

十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析

张文辉¹, 祖元刚², 刘国彬¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; 2. 东北林业大学森林植物生态学开放研究实验室, 哈尔滨 150040)

摘要:从保护生态学的观点出发,对 10 个濒危植物的地理分布、生境条件、种群数量动态、空间分布格局、种间关系、种群的生命表、生殖力表、有性生殖、无性繁殖等种群生态学特征进行了综合分析。论述了濒危植物以光合、蒸腾、呼吸为主的生理生态学规律;预测种群数量动态的 Leslie 矩阵、刻画种群空间分布格局的模型、刻画种群生长和数量增长的 Logistic 方程和多元回归模型所反映出的生态学特征。分析了濒危植物种群动态、发展趋势以及在内外因素作用下的生态学特征和过程。针对濒危植物保护研究存在的问题,从生态学角度对我国未来濒危植物保护研究应注意的问题提出了建议。

关键词:濒危植物种群;保护生态学;濒危机制;保护策略和对策

Population Ecological Characteristics and Analysis on Endangered Cause of Ten Endangered Plant Species

ZHANG Wen-Hui¹, ZU Yuan-Gang², LIU Guo-Bin¹ (1. Northwest Sci-Tech. University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Open Research Laboratory of Forest Plant Ecology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1512~1520.

Abstract: The conservation biological study on 10 typical endangered plant species (*Cycas panzhihuaensis*, *Cathaya argyrophylla*, *Liriodendron chinense*, *Paeonia suffruticosa* subsp. *Spontanea*, *Cimicifuga nanchuanensis*, *Eleutherococcus brachypus*, *Mosla hangzhouensis*, *Adenophora lobophylla*, *Ranalisma rostratum*, *Ophiopogon xylorrhizus*) from China were carried out with the same aim and research method, supported by the key important projects of the National Natural Science Foundation of China during the period of the 8th five-year plan (1993~1997), and many kinds of the results were published. In order to get some information on common regulations on the endangered ecological process and the biological characteristics of tendency to endangered status, the geographic distribution, the habitat conditions, the population dynamics, the characteristics of sexual reproduction and asexual propagation of 10 endangered species were reviewed comprehensively. The common regulations such as photosynthesis, transpiration, respiration of the endangered plants in the different conditions were discussed. The modeling of the Leslie matrix, time series analysis for predicting population dynamics, fractal theory for describing population distribution pattern, equations of Logistics for population growth of 10 endangered plant populations were comprehensively explained. From the comprehensive analysis, general population ecological regulations of the endangered plants were summarized, and some of the regulations or characteristics that were unclear or did not appeared from the solitary study for one species, were clear. (1) The distribution areas of the endangered plant species belonged to the shape of island or strait area which all were contracting; (2) The

基金项目: 国家重点基础研究资助项目(G2000046807);中国科学院知识创新资助项目(KZCX1-06-2)

致谢: 本文承洪德元院士、陈家宽、葛颂、贺善安等教授提出修改意见在此谨表谢忱

收稿日期: 2001-08-08; **修订日期:** 2002-02-20

作者简介: 张文辉(1955-),男,陕西岐山人,博士,教授。主要从事植物生态学、植物保护生物学教学科研工作。Email: zwhckh@public.xa.sn.cn

analysis on age structure of the endangered species indicted that most populations had declining status and their spatial distribution patterns were a conglomeration; (3) Normally the adapting and living abilities of the most endangered species were not stronger than the widespread species; (4) The endangered species in communities showed the worse position among species competitions and their competitive abilities were weaker compared with other widespread species; (5) For most endangered species, the seed yields were lower, the seed quality was worse, and the death rates from seeds developing to seedlings in a natural soil seed bank were higher than other species; (6) The asexual propagating of the endangered species were a kind of compensation for maintaining population development after sexual reproduction failure, however, its functions for population to evolve and adapt were limited; (7)The favorable influence from other living things to engendered species was weaker, whereas the unfavorable influence was stronger in natural situations because the original balance of the ecosystems were broken and the biodiversity was reduced; (8) The predicting model analysis of the populations showed that most endangered population are in declining status.

