

# 厚朴野生资源的野外回归植株苗期适应性评价

谭美, 杨志玲\*, 杨旭, 程小燕

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400)

**摘要:** [目的] 对2个回归样地内8个不同种源厚朴幼苗生长适应性进行评价, 为厚朴野生资源回归保护提供科学依据。 [方法] 观测幼苗生长性状指标, 并运用主成分分析和灰色关联分析评价其回归适应性。 [结果] 表明: (1) 厚朴回归苗木与理想种关联度为0.7947; (2) 1号回归样地(浙江磐安)和2号回归样地(浙江遂昌)与理想种关联度分别为0.7741和0.8154; (3) 8个回归种源与理想种关联度由高到低分别为: 浙江遂昌 > 浙江磐安 > 浙江安吉 > 福建光泽 > 杂交幼苗 > 江西庐山 > 福建建宁 > 江西铜鼓种源。 [结论] 厚朴野外回归幼苗总体长势良好, 适应性较好, 不同种源、同一种源在不同回归样地内生长差异较大, 回归幼苗来源和回归地可能是影响其回归保护的关键因子。

**关键词:** 厚朴; 回归; 苗期性状; 适应性

**中图分类号:** S723

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)01-0125-08

厚朴(*Houpoëa officinalis* Rehd. et Wils.)为木兰科(Magnoliaceae)厚朴属(*Houpoëa* N. H. Xia & C. Y. Wu)<sup>[1]</sup>落叶乔木,是我国特有国家二级保护濒危药用植物。其树皮、根皮、叶、花、种子和芽均可入药,主要药用成分为厚朴酚、和厚朴酚以及 $\beta$ -桉叶油醇等,具有消痰、下气除满等功效,在临床医学上得到广泛应用<sup>[2-5]</sup>,具有极大的经济价值和开发前景。但近年来过度砍伐采挖,导致厚朴野生资源逐渐减少,目前仅在我国少数省份零星分布<sup>[6]</sup>。资源的过度开发、生境恶化以及气候的变化,导致不少珍稀濒危植物面临灭绝的风险<sup>[7]</sup>,加强厚朴野生资源保护已刻不容缓。

植物回归是指在迁地保护的基础上,通过人工繁殖将植物引入到其原来分布的自然或半自然的生境中,以建立具有足够遗传资源来适应进化改变、可自然维持和更新的新种群<sup>[8]</sup>。野外回归是濒危物种种群重建的重要途径,是连接就地保护和迁地保护的桥梁<sup>[9]</sup>,其保护效果超出了单纯的就地保护和单一的物种保护。国内外已展开大量植物回归研究,

但成功的案例并不多,药用植物则更少<sup>[10-12]</sup>。野外回归是一项系统性的工程,它需要在充分了解物种的生长发育特性和濒危机理的基础上,以群落和生态系统为背景,以濒危物种的生物学、生态学特征和濒危机制为依据,选择或改造回归地的生态环境,运用生态学原理和技术来构建一个可以稳定发展的种群<sup>[13-14]</sup>。本研究在已开展的厚朴生境及资源调查、濒危原因及遗传结构分析<sup>[15-16]</sup>的基础上,通过迁移不同种源厚朴幼苗建立回归种群,并运用主成分分析和灰色关联分析法对回归厚朴幼苗进行适应性评价,以为厚朴资源野外保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

回归样地设有两个:1号回归样地位于浙江省金华市磐安县园塘林场内,120°35' E, 29°02' N,海拔高度890 m;年均温15.5℃,年无霜期228 d,年降水量1500 mm,空气相对湿度77%,年均日照时数约1714 h,属亚热带季风性气候。土壤为黄壤,多

收稿日期: 2018-01-17 修回日期: 2018-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目“珍稀濒危木本药材厚朴繁育系统及其保护策略”(31270585);科技部农业科技成果转化项目“厚朴优良种源规范化培育关键技术示范”(2013GB24320613);林业公益性行业专项“南方林源多用途药用植物种质保护与选育技术”(200704022)。

\* 通讯作者: 杨志玲, E-mail: zlyang0002@126.com

呈弱酸性,土质疏松,有机质含量高,利于植物生长。主要植被有:杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、柳杉(*Cryptomeria fortune* Hooibr. ex. Otto & Dietrich)、毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.)、南方红豆杉(*Taxus chinensis* (Pilger) Rehd. var. *mairei* (Lemee et Levl.) Cheng et L. K. Fu)、猕猴桃(*Actinidia chrysantha* C. F. Liang)、榧树(*Torreya grandis* Fortune ex Lindl.)、榉树(*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino)、香果树(*Emmenopterys henryi* Oliv.)、七子花(*Heptacodium miconioides* Rehder)、马醉木(*Pieris japonica* (Thunb.) D. Don ex G. Don)、杜鹃花(*Rhododendron simsii* Planch.)、斑叶兰(*Goodyera schlechtendaliana* Rehb. f.)、绶草(*Spiranthes sinensis* (Pers.) Ames)等。

