3 个种源在浙北地区的生长、适应和观赏性状表现较差。

**关键词:**乐东拟单性木兰; 种源; 层次分析法; 变异; 选择

中图分类号: S722.3

文献标识码: A

## Excellent Provenance Selection of *Parakmeria latungensis* by Analytic Hierarchy Process

JIANG Ai-ping<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>1</sup>, JIANG Jing-min<sup>1</sup>, ZHANG Jian-zhong<sup>2</sup>, XU Yong-qin<sup>2</sup>, SHEN Feng-qiang<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Changle Forest Experimental Station of Yuhang District of Hangzhou City, Hangzhou 311123, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to select the excellent provenance of *Parakmeria latungensis*, the young forests of 14 provenances were investigated and evaluated comprehensively using analytic hierarchy process (AHP). The results showed that there were significant differences in six traits, including tree height, diameter at breast height, crown density, leaf area, leaf color and afforestation preservation rate among different geographic provenances, showing a huge potential for improvement. The broad heritability of these six traits were 0.835, 0.811, 0.857, 0.823, 0.950, and 0.708, respectively, suggesting these traits were mainly controlled by genetic factors instead of environmental factors. The result of AHP showed that 4 provenances of *P. latungensis*, which derived from Shunchang of Fujian Province, Xinning of Hunan Province, Longquan of Zhejiang Province and Jiangle of Fujian Province, had the higher promotion and application value in the north of Zhejiang, while 3 provenances of *P. latungensis*, which derived from Longnan of Jiangxi Province, Ledong of Hainan Province and Jianfengling of Hainan Province, performed poorly in terms of growth, adaptation and ornamental characteristics.

**Key words:** *Parakmeria latungensis*; provenance; AHP; variation; selection

收稿日期: 2014-06-23

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项重大项目(201204307); 浙江省花卉新品种选育重大科技专项重点项目(2012C12909-2)

作者简介: 蒋艾平(1989—), 男, 湖南郴州人, 硕士研究生, 主要从事林木种质资源研究。

\* 通讯作者: jiangjm6001@126.com

乐东拟单性木兰 (*Parakmeria latungensis* (Chun et C. Tsoong) Law) 为木兰科 (Magnoliaceae) 拟单性木兰属 (*Parakmeria* Hu et Cheng) 常绿大乔木<sup>[1]</sup>。该种主要分布于 18°44'~29°24' N, 107°50'~119°09' E 之间的海南、广东、广西、贵州、湖南、江西、福建、浙江 8 个省区的 40 多个县市,最南端为海南的尖峰岭,最北端为湘西北的桑植县,垂直分布在海拔 300~1 800 m 热带至中亚热带森林中<sup>[2]</sup>。该种为我国特有濒危保护植物,且被列入世界木兰科红色名录<sup>[3]</sup>。

乐东拟单性木具有极高的观赏和用材价值,且属于我国特有物种,因此在国内对乐东拟单性木兰研究比较全面深入。目前研究主要集中在乐东拟单性木兰分布现状、资源量、种群结构和群落特征<sup>[4]</sup>、组织培养<sup>[5]</sup>、地理种源变异规律<sup>[6]</sup>,以及光照、温度、水分对乐东拟单性木兰生理特性的影响等方面<sup>[7-9]</sup>。然而对乐东拟单性木兰优良种源选择的研究却少有报道。