The inner factors, such as feeble living and reproductive ability that led species to be in an endangered status were vital reason. The external factors, such as disturbance from humans played a role to promote the endangered ecological process. However,when disturbance from human was too strong, the external factors would become the vital reason for the plant species to go extinct. According to the common biological characters of the endangered plants and their conservation in China, the research on technology, strategies and measurements of conservation should be strengthened and the more endangered plant species should be studied; disturbance from human such as digging, cutting off, reclamation of land and over-grazing etc. should be stopped; the ecosystem conservation and the in situ conservation of endangered plants should be top-priority; *ex situ* conservation of endangered species will be carried out when the number of population in fields go down to the limitations or the suitable environmental is vanished.

Key words: endangered plant population; conservation ecology; endangering mechanism; conservation strategies and measurements

文章编号:1000-0933(2002)09-1512-09 中图分类号:Q948 文献标识码:A

近年来,我国稀有濒危植物保护研究工作取得了重大进展。特别是 20 世纪 90 年代以后,我国植物学工作者开始注重选择具有良好研究基础的濒危植物,采用多学科综合方式探索植物濒危机理和保护对策。例如,国家自然科学基金“八五”重大项目“中国主要濒危植物保护生物学研究”选择 10 种典型濒危植物^[1],分别从种群生态学、生殖生物学和遗传多样性 3 个方面探索濒危机理和保护对策。随后,在国家自然科学基金“九五”重大项目“中国关键地区生物多样性保育的研究”中,又选择了 5 种濒危和渐危植物进行致危机理和存活条件的研究^①。在重大项目运行的同时,国家自然科学基金面上项目也资助了太白红杉(*Larix chinensis*)、独叶草(*Kingdonia uniflora*)等多个稀有濒危植物的研究工作^[2,3]。这些项目的运行和相关论著的发表,不仅有力地推动了我国稀有濒危植物保护生物学的发展,而且也带动了传粉生态学、种群生态学、生殖生物学、遗传多样性等相关学科的发展,在国内外学术界产生了重要影响,使我国稀有濒危植物研究跨上了新的台阶。以植物种群生态学领域研究为例,从初期的研究濒危植物的种群空间结构、种间关联、年龄结构等动态分析和预测,发展到深入分析系统压力和随机干扰对种群存活的影响;探讨异质种群结构和动态及其对生境的需求;分析种群的光合、水分和生理、生态适应方式以及生态位、生态场等种间竞争特征。从研究濒危植物种群的开花结实等生殖特征,发展到深入研究种群传粉生态、生殖分配、种子雨、种子

—— 万方数据 ——

① 国家自然科学基金“九五”重大项目“中国关键地区生物多样性保育的研究”中期检查会议纪要。2001.1.22

库、幼苗更新、克隆繁殖方式等生活史过程中的关键环节和适应不同环境压力的生殖对策等等,在阐明濒危机理和保护对策方面取得许多重要成果和发现^{[1]①}。目前,我国对稀有濒危植物研究的特色主要体现在多学科交叉,围绕某一植物的濒危机理和保护对策进行综合分析和深入探讨,有些研究已经达到相当高的水平。但是,利用不同濒危植物研究已经取得成果和数据,进行共有性规律的归纳、总结,提出普适性保护对策和策略研究还不多见。偶然性寓于必然性之中,从大量的偶然性现象中完全有可能得到必然性的规律。尽管我国地理区域辽阔、生态环境复杂,稀有濒危植物种类繁多,濒危机理和濒危过程也极为复杂,但对不同濒危植物的濒危机理和生态学过程进行综合分析,可以发现很多共性,这对全面制定我国稀有濒危植物普适性的保护对策和策略具有重要意义。

攀枝花苏铁(*Cycas panzhihuaensis*)、银杉(*Cathaya argyrophylla*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)、矮牡丹(*Paeonia suffruticosa* subsp. *Spontanea*)、南川升麻(*Cimicifuga nanchuanensis*)、短柄五加(*Eleutherococcus brachypus*)、杭州石荠苎(*Mosla hangzhouensis*)、裂叶沙参(*Adenophora lobophylla*)、长喙毛茛泽泻(*Ranalisma rostratum*)、木根麦冬(*Ophiopogon xylorrhizus*)曾是国家自然科学基金“八五”重大项目的研究对象^[1]。从植物种群生态学角度看,由于对上述 10 种濒危植物研究目标一致,采用方法和技术路线也比较一致,所得的研究结果具有可比性,各物种表现出的共性对未来保护对策和策略的制定就具有参考意义。为此,本文以上述 10 个濒危种及其对照种群生态学方面已经发表的论著为依据,对 10 个濒危种及其对照种特性和共性的资料进行了综合分析,目的是对有关物种濒危的原因、濒危过程、生态学特征等共性的问题进行归纳、综合,使得一些仅从个别物种看不清楚的问题趋于明朗,某些已经发现的问题得到更为深入的分析,以期获得部分濒危植物一般的生态学特征和规律,为我国稀有濒危植物保护研究和保护对策制定提供依据。