2号回归样地位于浙江省丽水市遂昌县桂洋林场,119°08' E,28°21' N,海拔高度1 100 m;年均温12.3℃,夏季最高温30.2℃,冬季最低温-12.5℃,年降水量2 400 mm,平均相对湿度80%,年日照时数1 515.5 h,属于典型的中亚热带海洋性季风气候。土壤为红壤,主要植被有:黄山松(*P. taiwanensis* Hayata)、杉木、日本柳杉(*C. japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don)、枫香树(*Liquidambar formosana* Hance)、麻栎树(*Quercus acutissima* Carruth.)、甜槠

(*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutcher)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、深山含笑(*Michelia maudiae* Dunn)、马鞍树(*Maackia hupehensis* Takeda)、花榈木(*Ormosia henryi* Prain)、香椿(*Toona sinensis* (Juss.) M. Roem.)等。

## 1.2 回归材料

由于迁地栽培的种群会随着时空隔离而导致较高的遗传分化和遗传多样性减少,生境破碎化会导致常住种群减少和增加居群间隔离,进而导致减少迁移和基因流,而地方种群能通过形态可塑性和适应性遗传分化的方式来适应环境及其变化<sup>[17]</sup>,本课题组前期对全国野生厚朴遗传多样性进行研究,发现西部、中部和东部3个野生厚朴分布区之间遗传差异较大(论文待发表),遗传距离过大会产生杂交隔离现象,因此本研究中厚朴回归材料在前期研究基础上从东部分布区选取。

回归材料由3部分组成:(1)异地幼苗:浙江、江西和福建3个省份5个种源(浙江安吉、福建建宁、福建光泽、江西庐山、江西铜鼓)野生植株所产种子培育的1年生幼苗;(2)杂交幼苗:通过人工杂交(浙江遂昌×江西分宜)所产种子培育的1年生幼苗;(3)本地幼苗:回归样地内(浙江遂昌、浙江磐安)本地野外萌发1年生幼苗。不同种源地地理位置及气候因子见表1。

表1 回归厚朴种源地理位置及生态因子

Table 1 Geographic position and ecology factors for the reintroduction seedlings of *H. officinalis* provenances

项目 Item	种源 Provenances	E		海拔高度 Altitude /m	年均温 Annual temperature/℃	年降水量 Annual precipitation/mm	年日照时数 Annual Sunshine/h	年无霜期 Forest-free days per year/d
		E	N					
引种地 Original habitats	FJJN	117°2'	26°31'	373	16.8	1 822	1 595	243
	ZJAJ	119°36'	30°26'	895	15.5	1 344	2 009	226
	JXLS	115°97'	29°41'	1 280	16.1	1 917	1 330	253
	JXTG	114°37'	28°53'	1 208	16.2	1 773	1 497	265
	FJGZ	117°34'	27°54'	325	17.5	1 878	1 952	271
回归地 Habitats for reintroduction	ZJSC	119°08'	28°21'	1 100	12.3	2 400	1 516	219
	ZJPA	120°35'	29°02'	890	15.5	1 500	1 714	228

注:种源编号,FJJN:福建建宁;ZJAJ:浙江安吉;JXLS:江西庐山;JXTG:江西铜鼓;FJGZ:福建光泽;ZJPA:浙江磐安;ZJSC:浙江遂昌。下同。

Note: FJJN: Fujian Jianning; ZJAJ: Zhejiang Anji; JXLS: Jiangxi Lusan; JXTG: Jiangxi Tonggu; FJGZ: Fujian Guangze; ZJPA: Zhejiang Panan; ZJSC: Zhejiang Sichan. The same below.

## 1.3 研究方法

于2016年3月份将1年生幼苗分别迁移至浙江磐安园塘林场和浙江遂昌桂洋林场,每株挂牌,建立两个奠基种群。1号奠基种群建于浙江磐安县园塘林场,其中厚朴幼苗种源组成为:浙江磐安本地幼苗,福建建宁、浙江安吉、江西庐山、江西铜鼓、福建光泽种源幼苗和杂交幼苗。2号奠基种群建于浙江

遂昌桂洋林场,其中厚朴幼苗种源组成为:浙江遂昌本地幼苗,福建建宁、浙江安吉、江西庐山、江西铜鼓、福建光泽种源幼苗和杂交幼苗。移植方式:从各种源地分别移植30株由野生厚朴种子播种培育的幼苗,苗高20 cm左右,地径5 mm左右,在回归样地内各种源之间进行随机交叉种植,行间距为2.5 m×2.5 m,种植后每株挂牌。

因苗木出圃移植根系损伤较多,需要一定恢复期,当年生长量受到一定影响,从2017年4月开始每月对回归样地内幼苗的生长情况、病虫害和留存率进行调查;并在11月初,厚朴叶片凋落之前在每个种源内随机各挖取4株幼苗,带回实验室,测量其苗高、地径、叶长、叶宽、叶面积、叶柄长、叶脉对数、侧根数和主根长;用SPAD-502PLUS便携式叶绿素测定仪(日本柯尼卡美能达公司)测定叶片叶绿素指数和叶片氮指数;分根、茎、叶称其鲜质量后放入80℃烘箱烘干,称量根、茎、叶干质量;根据以下公式计算总叶面积、比叶质量和叶形指数。