层次分析法 (AHP) 是由美国匹兹堡大学教授 T. L. Satty 在 20 世纪 70 年代提出来的。此方法可以将复杂的问题分解为若干层次,在比原来问题简单得多的层次上逐步分解、分析,并可将人的主观判断和定性分析用数量形式表达、转换和处理<sup>[10]</sup>。因此层次分析法能提供一个层次思维框架,使结构更加严谨、思路更清晰,同时也增强了判断的客观性<sup>[11]</sup>。AHP 在经济、农业、军事等领域得到了广泛的应用。本文利用 AHP 对乐东拟单性木兰进行地理种源变异的选择,可以将复杂的种源选择问题通过分解成若干明晰的层次而得到简化,并且可以将其量化以减少人为的主观因素,以使乐东拟单性木兰优良种源的选择更加简明、客观。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2003 年 8 月底至 9 月中旬中国林科院亚热带林业研究所林木种质资源课题组采集了浙江、广西、海南、湖南、江西、福建 6 个省区 14 个乐东拟单性木兰种源的种子,然后在浙江富阳中国林科院亚热带林业研究所育苗基地进行育苗,育种地年平均降水量 1 452.5 mm,年平均气温 16.27℃,年均无霜期 248 d。于 2005 年在浙江省杭州市余杭区长乐林场进行造林。造林苗为 1 年生乐东拟单性木兰实生苗,株行距 2.0 m×2.0 m。试验为随机区组设计,10 株双

行小区,5 次重复。

### 1.2 试验调查

2012 年 12 月对试验林进行调查,调查内容包括树高、胸径、叶面积、通直度、树冠浓密度、叶色、抗病虫害和造林保存率等。叶面积数据采用北京恒瑞天创机电设备有限公司生产的 ECA-YM02 手持式叶面积仪测得,通直度(分最好、较好、适中、较差、最差,分别计为 5、4、3、2 和 1)、树冠浓密度(分浓密、较浓密、适中、较稀疏、稀疏,分别计为 5、4、3、2 和 1)、叶色(分鲜红、淡红、浓绿、较浓绿、黄绿色,分别计为 5、4、3、2 和 1)的数值均由赋值而得。在每个种源中随机抽取 5 株乐东拟单性木兰,植株完全不受或受害较轻,生长良好或生长及观赏性状影响不大为抗病虫害,植株受害严重或受害部分超过 50%,生长不良、观赏性状较差为不抗病虫害,根据以上标准来确定 5 株树中抗病虫害的株数。由于赋值时已消除了量纲,所以通直度、树冠浓密度、叶色和抗病虫害等数据不用再进行标准化,可以直接进行方差分析。

### 1.3 层次分析法

1.3.1 建立层次结构模型 层次分析法是把复杂的定性事件看作一个大系统,进而作出定量分析的方法。对乐东拟单性木兰种源变异的综合评价就是复杂的系统问题,选出最优种源是其终极目标(目标层 A),围绕终极目标所构建的指标评价体系既要关注乐东拟单性木兰的生长性状,更要关注它的观赏性状和适应性,具体指标见图 1。

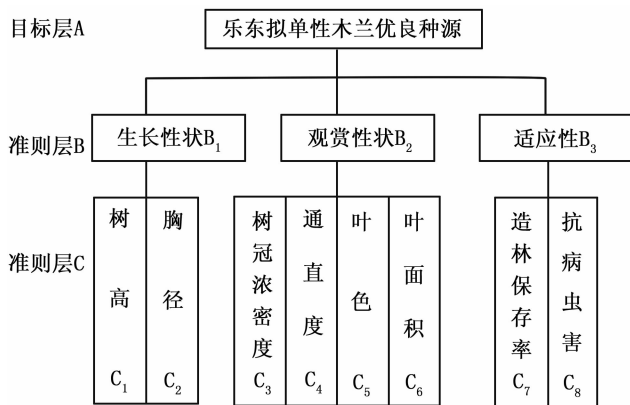


图1 乐东拟单性木兰优良种源选择指标评价体系

1.3.2 构造判断矩阵 构造判断矩阵<sup>[10]</sup>一般采用 1~9 及其倒数的标度方法,即把各评价因素从劣到优均划分为 5 个等级,用 1、2、3、4、5 表示。同一层的因素两两比较得出相对于上一层因素的相对重

要值。

1.3.3 层次单排序及其一致性检验 先计算出判断矩阵的最大特征根,然后计算出特征根对应的特征向量;特征向量经规一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值<sup>[10]</sup>。一致性指标  $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ ,其中  $\lambda_{\max}$  为矩阵最大特征根,  $n$  为矩阵的阶。平均随机一致性指标  $RI = (-5.739 + 4.304n - 1.28n^2 + 0.242n^3) / (1.772n - 0.54n^2 + 0.138n^3)$ ,其中  $n$  为矩阵的阶。当随机一致性比率  $CR = CI/RI < 0.10$  时,认为层次单排序的结果有满意的一致性(表2、3、4、5)。

