

三峡濒危植物疏花水柏枝的回归引种和种群重建

陈芳清^{1,2}, 谢宗强^{*·1}, 熊高明¹, 刘彦明³, 杨会英³

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院研究生院; 3. 河北政法职业学院园林系)

摘要:疏花水柏枝分布于三峡库区原海拔 70~155m 的消落带, 三峡工程修建后它将丧失其全部生境而成为濒危植物。实验结果显示其种子在土壤含水量大于 10% 以上时开始萌发, 以土壤含水量达到饱和状况时萌发最好。种子萌发与定居阶段对土壤水分条件的严格要求使得疏花水柏枝分布区十分狭小。回归引种和种群重建是拯救该物种的主要手段。三峡工程修建后库区内新的消落带将形成夏旱冬淹的水节律, 完全不同于库区原有消落带所具有的冬旱夏淹的水节律, 不适于作为疏花水柏枝种群的迁移地。相比之下库区淹没区以上各支流消落带的生态环境与疏花水柏枝原有生境较为接近, 适于作其新的生境。种群遗传多样性、年龄结构、分布格局、繁殖与扩展等生物学特性是种群持续发展的基础, 文章以此为依据, 对疏花水柏枝种群重建与管理中的相关问题进行了分析讨论。认为疏花水柏枝种群恢复与重建中目前所面临的主要问题是增强被隔离的种群间的基因交流、促进种群的种子扩散与萌发、协调新建种群与当地物种的关系、营造有利于新建种群定居与生长的生态环境。重建种群的管理应结合疏花水柏枝的生长发育节律和移栽地的生态环境条件来开展, 要有效地监控种群的生长发育动态, 合理地在隔离种群间相互引种, 适时地进行水分管理, 并对周围植被适度控制。

关键词:濒危植物; 回归引种; 种群重建; 疏花水柏枝

文章编号:1000-0933(2005)07-1813-07 **中图分类号:**Q948 **文献标识码:**A

Reintroduction and population reconstruction of an endangered plant *Myricaria laxiflora* in the Three Gorges Reservoir area, China

CHEN Fang-Qing^{1,2}, XIE Zong-Qiang^{*·1}, XIONG Gao-Ming¹, LIU Yan-Ming³, YANG Hui-Ying³ (1. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Hebei Professional College of Political Sciences and Law, Shijiazhuang 050061, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1813~1817.

Abstract: *Myricaria laxiflora* occurs in the flood zone from 70 to 155 m above sea level along the Yangtze River in the Three Gorges Reservoir area. Its natural distributional range is very narrow and restricted. The species lost almost all of its habitats and became endangered when the water level of the Three Gorges Reservoir was raised to 140 m in June 2003 as a result of the construction of the Three Gorges Dam for hydro-electricity generation. Therefore, the Three Gorge Project Construction Committee of the State Council funded a program to save *Myricaria laxiflora* by artificially establishing five populations of the species in four branches of the Yangtze River in the Three Gorges area in 2002. The transplanted populations established successfully. We surveyed these populations every two months and conducted ecological experiments in order to understand the factors limiting the distribution of *Myricaria laxiflora*, and to evaluate the reintroduction sites and arrangement, ecological environment amelioration, and population transplantation and management of *Myricaria laxiflora*. Result showed that seed of

基金项目:中国科学院知识创新资助项目(KSCZ2-SW-109); 三峡建设委员会资助项目(SX2002-006)

收稿日期:2004-06-28; **修订日期:**2005-05-10

作者简介:陈芳清(1963~), 男, 江西清江人, 副教授, 主要从事生物多样性保护与退化生态系统恢复。E-mail: fangqing@ibcas.ac.cn

*** 通讯作者** Author for correspondence. E-mail: xie@ibcas.ac.cn

致谢:三峡大学生态与环境科学研究中心的潘家荣老师帮助分析土壤样品, 特此致谢

Foundation item: CAS' Knowledge Innovative Project (No. KSCX2-SW-109) and the State Council Three Gorges Construction Committee Project (No. SX2002-006)

Received date: 2004-06-28; **Accepted date:** 2005-05-10

Biography: CHEN Fang-Qing, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in biodiversity science and restoration ecology. E-mail: fangqing@ibcas.ac.cn