单株总叶面积 = 叶片数 × 叶面积

比叶质量(SLW) = 叶干质量/单株总叶面积

叶形指数(L/W) = 叶长/叶宽

#### 1.4 适应性评价

由于厚朴为大乔木,生命周期长,3 a内无法开花和结果,因此根据回归样地内厚朴幼苗生长适应性情况,确定厚朴幼苗回归早期适应性评价指标及其数量化的评价标准,包括病虫害危害率、存活率和生长势(表2),其中病虫害危害率 = 有病虫害的叶片数/总叶片数 × 100%;存活率 = 存活植株数/回归植株数 × 100%;生长势分5个等级,分别为强壮、较好、中等、一般和较差,其中强壮指生长旺盛,有明显的萌芽,植株挺拔;较好指生长较旺盛,有萌芽,植株挺拔;中等指生长良好,能见到新芽,植株较为挺拔;一般指生长一般,无新芽,植株轻度弯曲;较差指生长较差,无新芽,植株弯曲<sup>[18]</sup>。

表2 厚朴回归幼苗早期适应性评价标准

Table 2 Evaluation criteria for the reintroduction seedlings of *H. officinalis* adaptability

评价等级 Rank of evaluation	病虫害危害率 Pests and diseases rate/%	存活率 Survival rate/%	生长势 Growth condition
5	0	100	强壮
4	20	80	较好
3	40	60	中等
2	60	40	一般
1	80	20	较差
0	100	0	死亡

#### 1.5 数据分析

应用Excel 2013和SPSS 19.0软件对数据进行统计和分析,采用主成分分析和灰色关联分析方法对厚朴回归幼苗进行生长适应性评价<sup>[19]</sup>,分析方法如下:

主成分分析:根据方差分析结果,选择差异性显著的性状进行主成分分析,特征值大于1的判定为

主成分,根据主成分得分系数计算各种源主成分得分,用 $F_i$  ( $i=1,2,3,\dots$ )表示主成分, $T_i$  ( $i=1,2,3,\dots$ )表示各主成分贡献率,则主成分得分计算公式如下:

$$F_1 = Y_{11}X_1 + Y_{12}X_2 + Y_{13}X_3 + \dots + Y_{1j}X_j$$

$$F_2 = Y_{21}X_1 + Y_{22}X_2 + Y_{23}X_3 + \dots + Y_{2j}X_j$$

$$F_3 = Y_{31}X_1 + Y_{32}X_2 + Y_{33}X_3 + \dots + Y_{3j}X_j$$

.....

$$F_i = Y_{i1}X_1 + Y_{i2}X_2 + Y_{i3}X_3 + \dots + Y_{ij}X_j$$

$$F = T_1F_1 + T_2F_2 + T_3F_3 + \dots + T_iF_i$$

其中, $X_1 \sim X_j$ 为各性状原始数据标准化后的值; $X_{ij} \sim Y_{ij}$ 表示各主成分在各性状上的得分系数。

灰色关联分析:以每个回归样地内7个不同种源(将杂交幼苗视为1个种源),210株厚朴幼苗作为1个灰色系统,每一株幼苗作为系统中1个元素,对性状的量化值标准化和无纲量化处理后,以各性状评价值5作为理想种,计算不同种源综合性状与理想值的关联度,关联度越大,说明与理想种越接近,适应性越好。关联度计算公式如下:

$$\varepsilon_i(k) =$$

$$\frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon_i(k) \quad (2)$$

式(1)中, $x_i$ 为各调查性状构成的数列 $x_i$  ( $i=1,2,3,\dots,30$ )即种源编号;理想种各性状构成的数列为 $x_0$ ,性状指数为 $k$  ( $k=1 \sim 5$ ); $\rho$ 为分辨系数,取值范围是0~1,本试验 $\rho=0.5$ 。

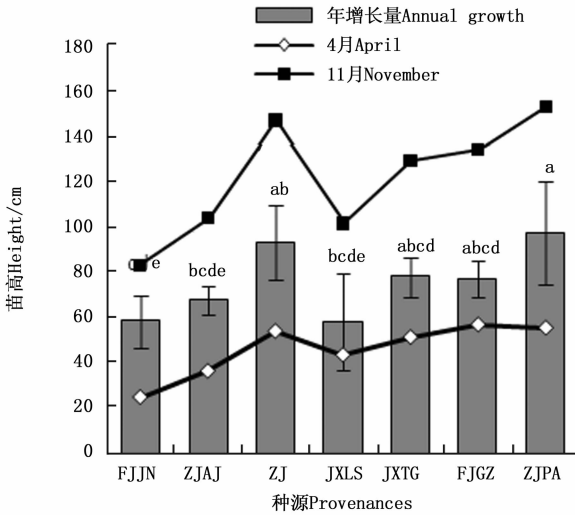
式(2)中, $n$ 为调查指标数量( $n=3$ ),各性状权重相等。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同回归样地内厚朴种源幼苗生长情况