根据已发表的论著,上述 10 种濒危植物种群生态学方面的研究涉及分布区域、生境特征、种间关系、种群动态和预测模型、生理生态特征、生殖生态和保护对策等多方面问题。但是,由于濒危物种取样的困难和特殊性,并不是每一物种都涉及到上述各个方面,因此,本文仅对一些共性的问题予以讨论和分析。

1 濒危植物的主要特征

1.1 濒危种植物的地理分布区域狭窄,一般呈岛状分布,并且在不断地收缩 根据已查清的 10 个濒危植物的地理分布现状及绘制的分布现状图可以看出,大多数濒危种呈狭域分布或岛状分布。例如,银杉、攀枝花苏铁、鹅掌楸、杭州石荠苎、矮牡丹、短柄五加为岛状分布^[4~9];南川升麻、木根麦冬、长喙毛茛泽泻、裂叶沙参为狭域分布^[10~14]。分析各濒危物种地理分布的历史和现状,可以发现 10 个濒危种的地理分布区均出现了较大幅度的收缩。攀枝花苏铁在 20a 前可以找到 13 个分布地点,现仅残留 5 个地点^[5,15]。裂叶沙参 20 世纪 50 年代在四川马尔康、金川、卓斯甲 3 个地区有分布,现在马尔康地区已经消失^[13]。研究结果还表明,10 个濒危种不仅分布区域狭窄,而且种群规模小。例如,长喙毛茛泽泻原在我国浙江丽水、江西东乡和湖南茶陵 3 个地区有分布,但目前只有湖南茶陵尚保留,而且个体数量很少,已找到的 16 个分布地点,仅 1 个分布地点有 32 株个体,其余 15 个地点均不多于 10 株个体,处于绝灭的危险之中^[16~18]。鹅掌楸种群的地理分布格局因被多次分割、隔离而在整体上呈现“一带五岛”的分布格局,已找到的分布地点共 84 处,但有 59 处个体数不多于 10 株,只有 5 处含有 100 株以上的个体,占总分布地点的 6%^[6,19,20]。

1.2 濒危植物的种群年龄结构多为衰退型,空间分布多呈聚集型 濒危植物的大多数种群年龄结构呈现衰退趋势。如:攀枝花苏铁、银杉、鹅掌楸、矮牡丹、短柄五加、木根麦冬、南川升麻、长喙毛茛泽泻、杭州石荠苎等,绝大多数种群的年龄结构呈现幼龄个体少,老龄个体多的特点,种群扩展缺乏足够的幼龄个体^[8~10,12,15,20~23]。种群生命表和存活曲线表明,攀枝花苏铁、银杉和鹅掌楸等子遗种虽然个体寿命较长,约 260a 以上,但其繁殖能力低下;其余的灌木和多年生草本个体寿命均较短,最短的约 12~25a^[5,19~22]。无论各种群的寿命长短,其存活曲线多为 Deevey II 型或 Deevey III 型。攀枝花苏铁、银杉、南川升麻、短柄五加和

万方数据

① 国家自然科学基金“九五”重大项目“中国关键地区生物多样性保育的研究”中期检查会议纪要。2001.1.22

杭州石茅苳为 Deevey II 型,虽生活史各个阶段死亡率差别不大,但其繁殖力很低^[5,10,21,23,24];鹅掌楸、矮牡丹、裂叶沙参、木根麦冬、长喙毛茛泽泻则为 Deevey III 型,高死亡率集中在幼龄阶段,具有生殖能力的成年个体少^[8,12,20,25~27]。

濒危植物种群空间分布格局的多为聚集型。鹅掌楸、矮牡丹、毛茛泽泻、木根麦冬、南川升麻在群落中均表现为聚集分布,说明群落内的生境异质性显著,种间竞争激烈^[6,10,12,28];攀枝花苏铁、刺五加在幼龄期为聚集分布,到成年期以后,经种间竞争、自然稀疏,使相邻的个体死亡,种群分布格局向随机分布过渡^[5,29,30];裂叶沙参从幼龄到成年,由于光照、水分胁迫和外界干扰,分布格局呈聚集-随机-再聚集的变化格局^[14,31];银杉在银杉-亮叶水青冈林中为典型的聚集分布,而在银杉-甜槠林中因个体数量不均衡死亡而出现向随机分布靠近的趋势^[32,33]。濒危植物种群空间分布格局的另一个特点是出现异质种群。如南川升麻在所处的生境出现破碎化后,由于相距较近,存在基因交流,个体迁移比较容易,形成了黑山亚种群、仙女洞亚种群和古佛洞亚种群所组成的一个异质种群^[10]。类似的还有裂叶沙参、银杉等^[13,34,35]。