Myricaria laxifloram could not germinate when water content was below 10% for sandy soil and 15% for sandy loam soil. Optimal seed germination occurred on the soil with saturated water. The restricted distribution of the species in flood zone along the river is therefore most likely due to the limitation of water content of upland soil during seed spread and germination. All natural habitats of this species would be submerged when the water level is raised to 175 m as planned. When the dam is completely finished, which makes in situ conservation in the future flood zone impossible. Reconstruction of the populations ex situ would be the only approach to preserve the species. The flood zone above 175m in branches of the Yangtze River, which has the similar ecological landscape and environment to the original habitats of *Myricaria laxiflora*, might be the suitable sites for population reconstruction even though the community compositions and structures there are different. The populations of *Myricaria laxifloram* are a metapopulation. Three to 9 year-old plants from different populations were transplanted to reconstruct artificial populations in order to conserve genetic biodiversity and maintain population viability. The sizes of all reconstructed populations were bigger than 1000 considering the seedling loss from flood and drought. Vegetation on the sites for population introduction were partially cut and cleared before transplantation took place in order to avoid species competition. Seedlings were planted on the middle flood zone to match seedling requirements for water and avoid flood washing. The reconstructed populations were irrigated after transplantation and in the dry seasons to facilitate seedling establishment and growth. Artificially exchanging germplasm among the reintroduced populations in different branch rivers and the establishment of reproduction system by establishing several populations along a river branch are necessary in future to resolve the problem of population isolation and facilitate genetic exchanges.

Key words: population; endangered species; restoration and reconstruction; *Myricaria laxiflora*; the Three Gorges

植物物种灭绝或处于受威胁地位的原因有两大类,一是内部因素,如生殖繁育能力的退化与障碍、物种的生活力与竞争能力下降等。另一类是外部因素,如自然灾害和人类活动所导致的生境破碎和丧失以及生态环境急剧变化等。对于因生境地丧失或遭破坏而致濒的物种来说,种群的迁移与重建是拯救该物种的极为有效的方法^[1~3]。种群的迁移与重建有两种方式:迁地保护和回归引种^[4]。由于构建的种群规模较小且数量有限,迁地保护往往导致居群遗传多样性的丧失,同时还会因移栽点与原生境的差异导致种群丧失自我维持与扩增能力,使种群近亲繁殖机会和灭绝的概率增加。相比之下回归引种具有重建种群数量多、规模大的特点,因此能有效保护物种的遗传多样性,并有望通过生态系统的自我维持能力形成可持续的种群。由于越来越多的物种正在因生境的退化与丧失而成为濒危物种,回归引种与种群重建的理论与方法正成为保护生物学和恢复生态学的重要研究内容^[5,6]。

三峡工程对当地生态环境的影响是深刻的,对当地的生物多样性的影响也是巨大的。库区共有 3014 种高等植物,其中 550 种植物会因为工程的建设受到淹没影响,4 种地方特有植物的野生种群遭到严重淹没^[7]。疏花水柏枝(*Myricaria laxiflora* Franch.)是唯一一种因三峡工程建设而全部丧失其生境的植物^[8,9]。本文以三峡工程环境保护补偿经费项目“三峡水库 175 m 淹没线以下疏花水柏枝和荷叶铁线蕨抢救性保护工程”为契机,以疏花水柏枝的回归引种与种群重建为基础,对濒危植物种群恢复与重建的生态学原理与方法开展了研究与探讨,希望能对濒危植物保护的研究提供参考。

1 疏花水柏枝的分布与受威胁的原因

1.1 疏花水柏枝自然分布概况与生境的丧失

疏花水柏枝是柃柳科(Tamaricaceae)水柏枝属(*Myricaria*)的一种多年生灌木植物。该物种分布于湖北省宜昌县至重庆市巴南区 12 个县级区域的长江干流消落带,共 31 个居群约有 9 万株左右^[10],在北纬 29°41'43"~31°03'57",东经 106°58'38"~110°55'55",海拔 70~155m 的长江主干流形成一个带状的分布区。其中以分布区的东西两头也即湖北省的秭归县和重庆市的巴南区与万州区的分布数量最多,形成两个分布中心。三峡工程兴建后库区的最高水位将达到 175m,并在海拔 145~175m 的库区两侧形成新的消落带。疏花水柏枝将因此而丧失所有的生境成为濒危物种。三峡工程 2003 年蓄水并首次发电后水位已达到 139m,目前疏花水柏枝的生境已基本被淹没。