2.1.1 苗高 由图1和图2可知,2017年4月份,各种源苗高差异不大;11月份各种源幼苗苗高差异增大,1号样地内幼苗最高为浙江磐安种源(152.95 cm),最低为福建建宁种源(83.48 cm);各种源苗高年增长量表现为浙江磐安 > 杂交幼苗 > 江西铜鼓 > 福建光泽 > 浙江安吉 > 福建建宁 > 江西庐山,浙江磐安与江西庐山种源苗高年增长量相差39.2 cm,且浙江磐安种源与其它种源之间均表现出显著差异

( $P < 0.05$ ); 2号回归样地内, 幼苗最高为浙江遂昌种源(135.55 cm), 最低为福建建宁种源(78.43 cm); 各种源苗高年增长量表现为浙江遂昌 > 浙江安吉 > 杂交幼苗 > 江西铜鼓 > 福建建宁 > 福建光泽 > 江西庐山, 浙江遂昌与江西庐山苗高年增长量相差35.68 cm, 浙江遂昌、江西庐山和福建光泽种源与其它种源苗高年增长量差异显著( $P > 0.05$ )。总体而言, 1号回归样地内各种源幼苗苗高年增长量比2号回归样地略高。



注: ZJ: 杂交幼苗, 下同。

Note: ZJ: Hybrid seedling, The same below.

图1 1号样地内厚朴种源回归幼苗苗高生长

Fig.1 The height growth of the reintroduction seedlings of *H. officinalis* provenances in No.1 habitats.

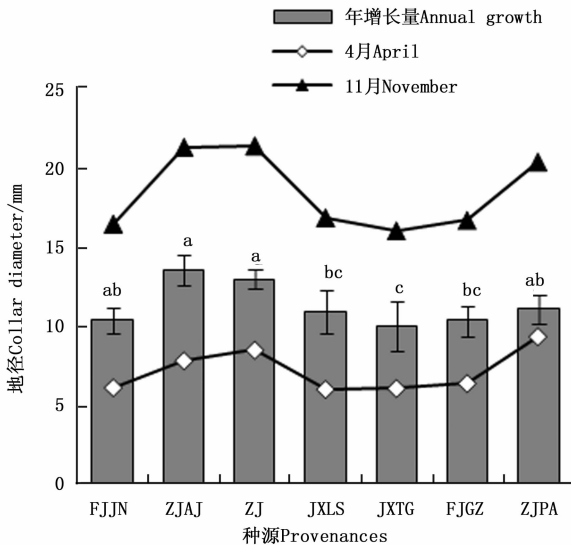


图3 1号样地内厚朴种源回归幼苗地径生长

Fig.3 The basal diameter growth of the reintroduction seedlings of *H. officinalis* provenances in No.1 habitats.

2.1.2 地径 由图3和图4可知, 厚朴幼苗地径生长在两个回归样地之间差异不大, 但同一回归样地内, 不同种源间地径生长存在显著差异( $P < 0.05$ ), 1号样地内地径年增长表现最优的是浙江安吉种源(13.49 mm), 表现最差的是江西铜鼓种源(9.93 mm), 两者相差1.36倍; 2号回归样地内, 地径年增长最大的是杂交幼苗(10.58 mm), 最小的为福建建宁种源(6.84 mm), 两者相差1.55倍。

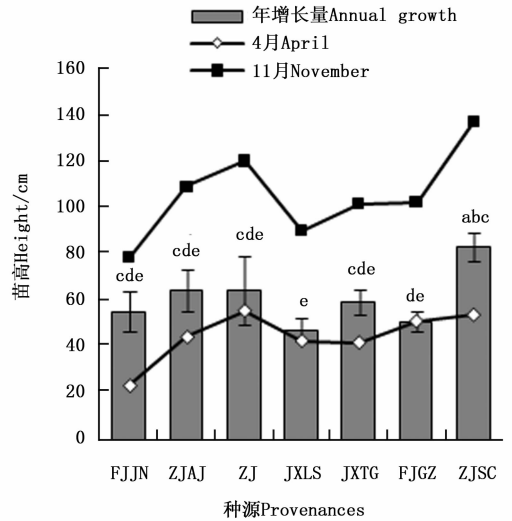


图2 2号样地内厚朴种源回归幼苗苗高生长  
Fig.2 The height growth of the reintroduction seedlings of *H. officinalis* provenances in No.2 habitats.

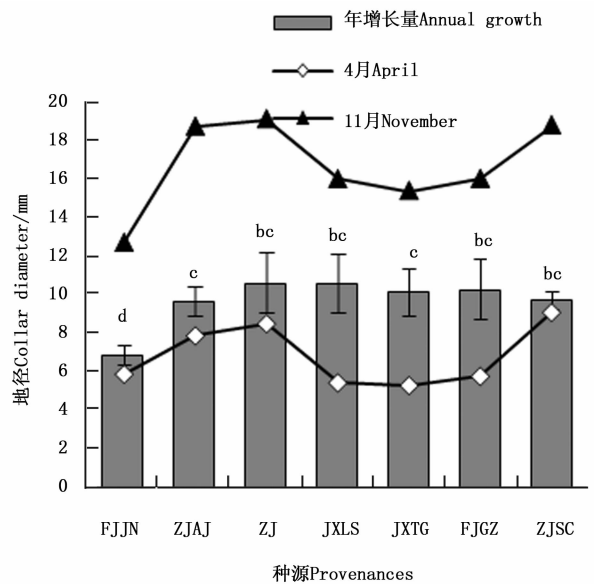


图4 2号样地内厚朴种源回归幼苗地径生长

Fig.4 The basal diameter growth of the reintroduction seedlings of *H. officinalis* provenances in No.2 habitats.