表1 A-B 判断矩阵

因素	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>	一致性
B <sub>1</sub>	1	4	3	0.630 0	CR <sub>1</sub> = 0.017 7
B <sub>2</sub>	1/4	1	1/2	0.142 2	
B <sub>3</sub>	1/3	2	1	0.245 9	

注:W<sub>1</sub> 表示 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub> 相对于 A 的权重值,CR<sub>1</sub> 表示 A-B 的随机一致性比率。

表2 B<sub>1</sub>-C 判断矩阵

因素	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	W <sub>2</sub>	一致性
C <sub>1</sub>	1	2	0.687 3	CR <sub>2</sub> = 0.000 0
C <sub>2</sub>	1/2	1	0.345 7	

注:W<sub>2</sub> 表示 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> 相对于 B<sub>1</sub> 的权重值,CR<sub>2</sub> 表示 B<sub>1</sub>-C 的随机一致性比率。

表3 B<sub>2</sub>-C 判断矩阵

因素	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	W <sub>3</sub>	一致性
C <sub>3</sub>	1	2	4	5	0.513 4	CR <sub>3</sub> = 0.049 8
C <sub>4</sub>	1/2	1	3	4	0.334 1	
C <sub>5</sub>	1/4	1/3	1	2	0.119 2	
C <sub>6</sub>	1/5	1/4	1/2	1	0.061 8	

注:W<sub>3</sub> 表示 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub> 相对于 B<sub>2</sub> 的权重值,CR<sub>3</sub> 表示 B<sub>2</sub>-C 的随机一致性比率。

表4 B<sub>3</sub>-C 判断矩阵

因素	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	W <sub>4</sub>	一致性
C <sub>7</sub>	1	3	0.773 3	CR <sub>4</sub> = 0.000 0
C <sub>8</sub>	1/3	1	0.252 0	

注:W<sub>4</sub> 表示 C<sub>7</sub>、C<sub>8</sub> 相对于 B<sub>3</sub> 的权重值,CR<sub>4</sub> 表示 B<sub>3</sub>-C 的随机一致性比率。

1.3.4 层次总排序及一致性检验 层次总排序是计算准则层 C 所有因素对于最高层相对重要性的排序权值。一致性检验  $CR = 0.017 7 < 0.10$ ,所以认为层次总排序的结果有满意的一致性。当准则层因素的数量较多时,通常可以采用绝对评价的数量学方法计算其综合数量评价<sup>[12]</sup>。这里计算乐东拟单性木兰优良种源的综合数量评价时采用的就是绝对评价的数量学方法,乐东拟单性木兰优良种源

综合数量评价(N)的计算公式如下:

$$N = \sum_{i=1}^2 W_{1i} R_{1i} + \sum_{j=1}^4 W_{2j} R_{2j} + \sum_{m=1}^2 W_{3m} R_{3m}$$

式中,  $R_{1i}$ 、 $W_{1i}$  分别为生长性状的各项指标的数量评价(即平均胸径值、平均树高值)和各项指标的排序权重值;  $R_{2j}$ 、 $W_{2j}$  分别为观赏性状的各项指标的数量评价(即平均叶面积、树冠浓密度、通直度、叶色)和各项指标的排序权重值;  $R_{3m}$ 、 $W_{3m}$  分别为适应性性状的各项指标的数量评价(即抗病虫害、造林保存率)和各项指标的排序权重值。

广义遗传力用续九如<sup>[13]</sup>方法估算,采用 Excel 2003 和 DPS11.5 软件在计算机上进行计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 乐东拟单性木兰生长性状的地理种源变异