1.3 濒危植物在生理生态学方面存在生存力、适应力较差的共性 大多数濒危植物的光合、呼吸和蒸腾等生理代谢速率比对照种在相同条件下要低。如裂叶沙参的光合速率和水分利用效率在一天内均低于广布近缘种泡沙参,而暗呼吸却高于泡沙参^[36,37]。刺五加光合生理生态的研究结果表明,林下刺五加幼龄植株虽然有较低的光补偿点,较高的量子利用效率,能有效地利用弱光,但由于林下光合有效辐射强度比林缘和开阔地小得多,净光合速率在中午以后往往呈现出负值,这样,植物在白天所积累的光合产物较少,长期下去,很难满足植株正常生长和发育的需要,其结果必然引起植株较早地死亡,种群生存力降低。从光合效率角度来分析,刺五加的现实生境主要在林下,但不适宜其生长,而适宜于生长的开阔地由于人为破坏无法成为它的现实生境,现实生境和适宜生境之间的矛盾是其濒危的一个重要原因^[38~40]。

由于濒危植物种群的分布区狭小、缺乏基因交流、及生境长期的退化,濒危植物生理生态学适应能力已经弱化,有些濒危种出现了生理代谢与环境条件相互适应方面的分化。鹅掌楸在光生态适应性方面出现分化并以江汉平原为界,明显分为东、西部两个亚区。在最高光合潜力方面,西部亚区各种群均高于东部亚区的种群;光饱和点和光补偿点的分析同样表明,西部亚区的种群都具有较高的光饱和点和较低的光补偿点,表明其光适应幅度较宽、光能利用效率较高。而东部亚区种群的较低光饱和点和较高光补偿点说明该种群的光适应幅度偏窄。这一事实反映了鹅掌楸东西两种群已出现对光生态适应性方面的遗传分化。这与西部种群分布区域较大,外界干扰较少,而东部地区外界干扰大,生境条件较差的现实相吻和^[6,19,20,41,42]。从生殖对策上看,攀枝花苏铁、银杉、鹅掌楸等子遗植物世代周期长,繁殖能力低,在生存上表现为 K 对策^[5,6,35,43]。而一些寿命比较短命的草本,杭州石茅苳、裂叶沙参则产籽量大,在生存上表现为 r 对策^[14,23]。大多数濒危物种与近缘种比较,均表现出较耐荫的特征,在当今植被破坏严重、环境旱化的条件下,使得濒危植物种群很难找到适宜的生境。

1.4 濒危种在群落内种间竞争中处于较为不利的地位,竞争能力较差 银杉种群在群落中由于对光的需求,只有在林窗下,光照满足的条件下幼苗才有机会发展。当进入成年期后,在群落中处于不利的竞争中地位,有让位于阔叶林的趋势^[33,44~46]。长喙毛茛泽泻在迁地保护的理想状态下,种群数量以 Logistic 方式增长;回归原产地后,当年经精心照顾,种群呈增加趋势,次年随杂草茂盛生长,长喙毛茛泽泻种群在竞争中明显处于不利地位,种群数量迅速下降,有消失的危险^[25,47~49]。鹅掌楸、南川升麻、杭州石茅苳、木根麦冬等也均有类似的特点^[12,41,50~53]。

1.5 在天然条件下,种子向幼苗的转化是物种濒危的关键环节 没有足够数量的幼苗,种群就难以维持。濒危植物较普遍问题是种子产量低、品质差,种子向幼苗的转化率低,形成的幼苗数量少。银杉母株平均单株的球果数仅为 62 个,而每球果平均出种量仅为 4.267 粒,无活力者却高达 46.7%,林下种子萌发率为 21.0%,幼苗保存率为 5.5%,每株母树所产种子最终仅能转化为 3.1 株 1 年生幼苗^[33,45,46]。鹅掌楸种子品质低,饱满种子所占比例更低,种子形成幼苗概率仅为 1.64%~3.05%,再加上种群与生境的生存适合度低,直接影响种群的发展^[19,54]。南川升麻种子休眠解除、萌发和周期性变化的气候条件的不协调,冬季缺少必要的水分条件,种子难以完成低温后熟;春季萌芽时当地气温低于其最适度萌发的温度;种子寿命短,