## 2.2 不同回归厚朴种源间幼苗适应性评价

2.2.1 方差分析 将两个回归样地内同一种源厚朴幼苗性状平均值进行方差分析,结果见表3。在相同条件下,除侧根数、叶柄长和比叶质量之外,其它性状均呈现显著或极显著差异,其中苗高、总生物

量、地上部分干质量、地下部分干质量和叶形指数表现出极显著差异( $P < 0.01$ ),地径、主根长、叶片数、叶脉对数、单株叶面积、叶片氮指数和叶绿素指数均呈现显著差异( $P < 0.05$ )。

表3 不同种源回归厚朴幼苗各性状的方差分析

Table 3 Variance analysis for traits of *H. officinalis* seedlings from different reintroduction provenances

性状 Trait	SS	df	MS	F	Sig
苗高 Height	20 301.210	7	2 900.173	3.893 **	0.002
地径 Callar diameter	235.818	7	33.688	2.373 *	0.034
总生物量 Biomass	13 254.070	7	1 893.438	5.518 **	0.002
地上部分干质量 Dry weight of under-ground part	4 334.328	7	619.333	7.325 **	0.001
地下部分干质量 Dry weight of above-ground part	7 876.389	7	1 125.198	6.174 **	0.001
侧根数 Number of lateral root	49.906	7	7.129	1.703	0.179
主根长 Main root length	1 705.86	7	243.694	2.809 *	0.041
叶片数 Number leaves	574.071	7	82.010	2.928 *	0.012
叶柄长 Petiole	18.602	7	2.657	2.324	0.058
叶脉对数 Vein logarithm	144.117	7	20.588	3.207 *	0.015
比叶质量 Leaf mass/leaf area ratio	164.845	7	23.549	1.810	0.132
叶形指数 Leaf index(L/W)	0.757	7	0.108	7.628 **	0.000
单株叶面积 Leaf area/plant	79 931 311	7	11 418 759	2.923 *	0.023
叶片氮指数 Chlorophyll index	161.974	7	23.139	2.743 *	0.030
叶绿素指数 Leaf nitrogen index	317.130	7	45.304	2.885 *	0.025

注: \* 表示显著差异达0.05水平; \*\* 表示显著差异达0.01水平。

Note: \* means significant differences at 0.05 level; \*\* means significant differences at 0.01 level.

2.2.2 主成分分析 为筛选适合野外回归的厚朴种源,根据方差分析的结果,选择差异显著的10个性状进行主成分分析,包括苗高、地径、总生物量、地上部分干质量、地下部分干质量、叶形指数、叶片数、单株叶面积、叶绿素指数和叶片氮指数。分析结果见表4,其中特征值大于1的主成分共3个,累积贡献率高达91.408%,说明此3个主成分能够反映厚朴幼苗各性状的绝大部分信息。其中第1主成分累积贡献率为55.313%,为主要综合因子,除叶片数、叶绿素指数和叶片氮指数与其相关性较弱外,其它7个性状均与其密切相关,苗高、地径、叶片数、单株叶面积以及生物量均与第1主成分呈正相关,即幼苗越高越粗,则生物量越大,说明厚朴幼苗生长性状与生产力之间存在着明显的线性相关。第2主成分中特征值最高的为叶片数,其次为叶绿素指数和叶片氮指数,第3主成分中特征值最高为叶形指数、叶片氮指数和叶绿素指数,说明第2、3主成分主要体现幼苗对光能的利用和营养的吸收能力。

根据主成分得分计算公式计算8个厚朴回归种源主成分得分值,其中 $F_1$ 为第1主成分得分值, $F_2$ 为第2主成分得分值, $F_3$ 为第3主成分得分值, $F$ 表示3个主成分得分值的平均值(表5),由得分排序

表4 不同种源间幼苗性状主成分分析结果

Table 4 The results of principal component analysis of *H. officinalis* seedlings traits from different reintroduction provenances

性状 Trait	主成分 Principal component		
	1	2	3
单株叶面积 Leaf area/plant	0.918	0.292	0.096
苗高 Height	0.899	0.378	0.051
地径 Callar diameter	0.918	-0.236	0.221
总生物量 Biomass	0.967	-0.150	0.178
地上部分干质量 Dry weight of under-ground part	0.818	-0.368	0.381
地下部分干质量 Dry weight of above-ground part	0.952	-0.042	-0.167
叶形指数 Leaf index(L/W)	-0.299	-0.520	0.668
叶片数 Number leaves	0.448	0.823	-0.237
叶片氮指数 Chlorophyll index	-0.226	0.702	0.527
叶绿素指数 Leaf nitrogen index	-0.434	0.622	0.543
特征值 Eigenvalue	5.531	2.271	1.339
累积贡献率 Accumulation ratio of contribution/%	55.313	78.02	91.408