1.2 疏花水柏枝种群分布范围的局限性

大多数濒危物种都具有分布区狭窄的特点。对这些物种来说,由于分布范围小,一旦物种所分布的生境地发生退化,物种的种群就面临着衰退与灭绝的危机。疏花水柏枝濒危的直接原因是因三峡工程的修建而丧失了其所所有的生境地,但间接原因则是该物种分布区的狭窄和生境地的特异性所导致的。

疏花水柏枝的分布范围极为狭窄,以水流比较缓的平坦沙滩地与河湾处为主要生长地,呈星散状和片状分布。野外调查表明疏花水柏枝以水分较为充足的消落带的中部和下部为主要生长地,在消落带的上部则难以见到其分布。萌发实验表明(图

1),在土壤含水量处于饱和的状态下,疏花水柏枝的种子萌发率达到最高,水分过高则种子会因为被水淹没缺乏氧气萌受到影响,而水分含量较低(砂地为10%)的条件下,种子便难以萌发。疏花水柏枝的种子传播时通过冠毛粘附在土壤上,土壤表面的水分状况对种子的固着与萌发也十分重要。三峡地区秋、冬季的雨水量较少,而这时正值疏花水柏枝的种子萌发与幼苗定居的时期。消落带以上土壤的含水量一般都低于10%,疏花水柏枝的种子难以在这种土壤水分条件下萌发和定居。这就导致该物种自然条件下只能分布于消落带上。

2 疏花水柏枝种群的迁移与重建

2.1 移栽地点的布局及其生态环境评价

2.1.1 移栽地点的选择与布局 恢复点的选择与布局是濒危物种种群恢复与重建的基础。在进行濒危物种的种群野外重建地的选择与布局时,应充分考虑下列因素对种群重建的影响^[11]:

- (1)生境地的类型与景观格局;
- (2)种群重建地生境与原生境地植物群落组成的差异性;
- (3)重建地物理条件与原生境地的差异及种群对新环境的适应性;
- (4)恢复点的人口与土地的利用状况;
- (5)恢复地的土壤化学状况。

疏花水柏枝种群是一个集合种群,长江河流是其种子远距离传播和基因交流的通道,河流的水位消长满足了种群生长发育的需要。应选择与其原有生境相近的河流景观格局和生态环境作为种群重建地。三峡库区新的消落带冬季被淹没,夏季露出,与原有消落带的水分节律完全相反,不适宜作为疏花水柏枝的移栽地。相比之下库区淹没线以上各支流的景观格局和生境与其原分布地接近,其河滩地是比较好的移栽地。

种群重建时种群之间的空间配置与布局(景观格局)对种群的稳定性与可持续性有着重要影响^[12,13]。对于集合种群应该建立由小生境片段组成的网络来保护该物种,小生境片段数一般不能少于10个,且各片段彼此之间的连结性须较好^[14]。目前疏花水柏枝的种群回归引种重建点有5个(图2),重建点的数目低于复合种群重建的数目要求。几个回归引种重建点分别位于香溪河、大宁河、白水河与泗溪等4条长江支流的尾端与三峡大坝的下侧,新建种群间距离过大,相互之间也难以通过长江河流来进行基因交流。因此所建种群怎样在保持稳定性的同时促进种群间基因的流动是未来种群管理的关键问题。一个可参考的做法是每隔一段时间进行种群间的相互引入,促进居群间的基因交流。而选择长江的一条支流的上中下游重建多个新的种群,是一种既能保持种群的相对稳定性,又构建了新的基因自然交流体系的值得尝试的方法。

2.1.2 迁移点生态环境的适宜性分析 表1表明疏花水柏枝的种群重建地与其原分布地的年均温度、最高温度、最低温度、年降雨量等气候指标比较接近,移栽地的气候条件能满足疏花水柏枝生长发育的需要。从土壤化学成分上看,移栽地与原生长地的河滩地的主要化学成分比较接近,都具有养分含量低的特点,显示疏花水柏枝是一种耐贫瘠的植物。因此移栽地的土壤化学成分不会限制疏花水柏枝的生长发育。但是在选择具体的移栽地点时,河滩地的洪水淹没的范围、时间、流速、水深等仍是值得重点考虑的地方,一般以水流比较缓慢的河段的滩地为宜。