通过对9年生乐东拟单性木兰14个种源的树高、胸径2个生长性状统计分析(表5、6)可知:9年生乐东拟单性木兰14个种源中,湖南新宁种源平均树高值最大,为624.0 cm,平均树高值最小的是海南尖峰岭种源,为515.8 cm。平均胸径值最大的是浙江龙泉种源,为6.188 cm,而平均胸径值最小的是贵州榕江种源,为4.924 cm。平均胸径和平均树高广义遗传力分别是0.811和0.835。通过数据分析表明,胸径和树高这2个生长性状具有显著的地理种源差异。

### 2.2 乐东拟单性木兰适应性性状的地理种源变异

通过对9年生乐东拟单性木兰不同种源抗病虫害和造林保存率2个适应性性状统计分析(表5、6),结果表明:14个种源抗病虫害性状广义遗传力很低,种源差异不是很显著,这可能是在试验过程中各区组之间存在着微环境差异,引起环境因子对抗病虫害性状的干扰,导致环境因子比遗传因子对此性状的影响大。然而造林保存率的地理种源变异很显著,其中浙江龙泉种源造林保存率最高,为95%,海南尖峰岭种源造林保存率最低,为36%,造林保存率广义遗传力是0.950。说明造林保存率这一指标具有可选择性,受遗传因子的影响较大。

### 2.3 乐东拟单性木兰观赏性状的地理种源变异

由表5、6可以看出,9年生乐东拟单性木兰不同种源叶色、通直度、叶面积及树冠浓密度4个观赏性状具有不同地理种源变异差异。贵州黎平种源叶色值最大,为4.057 0,贵州榕江种源叶色值最小,为2.011 6,叶色最大值是最小值的2.02倍,广义遗传

力是 0.708。福建顺昌种源平均叶面积最大,为 40.854 5,福建明溪种源平均叶面积最小,为 22.348 1,平均叶面积最大值是最小值的 1.83 倍,广义遗传力是 0.823。树冠浓密度最大值 4.438 为最小值 3.620 的 1.23 倍,广义遗传力是 0.857。平均

通直度最大值 4.934 为最小值 3.852 的 1.28 倍,广义遗传力很低。可见叶色、叶面积和树冠浓密度具有显著的地理种源差异,而通直度没有显著的地理种源差异。

表 5 乐东拟单性木兰 14 个种源主要性状及综合数量评价

种源	R								综合数量 评价值(N)
	胸径/cm	树高/cm	叶面积/cm <sup>2</sup>	抗病虫害	造林保存率/%	叶色	通直度	树冠浓密度	
权重值(W)	0.217 8	0.433	0.008 8	0.062	0.190 1	0.017	0.047 5	0.073	
贵州榕江(RJ)	4.924	537.0	32.149 0	3.6	87	2.011 6	4.593	3.658	251.157 7
贵州从江(CJ)	5.454	586.0	25.590 7	4.0	85	2.377 5	4.140	4.110	272.094 7
海南尖峰岭(JFL)	4.962	515.8	29.156 6	3.0	36	3.116 3	4.526	3.402	232.224 6
福建顺昌(SC)	5.750	623.4	22.723 2	4.2	90	3.232 8	4.649	4.438	289.353 7
贵州黎平(LP)	5.272	572.8	29.809 6	3.8	75	4.057 0	4.759	3.842	264.501 6
浙江庆元(QY)	5.332	579.4	24.899 8	4.2	89	2.768 4	4.854	4.058	270.013 8
福建将乐(JL)	5.916	608.2	27.020 3	4.4	94	2.526 7	4.827	4.194	283.597 5
湖南桑植(SZ)	6.080	606.4	34.168 9	4.8	90	2.847 6	4.724	4.080	282.173 3
浙江龙泉(LQ)	6.188	615.4	23.343 2	4.6	95	2.446 0	4.934	4.188	286.947 7
江西龙南(LN)	5.106	523.6	23.746 6	4.2	94	3.047 1	4.822	3.620	246.714 8
广西融水(RS)	5.662	607.6	31.694 3	4.0	81	2.233 3	4.797	4.226	280.823 3
湖南新宁(XN)	6.184	624.0	33.614 2	4.4	86	2.710 3	4.909	4.334	289.051 7
海南乐东(LD)	4.974	529.4	40.854 5	3.2	45	2.628 6	3.852	3.620	239.917 9
福建明溪(MX)	5.212	581.4	22.348 1	4.2	94	3.208 3	4.844	4.058	271.788 7