可将8个回归种源分为两类,第1类 $F \geq 0$ ,包括浙江磐安、浙江遂昌、浙江安吉种源和杂交幼苗;第2类 $F \leq 0$ ,包括福建光泽、江西铜鼓、江西庐山和福建建宁种源。

表5 不同种源厚朴回归幼苗主成分得分值  
Table 5 Score value of comprehensive index of *H. officinalis* seedlings traits from different reintroduction provenances

种源 Provenances	F1	F2	F3	F	排序 Sequence
FJJN	-6.44	-1.97	-1.04	-4.15	8
ZJAJ	2.04	-3.91	-0.11	0.23	4
ZJ	3.55	-0.38	2.96	2.28	3
JXLS	-6.08	0.36	0.56	-3.21	7
JXTG	-3.13	0.54	-0.28	-1.65	6
FJGZ	-3.36	2.89	-0.14	-1.22	5
ZJPA	8.70	-0.35	-1.42	4.54	1
ZJSC	4.71	2.82	-0.53	3.18	2

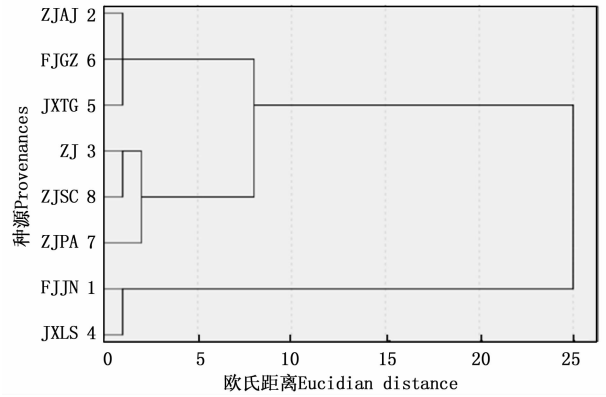


图5 8个回归厚朴种源的系统聚类  
Fig. 5 The cluster dendrogram of eight provenances of *H. officinalis*

根据主成分分析结果,在10个性状中选择苗高、地径、生物量和单株叶面积4个指标对8个厚朴回归种源进行系统聚类,应用欧氏距离类平均法聚类的结果(图5)与主成分分析结果类似,可将回归引种的8个厚朴种源分为3类,第1类为最适合回归种源,即浙江遂昌、浙江磐安两个本地种源以及杂交种子培育的杂交幼苗,第2类为适宜种源,包括江西铜鼓、福建光泽和浙江安吉种源,第3类为一般种源,包括福建建宁和江西庐山两个种源。

2.2.3 灰色关联分析 根据灰色关联分析法的原理,关联度大的数列与理想种数列最为接近,因此,

表6 回归厚朴幼苗适应性评价及其与理想种的关联度

Table 6 Adaptability evaluation and correlation degrees between ideal species and the reintroduction *H. officinalis* species

项目 Item	JN	AJ	ZJ	LS	TG	GZ	PA	SC	理想种 Ideal species	关联度均值 Mean of correlation degree
1号样地 No. 1	2.99	3.19	3.44	3.24	2.27	3.15	4.11	—	5.00	0.774 1
病虫害危害率 Pests and diseases rate	4.12	3.82	4.31	4.16	4.67	3.83	4.50	—	5.00	
存活率 Survival rate	3.63	4.49	4.92	3.17	3.87	4.31	4.62	—	5.00	
生长势 Growth condition	0.789 7	0.789 7	0.767 8	0.765 3	0.617 5	0.789 7	0.898 9	—	1.00	
关联度 Correlation degree										
2号样地 No. 2	3.68	3.72	4.12	3.81	3.71	3.79	—	3.90	5.00	0.815 4
病虫害危害率 Pests and diseases rate	4.46	4.17	4.50	4.25	4.83	4.33	—	4.17	5.00	
存活率 Survival rate	1.56	3.31	3.56	3.31	2.06	3.30	—	3.64	5.00	
生长势 Growth condition	0.603 2	0.879 1	0.870 7	0.869 9	0.698 2	0.861 8	—	0.924 4	1.00	
关联度 Correlation degree	0.696 4	0.835 4	0.819 3	0.817 6	0.657 9	0.825 8	0.898 9	0.924 4	1.00	0.794 7
关联度均值 Mean of correlation degree										
关联序 Correlation rank	7	3	5	6	8	4	2	1		

关联度数值越接近于1,则适应性越高。由表6中关联度排列可知,8个回归种源关联度由高到低依次是:浙江遂昌>浙江磐安>浙江安吉>福建光泽>杂交幼苗>江西庐山>福建建宁>江西铜鼓种源。总体厚朴回归幼苗关联度高达0.794 7,说明厚朴回归引种重新建立的种群已经获得了初步成功,其中1号回归样地内关联度均值为0.774 1,2号回归样地内关联度均值为0.815 4,说明厚朴幼苗在2号回归样地内生长适应性更强,即浙江磐安回归样地与浙江遂昌回归样地相比,浙江遂昌更适合厚朴种群回归重建。