表2为疏花水柏枝种群重建地与其原分布地几种主要植物群落类型的组成与结构比较。由于重建地和原生地均为河滩地,它们的植被组成都比较简单,多为单优势种群落,且盖度较低,群落灌木层的物种十分单一,数量也较少,许多地段几乎没有植被。两种植被类型虽然在群落的组成和结构有一定差异,但仍有许多共有种。在原生地和重建地的大多数植物群落类型中,一般不存在疏花水柏枝与其它物种间的显著竞争关系。但是兴山移栽地的马棘群落和芭茅群落的部分地段马棘和芭茅的数量较多,盖度也较大,疏花水柏枝是否会和它们形成种间竞争值得长期观察。

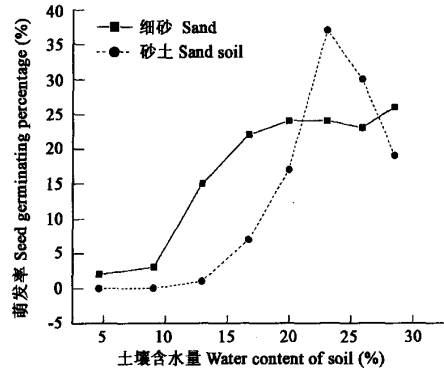


图1 土壤含水量对疏花水柏枝种子萌发的影响

Fig. 1 Effect of soil water content on seed germination of *Myricaria laxiflora*



图2 疏花水柏枝种群回归引种与种群重建地的布局

Fig. 2 The distribution of sites for *Myricaria laxiflora* population reintroduction

表 1 疏花水柏枝迁移地与原生地的生态环境评价

Table 1 The evaluation on ecological environment of reconstruction sites and original habitat of *Myricaria laxiflora*

地点 Sites		年均温度 Average Temperature (℃)	最高温度 Highest Temperature (℃)	降雨量 Rainfall (mm)	最低温度 Lowest temperature (℃)	土壤化学特征 Chemical characters of soil				
						酸碱度 pH	有机质	速效氮	速效磷	速效钾
							Organic material (%)	Effective nitrogen (×10 ⁻⁶)	Effective phosphorus (×10 ⁻⁶)	Effective kalium (×10 ⁻⁶)
原分布地	秭归 Zigui	18.3	42.0	1150	-8.9	6.80	0.18	9.0	6.9	23.6
Original habitats	巴东 Badong	17.4	41.4	1181	-5.3	6.74	0.06	3.3	7.5	15.3
重建地 Habitats for reintroduction	巫溪 Wuxi	17.9	40.4	1038	-7.3	6.91	0.07	29.0	6.4	16.0
	兴山 Xingshan	15.3	42.1	1200	-9.3	6.60	0.54	44.7	9.9	17.7

表 2 疏花水柏枝原生地和移栽地的几种典型植物群落

Table 2 The typical communities on original habitats and reconstruction habitats for *Myricaria laxiflora*

群落类型 Communities		盖度 Coverage(%)			伴生种 Company species	
		灌木层 Shrubby layer	草本层 Herbaceous layer	总体 Total	灌木层 Shrubby layer	草本层 Herbaceous layer
原分布地 Original habitats	<i>Myricaria laxiflora</i> + <i>Distylium chinese</i>	15~40	8~70	20~80	<i>Distylium Chinese</i>	<i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Gnaphalium affine</i> ; <i>Erigerron annuus</i> ; <i>Miscanthus sinenses</i>
	<i>Myricaria laxiflora</i> + <i>Salix variegata</i>	10~35	5~80	10~90	<i>Salix variegata</i>	<i>Equisetum arvense</i> ; <i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Erigerron annuus</i> ; <i>Polypogen fugax</i> ;
	<i>Myricaria laxiflora</i>	10~35	5~40	10~50	<i>Distylium chinese</i>	<i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Erigerron annuus</i> ; <i>Polygonum siebodii</i> ; <i>Artemisia caruifolia</i>
	<i>Myricaria laxiflora</i> + <i>Rosa cymosa</i>	8~20	10~50	10~60	<i>Rosa cymosa</i>	<i>Zoysia japonica</i> ; <i>Arundinella hirta</i> ; <i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Carex thomsonii</i>
重建地 Habitats for reintroduction	<i>Miscanthus sinenses</i>		20~40	20~40		<i>Erigerron annuus</i> ; <i>Veronica didyma</i> ; <i>Bidens pilosa</i> ; <i>Equisetum arvense</i> ;
	<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	30~60	10~30	35~70	<i>Indigofera pseudotinctoria</i>	<i>Cirsium fargesii</i> ; <i>Erigerron annuus</i> ; <i>Veronica didyma</i> ; <i>Bidens pilosa</i> ;
	<i>Carex thomsonii</i>		10~40	10~40		<i>Equisetum arvense</i> ; <i>Setaria viridis</i> ; <i>Veronica didyma</i> ;