最好的储藏条件也只能维持 9 个月,这些不利因素共同作用下,使南川升麻天然条件下种子成苗率仅为 0.029^[10,55]。裂叶沙参种子千粒重比对照种泡沙参低得多,尽管人工播种出苗率较高,但天然条件下成苗概率极低,仅为 0.00039^[14]。短柄五加、矮牡丹产种量本身就低,经历种子库筛选之后,几乎阻断了有性生殖。矮牡丹调查的 7 个样地仅发现 1 株实生苗。因此,濒危植物生殖力低下、种子库的环境筛作用等导致了大多数濒危植物的幼苗数量少,种群缺乏后续资源^[9,8,57,56]。

1.6 濒危植物无性繁殖是有性生殖失败情况下的一种补充,对种群繁衍的作用有限 无性繁殖是在有性生殖失败情况下繁衍后代的对策。矮牡丹、刺五加、裂叶沙参、长喙毛茛泽泻均具有不同程度的无性繁殖现象,其中矮牡丹、刺五加的无性繁殖是其种群赖以繁衍的基础,他们的根状茎呈游击式向各个适生方向扩展,产生无性系小株,无性系小株自身进一步产生横走茎,形成“独木成林”现象,但濒危植物的无性繁殖在传播距离、产生后代、适应进化方面不及有性生殖有效。长喙毛茛泽泻在人工栽培条件下生长良好,营养繁殖和有性生殖正常,特别是以假匍匐茎方式进行的营养繁殖发达,每一基株在一个生长季内可产生几十个无性系小株;但是,在自然群落中,由于伴生植物的快速生长、繁殖,对长喙毛茛泽泻造成郁蔽,使其植株死亡;同时,处于开阔生境中的植株生长也不好,植株矮小,营养繁殖不发达,一年内仅产生 3~4 个无性系小株,而且无性系小株根系很难扎入土壤中,不具备独立生存能力。以无性繁殖的为主的濒危植物即就是存在有性生殖,往往由于自交、基因纯合使开花结实等有性生殖能力进一步下降^[8,11,17,16,29,30,40,47,58]。

1.7 在群落中,其他生物对濒危植物的有利的影响已经弱化,而不利的影响加强 研究结果表明,由于环境破坏,生物多样性减少,原有的群落中生物间的互惠互利的稳定关系已经破坏,对植物产生有利影响的昆虫、鸟类和其他动物、微生物数量减少,而对濒危植物产生不利影响的动物和微生物活动增强。短柄五加和刺五加种子传播依赖于鸟类,由于鸟类数量少,种子传播困难^[38,40,56]。裂叶沙参由于鼠兔啃食,使其 2.5% 个体地上部死亡,失去有性生殖的能力^[15]。银杉球果产量本来就少,成熟后被昆虫、鸟类、哺乳类动物取食达到 15%,落到地表的种子几乎全被鸟类和鼠类取食,只有埋于土壤较深层(3cm 以下)的种子才得以保留,存活种子数量极小,成为银杉林更新的主要障碍^[35,45,46]。在攀枝花苏铁分布区调查出的 4 个鼠洞中,68.6% 种子被食用,9.4% 种子腐烂,萌芽种子仅为 13%^[5,15]。其他濒危种也同样遭到来自其他动物和微生物的危害。