### 3 讨论

濒危物种回归是一个漫长的过程,评价回归是否成功最基本的指标即回归的植物是否能在回归地内正常生长和发育,是否能产生具有生命力的种

子<sup>[20]</sup>。由于厚朴是乔木,生命周期长,3 a时间远未达到开花结果的发育阶段,因此,本研究通过厚朴回归幼苗苗期生长情况及适应性强弱来进行回归成功与否的初步评估。

通过对不同回归样地内厚朴种源幼苗生长动态

进行监测发现,厚朴幼苗苗高和地径生长情况良好,生长最差的福建建宁种源其苗高年增长量也高达78.43 cm,地径年增长量达到6.88 mm,此生长变化量与杨志玲等<sup>[21]</sup>对厚朴不同种源苗期生长情况研究结果相似,说明厚朴幼苗迁移到相同或相似生境后能够正常生长和发育。

环境(海拔、水分和光照等)和基因型对厚朴的苗高、地径等生长指标以及生物量指标都具有一定影响,厚朴野生种质资源长期适应种源原产地的生态环境产生地理变异<sup>[22-23]</sup>,因此,回归样地内不同种源厚朴幼苗其苗高、地径和生物量等生长情况均存在显著差异( $P < 0.05$ ),且同一种源厚朴幼苗在1号回归样地和2号回归样地内病虫害危害率、幼苗存活率和苗高地径等生长情况不同。

厚朴种源间存在着丰富的遗传变异<sup>[23]</sup>,且各同种源厚朴幼苗原生地生境存在差异,其原生地反应了植物类群及种类对生存条件的要求<sup>[24]</sup>,但不同种源厚朴其生态幅并不相同,因此对迁移地的环境适应能力不同,所表现出的生长情况存在差异。

本研究利用主成分分析和灰色关联分析的结果系统地反应了8个厚朴种源幼苗在2个样地内的回归适应性。厚朴幼苗的回归适应性与理想种的关联度均在0.6以上,其中适应性最高的浙江磐安种源与适应性最差的福建建宁种源与理想种的关联度相差0.321 2,即不同厚朴幼苗回归适应性存在较大差异。

主成分分析及系统聚类表明生长情况最好的为本地种源,其次是杂交幼苗,最后为异地迁移种源。灰色关联分析结果与之相似,适应性最好的为浙江遂昌(0.924 4)和浙江磐安(0.898 9)种源,其次是浙江安吉种源(0.835 4),说明选取回归材料时应尽量选择生长环境相同或相似的种源。回归幼苗平均关联度为0.794 7,说明此次厚朴野外回归幼苗野外适应性良好。而2号回归样地关联度(0.815 4)高于1号回归样地(0.774 1),即此次回归迁移的厚朴幼苗更适应于浙江遂昌回归样地的生长环境,在此回归地内适应性更强。

调查发现回归厚朴幼苗叶片病虫害情况较严重,后期可以适当增加人工管理,物种回归后原则上应该减少人为的干扰,但由于刚种植的幼苗生长势和竞争能力弱,可适当通过护理植物的方式提高植物克服各种限制和逆境的能力,从而实现回归<sup>[25-27]</sup>。

## 4 结论

厚朴不同种源、同一种源在不同回归样地内其适应性不同,各种源幼苗生长差异较大,8个厚朴回归种源关联度由高到低依次是:浙江遂昌 > 浙江磐安 > 浙江安吉 > 福建光泽 > 杂交幼苗 > 江西庐山 > 福建建宁 > 江西铜鼓种源。总体厚朴回归幼苗关联度高达0.794 7,其中1号回归样地内关联度均值为0.774 1,2号回归样地内关联度均值为0.815 4,回归种源和回归样地可能是影响厚朴回归保护的关键因子。厚朴野外回归幼苗总体长势良好,适应性较好。

厚朴回归试验获得了良好的开端,但濒危植物回归是一项科学性、持续时间很长的工程,后续课题组还将开展回归种群的分布格局、消长规律、繁殖机制等研究监测和生态恢复试验,直至厚朴在回归地正常开花结果,成功繁育下一代。且多种源的种苗会携带更多的遗传多样性,遗传多样性越高则对不同环境的适应性能力越强,后期需不断补植更多种源,从而增大回归成功的机会。

## 参考文献:

- [1] Xia N H, Liu Y H, Nootboom H P. Magnoliaceae [M] // Wu Z Y, Raven P H. Flora of China: Vol. 7. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2008: 64.
- [2] 斯金平, 张志松, 潘心平. 厚朴研究综述[J]. 浙江林业科技, 1994, 14(1): 51-54.
- [3] Tsai J R, Chong I W, Chen Y H, et al. Magnolol induces apoptosis via caspase-independent pathways in non-small cell lung cancer cells [J]. Archives of Pharmacal Research, 2014, 37(4): 548-557.
- [4] Hahn E R, Sakao K, Singh S V. Honokiol activates reactive oxygen species-mediated cytoprotective autophagy in human prostate cancer cells [J]. Prostate, 2014, 74(12): 1209-1221.
- [5] 傅立国. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [6] 郭承则, 马培珍, 郭大祝. 观赏兼药用的珍贵花木厚朴[J]. 中国花卉盆景, 2004, (10): 16-17.
- [7] Ren H, Zhang Q, Lu H, et al. Wild plant species with extremely small populations require conservation and reintroduction in China [J]. Ambio, 2012, 41(8): 913-917.
- [8] 汪越, 易慧琳, 邵玲, 等. 紫背天葵 (*Begonia fimbriatipula* Hance) 回归植株存活及叶片生物学特性研究[J]. 生态科学, 2017, 36(2): 32-41.
- [9] 任海. 植物园与植物回归[J]. 生物多样性, 2017, 25(9): 945-950.
- [10] Godefroid S, Piazza C, Rossi G, et al. How successful are plant species reintroductions? [J]. Biological Conservation, 2011, 144(2):

672 - 682.