2.2 移栽地生态环境的优化

2.2.1 生长地的整治 物种对生态环境的退化十分敏感,周围景观的复合性比景观内部的特征和种群基因特征在决定种群的存活上发挥更大的作用^[15]。长江各支流的每年洪水的消落速度比长江干流的速度更快,消落幅度更大,流速也更快。为了减少洪水对种群定居的影响,应对新的生地地进行适当改造,如在迎水面用大的卵石护坡和地形的改造等。

2.2.2 当地物种的控制 种群重建的长期目标是移栽种群能与周围物种一起形成和谐稳定的群落。为了减少当地物种在初期对引入种苗定居的干扰,促进种苗的生长,在移栽地上需通过火烧或收割把其地上部分除掉,以控制与疏花水柏枝生态位相近的一些物种的生长。

2.3 种群构建中的种群生态学原理与应用

2.3.1 种群的遗传多样性 通常情况下植物种群内的遗传分化程度较低,一般低于 5%,但一些物种种群内的分化也可达 10%左右^[12]。种群内的分化多是微生境异质性所致。李作洲^[16]等报道疏花水柏枝具有较高水平的遗传多样性,杂合基因型个体较多。其遗传变异主要发生于居群内,但居群间也存在一定的遗传分化。长江河流的隔离作用,促进了各种群间的遗传分化。为了保护好疏花水柏枝的遗传多样性,种群重建时应尽可能多地从不同自然种群以及同一居群的不同位置采集种苗来构建种群。

2.3.2 最小种群 最小种群关系到种群的稳定性,也是进行种群重建时决定种群规模的重要基础^[17~19],植物繁殖与植物种群的规模呈正相关^[15]。小种群对濒危植物种群存活的影响主要是通过近交和遗传漂变起作用的。近交和遗传漂变都会降低种群的杂合度,进而影响种群的活力。小种群产生的种子数量(每个花序)比大种群少,种子的萌发率低,幼苗的死亡率高^[21]。

Franklin^[22]认为植物短期存活(50a)的种群的有效种群大小不低于 50 个个体,长期(1000a)存活的种群有效群体大小应该是 500。虽然对此的争论较多,但仍是一个值得参考的建议。

疏花水柏枝居群内的遗传多样性高,杂合基因型个体较多,因此近交极易导致种群退化。实地研究表明不同生态环境下疏花水柏枝种群处于不同的稳定性状态,要维持种群的稳定性,其规模也应该不一样。由于移栽地的洪水与急流常常冲走种苗,每年的干旱也会导致部分种苗死亡,给新建种群带来极大危害。因此所建种群的规模要远远大于最小种群。我们所构建的几个种群的规模都大于 1000 株(表 3)。

表 3 新建疏花水柏枝种群的组成与结构特点

Table 3 Composition and Structure of the reconstructed *Myricaria laxiflora* populations

地点 Sites	面积 Area(m ²)	种群规模 Size	密度 Density (株/m ²)	种群结构(按径级分)Structure of population (stem)(%)			
				<30(mm)	30~50(mm)	50~70(mm)	>70(mm)
兴山香溪河 Xiang rive of Xingshan	2400	1271	0.53	0	32.8	48.2	19.0
巫溪大宁河 Daning riveof Wuxi	1300	2018	1.55	9.8	51.0	35.3	3.9
丰都白水河 Baishui river of Fengdu	1200	1044	0.87	10.0	32.5	30.0	27.5