注:W表示准则层C相对于目标层A的权重值。

表 6 乐东拟单性木兰 14 个种源主要性状的方差分析

性状	变异来源	平方和	均方	F 值	广义遗传力
树高	区组	87 301.443	6 715.496	6.068 **	0.835
	种源	61 978.000	1 106.750		
胸径	区种	14.069	1.082	5.278 **	0.811
	种源	11.455	0.205		
树冠浓密度	区组	6.195	0.477	7.015 **	0.857
	种源	3.800	0.068		
通直度	区组	6.208	0.478	1.370	0.270
	种源	19.566	0.349		
叶色	区组	17.286	1.330	3.419 **	0.708
	种源	21.783	0.389		
叶面积	区组	1 538.505	118.347	5.634 **	0.823
	种源	882.319	21.008		
造林保存率	区组	21 797.500	1 676.731	19.893 **	0.950
	种源	4 720.000	84.286		
抗病虫害	区组	16.471	1.267	1.848	0.459
	种源	38.400	0.686		

注:\*\*表示显著性概率为 0.01。

## 2.4 乐东拟单性木兰优良种源选择

根据表 5 中的权重值(W)可知,在这 8 个指标中树高和胸径的权重值最大,分别是 0.433 和 0.217 8,说明在 9 年生乐东拟单性木兰优良种源选择上这两个因素占有很重要的分量。通过综合数量评价值(N)大小,可以得出 14 个 9 年生乐东拟单性木兰种源的排列顺序:SC > XN > LQ > JL > SZ > RS

> CJ > MX > QY > LP > RJ > LN > LD > JFL。从排列顺序可以看出,福建顺昌、湖南新宁、浙江龙泉和福建将乐 4 个 9 年生乐东拟单性木兰种源在浙江杭州地区综合表现较好,并且福建顺昌和湖南新宁两个种源的综合评价值相差非常小;而江西龙南、海南乐东、海南尖峰岭 3 个 9 年生乐东拟单性木兰种源在浙江杭州地区的综合表现较差。

## 3 结论与讨论

由于种群距离较远、基因交流机会少、结实母株极度减少等原因,从而严重限制了乐东拟单性木兰种群发展壮大<sup>[4]</sup>。同时很多研究表明生境片段化将会造成遗传多样性降低<sup>[14-15]</sup>,这也是限制乐东拟单性木兰种群发展壮大,致使其成为濒危树种的重要原因。研究树种地理种源间的生长和适应性变异,为试验地区筛选经济性与适应性较佳种源,是全分布区种源试验的重要内容<sup>[16]</sup>。本文通过层次分析法对 9 年生乐东拟单性木兰种源进行了分析、选择,为浙北地区推广和应用乐东拟单性木兰提供了科学依据。9 年生乐东拟单性木兰生长性状中的胸径和树高、适应性状中的造林保存率和观赏性状中的叶色、叶面积及树冠浓密度具有显著的地理种源差异,

广义遗传力很高。说明加性基因在这个6个性状中占了重要比例,环境因子在其中所占比例较小,这6个性状具有很大的改良潜力。然而9年生乐东拟单性木兰抗病虫害和通直度的地理种源差异不大,这可能是在试验过程中各区组之间存在着微环境差异,引起环境因子对抗病虫害性状的干扰,导致环境因子比遗传因子对此性状的影响大。以上研究结果说明种源与立地环境存在显著互作效应。李建民对8年生不同种源马褂木(*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg.)研究发现,随着立地条件的改善,马褂木树高、胸径和冠幅生长增加,枝下高增长<sup>[17]</sup>;周志春等对木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)的研究也发现,试验地各重复间立地条件差异会影响木荷种源生长性状和分支性状<sup>[18]</sup>。所以种源选择中要重视种源与立地条件互作和种源遗传稳定性。