1.8 种群动态的预测模型表明大多数濒危植物种群数量正在缓慢减少或在衰退当中 在自然条件下,在以年龄结构和结籽量为基础编制的攀枝花苏铁、银杉、刺五加、裂叶沙参、南川升麻等生命表或生殖力表中,种群动态参数表明,除攀枝花苏铁为缓慢增长型外(内禀增长率 $r_m = 0.00043$),其余种群均为缓慢衰退型(内禀增长率为负值)。银杉种群年龄结构差异较大,大部分种群缺乏幼龄个体,有些种群严重衰退^[14,15,29,35]。对攀枝花苏铁、刺五加、裂叶沙参、南川升麻种群应用 Leslie 矩阵对种群数量进行分析预测,结果显示,裂叶沙参 4 个种群,有 3 个种群数量以平均 0.7% 速度减少,一个种群以 0.6% 的速度增长;短柄五加种群数量平均以 2.6% 左右的速度减少;南川升麻的 2 个种群,一个以 0.5% 减少,一个以 3.0% 的速度增加;在木根麦冬现存 3 个较大种群中,2 个种群在未来 100a 内将消失,一个种群缓慢增长^[5,12,15,24,27,29,30]。应用时间序列分析方法对裂叶沙参和近缘广布种泡沙参种群的年龄结构在同一尺度下进行了预测,发现裂叶沙参种群数量在未来 5a 增长率比泡沙参种群低 3 倍。应用分形理论对裂叶沙参和泡沙参种群分布格局分析表明,裂叶沙参种群从低海拔到高海拔的各种生境中,其生态占据维均比泡沙参小,说明裂叶沙参占据生态空间的能力均小于泡沙参^[14,31]。

2 导致植物濒危的内在和外在因素分析

濒危植物生殖力、存活力、适应力低下等内在因素是其走向濒危的根本原因。同样的外界生境条件,普通的植物(如广布种)尚能正常生长繁育,而濒危植物则不能,关键是其内在属性所致。从 10 种濒危植物的生态学特征分析中可以看出,由于内在因素导致种群濒危的可以有几种形式:① 生活史中具有脆弱环节或者多处脆弱环节累加型,例如,多数濒危植物种群在由种子向幼苗方向转化阶段会出现死亡率高,种子不能萌芽成苗,成为种群衰退的关键阶段。其他年龄阶段也有高死亡率的现象,如木根麦冬种群胚胎发育过程中子房壁破裂,败育率高达 43%;杭州石芥在苗期和开花期出现两次死亡高峰;南川升麻苗期死亡率

高;长喙毛茛泽泻种子和幼苗存活率低;银杉在 200 年生时出现高死亡率,个体数量骤减,等等^[10,12,24,25,35,55,59]。此外,濒危植物种群生活史多个脆弱环节综合作用或叠加作用,也可导致植物个体生长发育不良、早衰、短命,种群数量减少,经多世代重复可导致物种的生存能力不断降低,种群濒于灭绝的危险之中。例如,裂叶沙参种群与广布种泡沙参比较,种子向幼苗的转化率低 10 倍;其光合速率低、暗呼吸速率高;耐旱性差等多方面适应能力弱化^[14]。② 古老残遗型,地史变迁使一些植物成为孑遗种,它们世代周期长,繁殖能力低,生境的破碎化把它们隔离成小种群,导致自交和遗传漂变,种间竞争能力下降,使种群走向衰退。例如银杉、鹅掌楸、攀枝花苏铁等。③ 环境依赖型,这些濒危植物大多属耐阴性植物,在赖以生存的森林等庇护条件破坏后,就很难生存。例如,木根麦冬是热带阴生植物,怕光、不耐寒,在依赖的植被破坏后,生境条件变化剧烈,低于 5℃ 的极端低温频率增加,种群很难生存^[12]。④ 生境敏感植物,这类植物一般生于某一特定的动态生境之中,其濒危原因主要与特定生境条件的极端化有关。例如,长喙毛茛泽泻生存于水陆交替的动态生境中,这种生境极不稳定,一旦旱化或者被水淹没,小种群必然消失^[16]。