2.3.3 种群的结构 种群的年龄结构关系到种群的稳定性,重建种群的最理想年龄结构应该是自然种群中稳定性强的种群的年龄结构。考虑到新建种群需要一种向外扩张的能力,选择一种具有较强活力的种群年龄结构是十分必要的。疏花水柏枝植株 3 龄以前一般不开花结果,20 龄以后开花结实率急剧下降,自然种群中年龄的分布高峰出现在 1~11a。考虑到移栽对植株的影响以及为了提高迁移植株的成活率和保持其扩张能力,用于重建种群的植株的年龄以 4~9a 为主。疏花水柏枝的基径与年龄间存在显著相关性^①。本研究以基径为依据,选择不同年龄段的种苗构建种群。

2.3.4 种群与其它物种的相互关系 濒危植物种群的异地重建对于当地植物而言也是一个物种引入的过程,必须协调好重建种群与当地物种间的相互关系,促进新建种群的稳定与可持续性。但也应该客观评价引入物种对当地植被与生态系统的作用,引入初期这种作用不明显,对于物种间的相互关系应该长期监测。

2.3.5 种群的分布格局 生境的异质性有利于种群异质性的保存与发展,也有利于种群的存活。在种群构建时应该尽可能利用空间异质性来构建种群的空间结构。疏花水柏枝自然种群沿消落带水位梯度出现少-多-少的分布格局,这是种群在空间分布上对空间异质性的一种适应。因此疏花水柏枝的重建种群应沿消落带作梯度分布,且以消落带的中部为主要栽培地。但考虑到新建种群在初期阶段根系处于发育时期,对洪水的抵抗力较弱,种群构建时还是以受洪水影响较小的消落带的中上部为主要移栽地。

2.4 种群恢复的动态管理

2.4.1 种群生长发育的监测 濒危物种重建种群的监测主要是通过观测一系列与种群生长发育密切相关的指标来进行的,对于关系到种群稳定发展与演替的生活史阶段应该予以特别的关注。

疏花水柏枝种群监测的初期监测指标:个体存活数、植株枝条数量、开花率、结实率、幼苗数、株高、基径等。

长期监测指标:周围植物种类进入种群新建地的数量及其生长、初期群落的结构与组成的变化、土壤化学的变化、土壤动物与土壤微生物种类与数量的变化等。

疏花水柏枝迁移地大的生态背景与原生境地无大的差异,温度、光照和土壤等生态环境条件都能满足其个体生长发育的需要。其种群在迁移地能否稳定发展的关键阶段是种子能否在迁移点萌发、幼苗能否定居。因此野外种群的监测的重点是与种群的增长密切相关的植物的开花率、种子的结实率、种子的传播范围、幼苗个体数及其存活状况。

目前回归引种所进行的种群构建已获初步成功。从兴山和巫溪两个移栽种群的生长来看,成活率的差异不大。由于兴山的种群构建时所用苗木较大,而巫溪种群所用的苗木小一些,因此兴山的种群萌发的 1 级枝条的数量多,平均长度短,而巫溪种群萌发的 1 级枝数少一些,枝条生长快一些(表 4)。丰都白水河水库存活率较低是因为种苗种下去不久便因水库水位上升所淹没,但其后期种群的生长要好于其它两个种群,因为其它两个种群为了防洪水的冲刷都种在消落带的上部,其生长受缺水的胁迫,而白水河水库的土壤粘性土,持水能力强,能较好地满足疏花水柏枝生长的需要。

2.4.2 种群管理 在疏花水柏枝整个生活史阶段,影响和限制其种群生长发育与种群扩增的关键环境因素是土壤的水分条件。新的生境地都选择地势较高的位置,同时用大卵石压苗和围苗以减少大的洪水对它初期的定居的影响。洪水过后应及时补苗、扶苗。由于移栽后疏花水柏枝幼苗的根系需要一定的时间才能发育好,因此移栽初期必须适时灌溉以促进根系发育,秋初还

① 熊高明,1997.疏花水柏枝种群生态学及繁殖研究.硕士研究生论文,39~55

要对移栽地其它植物进行收割,以促进移栽种苗的生长与发育。

表 4 新建疏花水柏枝种群的定居于初步生长状况

Table 4 Growth and establishment of reconstructed *Myricaria laxiflora* populations