- [11] Eojr G, Kaye T N. Reintroduction of rare and endangered plants: common factors, questions and approaches[J]. Australian Journal of Botany, 2007, 55(3):362 - 370.
- [12] 肖培根, 陈士林, 张本刚, 等. 中国药用植物种质资源迁地保护与利用[J]. 中国现代中药, 2010, 12(6):3 - 6.
- [13] Schemske D W, Husband B C, Ruckelshaus M H, et al. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants[J]. Ecology, 1994, 75(3):585 - 606.
- [14] Chen F Q, Xie Z Q, Xiong G M, et al. Reintroduction and population reconstruction of an endangered plant *Myricaria laxiflora* in the Three Gorges Reservoir area, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7):1811 - 1817.
- [15] 王 洁. 凹叶厚朴繁育系统研究及其濒危的生殖生物学原因分析[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [16] 麦 静. 厚朴杂交亲本及子代遗传多样性分析[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [17] Lauterbach D, Burkart M, Gemeinholzer B. Rapid genetic differentiation between ex situ and their in situ source populations: an example of the endangered *Silene otites* (Caryophyllaceae)[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2012, 168(1):64 - 75.
- [18] 李秀玲, 王晓国, 李春牛, 等. 基于灰色关联分析方法评价 13 种野生兜兰的迁地保护适应性[J]. 植物科学学报, 2015, 33(3):326 - 335.
- [19] 邓聚龙. 灰色系统基本方法: 汉英对照[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [20] 李正文, 陈丽丽, 李志刚, 等. 德保苏铁回归后几个生理指标的比较研究[J]. 广西植物, 2012, 32(2):243 - 247.
- [21] 杨志玲, 杨 旭, 谭梓峰, 等. 厚朴不同种源苗期生长模型的拟合[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(4):60 - 68.
- [22] 于华会, 杨志玲, 谭梓峰, 等. 厚朴苗期性状及种源选择初步研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(2):189 - 195.
- [23] 舒 泉, 杨志玲, 杨 旭, 等. 不同种源厚朴苗期性状变异及主成分分析[J]. 植物科学学报, 2010, 28(5):623 - 630.
- [24] 冯正波, 庄 平, 张 超, 等. 野生杜鹃花迁地保护适应性评价[J]. 植物分类与资源学报, 2004, 26(5):497 - 506.
- [25] Hai R, Zeng S, Li L, et al. Reintroduction of *Tigridiopalma magnifica*, a rare and critically endangered herb endemic to China[J]. Oryx, 2012, 46(3):391 - 398.
- [26] Ren H, Yang L, Liu N. Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China[J]. Progress in Natural Science: Materials International, 2008, 18(2):137 - 142.
- [27] Hai R, Ma G, Zhang Q, et al. Moss is a key nurse plant for reintroduction of the endangered herb, *Primulina tabacum* Hance[J]. Plant Ecology, 2010, 209(2):313 - 320.

## Adaptability Evaluation of Wild *Houpoëa officinalis* Seedling in the Process of Reintroduction

TAN Mei, YANG Zhi-ling, YANG Xu, CHENG Xiao-yan

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** [Objective] In order to provide evidence for the protection of *Houpoëa officinalis* wild resources, this study evaluated the adaptability of 8 *H. officinalis* provenances at two reintroduction sample plots which located at Pan'an and Suichang of Zhejiang Province). [Method] Botanical characteristics including plant morphology and growth situation were observed and principal component analysis and gray-correlation analysis were used to evaluate the seedlings adaptability of reintroduction. [Result] (1) The correlation coefficients of *H. officinalis* seedling in the process of reintroduction to the ideal species was 0.794 7; (2) The correlation coefficients of the two reintroduction sample plots to the ideal species was 0.774 1 (Pan'an) and 0.815 4 (Suichang); (3) The correlation coefficient of 8 *H. officinalis* provenances with the ideal species from high to low were Suichang provenance from Zhejiang Province, Pan'an provenance from Zhejiang Province, Anji provenance from Zhejiang Province, Guangze provenance from Fujian Province, hybrid seedling, Lushan provenance from Jiangxi Province, Jianning province from Fujian Province and Tonggu provenance from Jiangxi Province. [Conclusion] The *H. officinalis* seedling in the process of reintroduction has good growth and good adaptability. The adaptability differed in different provenances and different habitats, the origin population and destination area for reintroduction may be the main factors affecting reintroduction.

**Keywords:** *Houpoëa officinalis*; reintroduction; seedling trait; adaptability