在自然条件下,外界干扰等致危因素一般是植物走向濒危的推动力,如果外界干扰过分强烈,就可能成为植物濒危的致命因素。首先,人为过度采挖是植物濒危的直接因素。攀枝花苏铁,矮牡丹,裂叶沙参等濒危种群的个体数量因采挖而大幅度减少。矮牡丹在 20 世纪 50~60 年代就因大量采挖丹皮,每年毁坏矮牡丹约 5000 株,使矮牡丹的个体数量大幅下降;刺五加在,9a(1987~1991)内共采挖 19660t,平均年消耗 2184.4t 相当于毁掉 97.96km² 天然林中的全部蕴藏个体^[40];攀枝花苏铁在 20a 内由于采挖,原有的 13 个种群,到目前只幸存 5 个种群,分布面积由原来的 30700km² 缩小到 8800km²,成年个体减少 30%^[15]。其次,人为干扰导致生境条件的退化,对物种走向濒危生态学过程起到了推动作用。森林过度砍伐、草原过度放牧、过度开荒等致使植被破坏,生态系统向逆行演替方向发展,原有的生境片段化或岛屿化,濒危植物种群随之被分割,出现异质种群,进而发生遗传漂变,种群的生存力降低,种群规模收缩,最终导致植物种由原生种向受危种、易危种、濒危种方向发展。如:矮牡丹,刺五加,裂叶沙参,南川升麻,长喙毛茛泽泻,木根麦冬的生境受到严重的人为干扰破坏,很难发现其原生群落。陕西和山西不同地区 10 个矮牡丹群落研究证明,生境条件受外界干扰越大,矮牡丹在群落中优势程度越低,群落的逆向演替可能是矮牡丹种群濒危的原因之一^[11,10,12,28,40,47]。大多数濒危植物所处的生境的承载能力下降,环境配置由原生生境向次生生境、脆弱生境、严酷生境方向发展,多数濒危种现实的分布区并非是其最适生境,而是一种“致危生境”,这种生境增加了种群自交、遗传多样性下降和遗传漂变的机会。例如,人为采挖使矮牡丹个体数量急剧减少,再加上该种以无性繁殖为主,留下少数个体可能属同一基因型,因此,矮牡丹的所谓传粉,实际上是无性小株间传粉,而矮牡丹是自交不亲和可造成不结籽或种子无活力^[57]。一般来说,人类直接采挖等直接破坏,或者物种所依赖的生境退化加速了濒危植物濒危过程,外部环境因素和内部等不利因素的共同作用导致物种濒危。

3 讨论

3.1 存在问题 国内不同学科的研究人员在对濒危植物的保护生物学研究中,将种群生态学、生理生态学和生殖生态学的理论与方法引入保护生态学领域,丰富和发展了保护生物学的理论体系和研究方法,促进了相关学科的发展,为我国濒危植物保护生物学的工作奠定了基础。但是,我国植物种资源丰富,濒危植物约占 15%,濒危植物保护工作任重道远。就目前研究状况看,我国从生态学角度已经查清濒危过程的物种很少,要从理论上提出一种普适性的对策和方法的素材还显不足;其次,从已发表材料看,对濒危植物研究大多是以单个物种为研究对象,对各濒危物种已有的研究成果进行综合、归纳、分析,并应用于生产实践的研究不多;第三,对上述 10 个濒危植物物种研究中,有些物种由于没有对照种,使得濒危植物的濒危状态、濒危机理等表现不够充分。这些问题在以后的研究中应给予关注。

3.2 建议 加强对濒危植物保护生物学的研究,从理论上、技术上寻求濒危植物复壮技术和方法,并将其应用于实践是一项长期的工作。国家应进一步加强对濒危植物保护生物学研究的支持力度,鼓励多学科交叉、联合攻关,破解一大批典型濒危植物的濒危机理;同时注意总结、归纳不同濒危植物所取得的研究成果,分析其濒危过程和共有特征,提高研究水平,使我国在本领域的研究在尽快与国际水平接轨。从以上 10 个濒危植物种受危状况看,就地保护是濒危植物解危的主要措施。但是,应区别对待。对由于人

为直接采挖和砍伐所导致种群大幅减少的物种,如矮牡丹、刺五加、短柄五加、苏铁等应通过行政干预、立法等措施立即停止人为破坏,使其种群逐渐恢复生机。对由于生境丧失或破坏,使物种处于濒危状态的濒危种木根麦冬、南川升麻等,应对其生存的环境进行保护,如停止森林破坏、垦荒、过度放牧,这是解脱濒危的根本措施。就地保护在必要时需建立保护区,使濒危植物拥有一个修养生息的生存空间。但是,对于某些濒危植物由于本身内在的抗逆性、适应力等方面缺陷,仅保护环境不足以使其复壮的,必须通过生物技术使其复壮。

迁地保护是在栖息地生境破碎成斑块状,或者原有生境不复存在的条件下,或者当物种数目下降到极低水平时所采取的措施。迁地保护目的是当种群数量达到一定数量时放归自然,建立自然状态下可生存种群。因此,在未明确濒危机理条件下,不应鼓励将野生种群或个体无目的地进行人工栽培。无论是迁地保护还是就地保护一般应采取先保护后解救的策略。

参考文献

[1] Zu Y G (祖元刚). Study on the population structure and dynamic modelling of endangered plants. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):96.

[2] Yan Z C(阎章才), Wen M Z(温明章). Introduction to Projects Funded in division of botany by national natural science foundation of China 2000. *Atca Botonica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 2001, **43**(10):1097~1100.