地点 Sites	生境 Habitats	成活率 Surviving Percentage (%)	平均 1 级枝数 Average Number of first grade branch	1 级枝平均长度 Average Length of first grade branch (cm)	基径 Stem (mm)	平均高度 Average height(cm)
兴山香溪河 Xiang river of Xingshan	消落带 Floodplain	96.62	5.0	8.1	58.1	18.3
巫溪大宁河 Daning river of Wuxi	消落带 Floodplain	95.64	3.8	13.0	45.8	21.3
丰都白水河 Baishui river of Fengdu	消落带 Floodplain	51.27	5.2	16.0	71.3	29.5
丰都世坪林场 Shiping forestry farm	坡地 Upland	89.99	6.7	12.9	63.0	38.8

3 小结

濒危物种的回归引种与种群重建是一个系统性的工程,它需要在充分了解物种的生长发育特性与濒危机理的基础上,以群落和生态系统为背景,以濒危植物的生物学与生态学特征及濒危机制为依据,选择、改造移栽地的生态环境,运用生态学原理与技术来构建新的能稳定发展的种群^[22~24]。Montalvo^[6]提出了进行种群恢复中值得研究的几个内容:(1)个体数量与基因变化对种群克隆、定居、生长和进化潜力的影响;(2)适应性和生活史在恢复种群演替中的作用;(3)景观要素的空间排列对破碎种群动态和种群过程的影响;(4)基因流、基因漂变和选择对种群生存力的影响;(5)种间作用对种群动态和群落发展的影响。Fahrig^[25]认为 4 个因素决定了种群灭绝的开端:生物的繁殖速度、生物从其它生境的迁移速率、生境的破碎程度、景观复合程度,其中繁殖速率对种群的生存具有最大的影响。濒危物种的保护最优先和重要的是生境的保护与恢复,在保护的策略上应考虑到景观的复合性。物种迁移既是为物种保护提供了一个机会,但同时也带来了危机。例如如何促进迁移种群的成活与稳定,如何防止迁移种群的快速分化等。而迁移种群对当地生态系统的影响也值得客观地分析与评价。

在疏花水柏枝种群的重建中,首先被予以重视的是种群重建地的生态环境,它既包含移栽地的气候条件、土壤条件和洪水节律,也包含移栽地的生态景观背景、生态系统的组成与结构。从目前的情况来看,移栽地的布局满足了保护种群遗传多样性所需的种群隔离的要求,但却断绝了种群间基因自然交流的通道。未来可以采取两种方式予以解决。一是在各移栽地之间进行种质交流,另一种方法是在各支流建立多个移栽地,通过从上游到下游的种子传播,建立种群的繁殖系统。种群构建时应该考虑到遗传多样性,各移栽点应分别从不同的地点采集移栽材料,且以生长旺盛、繁殖力强、遗传性状稳定的 3~10a 植株为主。疏花水柏枝具有耐洪水冲刷、沙土掩埋和渍涝的生态习性和营养生长快、花期长、种子产量高的生物学特性^[9]。但在种群的回归引种和重建仍面临着一个难以调和的矛盾。如果迁移种群种植在消落带的低水位则种苗初期难以抵抗每年的洪水,存活率会大为降低,而如果种植在高水位则种苗在枯水季节会受到干旱的影响,死亡率会增加。合理的种群空间布局与有效的种群管理,如在干旱季节浇水、夏季与秋初收割周围的植物等,无疑是解决这个问题的有效途径。

References:

[1] Conant S. Saving endangered species by translocation. *Bio. Science*, 1998, **38**:254~257.

[2] Griffith B, Scott J M, carpenter J W, *et al.* Translocation as a species conservation tool: Status and strategy. *Science*, 1989, **245**:477~480.

[3] Pavlik B M, Nickrent D L and Howald A M. The recovery of endangered plant 1. Creating a new population of *Amsinckia grandiflora*. *Conservation Biology*, 1993, **7**:510~526.

[4] Chen L Z, Ma K P. *Biodiversity science: Theory and application*. Shanghai:Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2001. 249~290.

[5] Montalvo A M and William S L, Rice K L, *et al.* Restoration biology: A population biology perspective. *Restoration Ecology*, 1997, **5**:277~290.

[6] Young T P. Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*, 2000, **92**:73~83.

[7] Changjiang Water Resource Commission. *The effects of Three Gorges Project on ecological environment*. Hubei Science and Technology Press, Wuhan, 1997. 54~75.

[8] Zhang Y P, Zhang Y J. Research on the taxonomy of genus *Myricaria* Desv. *Bulletin of Botanical Research*, 1984, **4**(2): 67~80.