表型变化是物种进化的重要方面<sup>[19]</sup>,种群间的表型变化反映了种群对不同环境的适应状况<sup>[20]</sup>,表型多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现<sup>[21]</sup>。由层次分析法对9年生乐东拟单性木兰各种源表型分析表明,福建顺昌、湖南新宁、浙江龙泉和福建将乐种源在浙江杭州地区具有良好的表现,可以作为优良种源在浙北地区进行推广和应用;而江西龙南、海南乐东和海南尖峰岭种源在浙江杭州地区表现较差。通过层次分析法得到的综合评价较高的乐东拟单性木兰种源都属于东部地区种源,这与刘军等在乐东拟单性木兰地理种源变异的研究中用聚类法对地理种源优劣的区分聚类基本相同<sup>[6]</sup>。然而不属于东部种源区的湖南新宁种源综合评价价值却很高,属于东部种源区的江西龙南种源综合评价价值却很低,这可能与这两个地区的气候和浙江富阳的气候相似程度不大有关。

## 参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第三十卷 第一分册 木兰科[M]. 北京:科学出版社,1959:147.  
[2] 应俊生,张玉龙. 中国种子植物特有属[M]. 北京:科学出版社,

1994:435-439.

- [3] 汪松,解焱. 中国物种红色名录:第一卷 红色名录[M]. 北京:高等教育出版社,2004:28.  
[4] 陈红锋,张荣京,周劲松,等. 濒危植物乐东拟单性木兰的分布现状与保护策略[J]. 植物科学学报,2011,29(4):452-458.  
[5] 邓小梅. 乐东拟单性木兰组培再生系统的建立[J]. 江西农业大学学报,2007,29(2):198-202.  
[6] 刘军,姜景民,刘昭息,等. 乐东拟单性木兰地理种源变异与选择研究[J]. 林业科学研究,2012,25(5):564-568.  
[7] 李远发,文嘉燕,王凌晖,等. 水分胁迫对乐东拟单性木兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(15):281-283.  
[8] 王旭军,吴际友,廖德志,等. 乐东拟单性木兰光合蒸腾及水分利用效率研究[J]. 中国农学通报,2008,24(10):175-178.  
[9] 余燕华. 低温胁迫对乐东拟单性木兰若干生理特性影响初报[J]. 亚热带植物科学,2012,41(4):31-34.  
[10] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990:150-162.  
[11] 吴殿廷,李东方. 层次分析法的不足及其改进的途径[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2004,40(2):264-268.  
[12] 赵焕臣. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京:科学出版社,1986:77-86.  
[13] 续九如. 林木数量遗传学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:16-41.  
[14] Young A, Boyle T, Brown T. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants[J]. Trends in Ecology and Evolution,1996,11(10):413-418.  
[15] 陈克霞,王嵘,陈小勇. 天山片段生境中山姜种群遗传结构[J]. 生态学报,2008,28(6):2481-2485.  
[16] 毛爱华,陈晓阳,李悦,等. 19年生侧柏种源变异及选择研究[J]. 北京林业大学学报,2010,32(1):22-28.  
[17] 李建民. 马褂木地理遗传变异和优良种源选择[J]. 林业科学,2001,37(4):41-49.  
[18] 周志春,范辉华,金国庆,等. 木荷地理遗传变异和优良种源初选[J]. 林业科学研究,2006,19(6):718-724.  
[19] Schlichting C D, Smith H. Phenotypic plasticity: linking molecular mechanisms with evolutionary outcomes[J]. Evolutionary Ecology,2002,16(3):189-211.  
[20] Winker K. Reuniting phenotype and genotype in biodiversity research[J]. BioScience,2009,59(8):657-665.  
[21] 曾斌,罗淑萍,李疆,等. 新疆野扁桃天然居群形态变异的研究[J]. 生物多样性,2008,16(5):484-491.