[9] Wu J Q, Zao Z E, Jin Y X, *et al.* Investigation and study on the endemic plant *Myricaria laxiflora* in the Three Gorges Reservoir area. *Journal of Wuhan Botanic Research*, 1998, **16**(2):111~116.

[10] Wang Y, Wu J Q, Tao Y, *et al.* Natural distribution and ex situ conservation of endemic species *Myricaria laxiflora* in water-level-

- fluctuation zone within Three-Gorges reservoir area of Changjiang River. *Journal of Wuhan Botanic Research*, 2003, **21**(5):415~422.
- [11] Allen W H. Reintroduction of endangered plants. *Bioscience*, 1993, **14**(2): 65~68.
- [12] Chen X Y. Population genetics conservations for ecological resoration. *Resource and Environment in the Yangze Basin*, 2000, **9**(3):313~319.
- [13] Hans J, Fabienne V R and Rein B, *et al.* Effects of agriculture land use and fragmentation on genetics, demography and population persistence of the rare *Primula vulgaris*, and implications for conservation. *Belgiam Journal of Botany*, 2003, **136**:5~22.
- [14] Zhang D Y, Lei G C. Metapopulation dynamics: theory and application. *Chinese Biodiversity*, 1999, **7**(2):81~90.
- [15] Hans J, Rein B and Martin H. Patch occupancy, population size and reproductive success of a forest herb (*Primula elatior*) in a fragmented landscape. *Oecologia*, 2002, **130**(4):617~625.
- [16] Li Z Z, Wang C H, Xu T Q, *et al.* Conservation genetics of the endemic species *Myricaria laxiflora* in the Three Gorges reservoir area, Hubei. *Biodiversity Science*, 2003, **11**(2):109~117.
- [17] Hooftman D A P and Diemer M. Effects of small habitats size and isolation on the population structure of common wetland species. *Plant Biology*, 2002, **4**(6):720~728.
- [18] Shaffer M L. Minimum population sizes for conservation. *Bio. Science*, 1981, **31**:131~134.
- [19] Nunney L and Elam D R. Estimating the effective population size of conserved populations. *Conservation Biology*, 1994, **8**:175~184.
- [20] Philippine V, Ramses R, Annemienker C, *et al.* The interacting effects of genetic variation, habitat quality and population size on performance of *Succisa pratensis*. *Journal of Ecology*, 2003, **91**(1):18~26.
- [21] Franklin I R. Evolutionary change in a small population. In: Soule M. E. Wilcos B. A. eds. *Conservation biology an evolutionary-ecological persoective*. Sunderland, MA: Sinauer, 1998. 135~150.
- [22] Schemske D W, Husband B C, Ruckelshaus M H, *et al.* Evaluation approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*, 1994, **75**(3): 584~606.
- [23] Bowles M L and C J Chadwick, eds. *Restoration of endangered species*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [24] Mangel M and C Tier. Four facts every conservation biologist should know about persistence. *Ecology*, 1994, **75**:607~614.
- [25] Fahrig L. How much habitats is enough. *Biological Conservation*, 2001, **100**(1):65~74.

参考文献:

- [4] 陈灵芝, 马克平. 生物多样性科学: 原理与实践. 上海: 上海科学技术出版社, 2001. 249~290.
- [7] 长江水利委员会. 三峡工程生态环境影响研究. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997. 54~75.
- [8] 张鹏云, 张跃甲. 中国水柏枝属的分类研究. 植物研究, 1984, **4**(2):67~80.
- [9] 吴金清, 赵子恩, 金义兴, 等. 三峡库区特有植物疏花水柏枝的调查研究. 武汉植物学研究, 1998, **16**(2):111~116.
- [10] 王勇, 吴金清, 陶勇, 等. 三峡库区消涨带特有植物疏花水柏枝(*Myricaria laxiflora*)的自然分布及迁地保护研究. 武汉植物学研究, 2003, **21**(5):415~422.
- [12] 陈小勇. 生态恢复中群落遗传学的考虑. 长江流域资源与环境, 2000, **9**(3):313~319.
- [14] 张大勇, 雷光春. 集合种群动态: 理论与应用. 生物多样性, 1999, **7**(2):81~90.
- [16] 李作洲, 王传华, 许天全, 等. 三峡库区特有种疏花水柏枝的保护遗传学研究. 生物多样性, 2003, **11**(2):109~117.