[3] Zhu D B (朱大保), Li X Z(李学真). Acceptance and analysis of plant science project supported by the national natural science foundation of China in 1998. *Atca Botonica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1999, **41**(4):447~452.

[4] Xie Z Q(谢宗强), Chen W L(陈伟烈). The present status and the future of *Cathaya argyrophylla*. *Chinese Biodiversity*(in Chinese)(生物多样性), 1994, **2**(1):11~15.

[5] He Y H (何永华), Wang Q K (王乾坤), Shi P L (石培礼). Biological properties, trunk anatomy and growth patterns of *Cycas panzhihuaensis*. *Atca Botonica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1995, **37**(6):443~451.

[6] Hao R M (郝日明), He S A (贺善安), Tang S J (汤诗杰) *et al.* Geographical distribution of *Liriodendron chinense* in China and its significance. *Journal of Plant Resources and Environment*(in Chinese)(植物资源与环境), 1995, **4**(1):1~6.

[7] Chang J (常杰), Ge Y (葛滢), Lu D G (陆大根), *et al.* A study on the density dependence and mechanism of endangerment of the endangered plant *Mosla hangchowensis* population. In: Qian Y Q (钱迎倩) ed. *Advance on Biodiversity Research* (1)(in Chinese), Beijing: Science Technology Press, 1995. 201~206.

[8] Liu K (刘康), Wei L L (韦柳烂), Wang K X (王开曦). Studies on population structure of *Paeonia suffruticosa*andr var. *Spontanearehd*. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin.* (in Chinese)(西北植物学报), 1994, **14**(3):232~236.

[9] Tian G W(田国伟), Wang Z L (王仲礼), Liu L D(刘林德), *et al.* Studies on the structure, afterripening and cytochemistry of seeds in *Eleutherococcus brachypus*. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (in Chinese)(植物分类学报), 1998, **36**(2):128~133.

[10] Yue C L(岳春雷), Liu Y Q(刘亚群). Preliminary studies on physiological ecology of photosynthesis of an endangered Plant *Cimicifuga nanchuanensis*. *Acta Phytocology Sinica* (in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):71~75.

[11] Wang X F (汪小凡), Chen J K(陈家宽). A survey on the habitats of rare and endangered aquatic plants in Hunan province. *Chinese Biodiversity*(in Chinese)(生物多样性), 1994, **2**(4):193~198.

[12] He T H(何田华) Rao G Y (饶广远) You R L(尤瑞麟). Conservation biological study on *Ophiopogon xylorrhizus* an endangered species. *Advance Natural Science*(in Chinese)(自然科学进展), 1999, **9**(10):874~879.

[13] Zhang W H(张文辉), Zu Y G(祖元刚). Investigation on the distribution area and characteristics of biology and ecology of *Adenophra lobophylla* (Campanulaceae) an endangered species. *Bulletin of Botanical Research* (in Chinese)(植物研究), 1998a, **18**(2):209~217.

[14] Zhang W H(张文辉). Study on the *Adenophora lobophylla* population ecology(in Chinese). Harbin: Northeast Forestry University Press, 1998. 20~155.

[15] He Y H(何永华), Li C L(李朝奎). The ecological geographic distribution, spatial pattern and collecting history of *Cycas panzhihuaensis* populations. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):23~30.

[16] Wang J B(王建波), Chen J K(陈家宽), Li R Q (利容千), *et al.* Life history traits and mechanisms of

endangerment in *Ranalisma rostratum*. *Chinese Biodiversity*(in Chinese)(生物多样性), 1998, **6**(3):167~171.

[17] Wang J B(王建波), Chen J K(陈家宽), Li R Q(利容千). Characters of seed storage and germination in *Ranalisma rostratum* and *Sagittaria guyanensis* subsp. *lappula*. *Plant Physiology Communications*(in Chinese)(植物生理学通讯), 1997, **33**(2):119~122.

[18] Wang J B(王建波), Wang X F(汪小凡), Chen J K(陈家宽), et al. A preliminary study on reproductive traits of *Ranalisma rostratum*. *Journal of Wuhan University (Natural Science)*(in Chinese)(武汉大学学报,自然科学版), 1993, (6):130~132.

[19] He S A(贺善安), Hao R M(郝日明), Tang S J(汤诗杰). A study on ecological factors of endangering mechanism of *Liriodendron chinense* (Hemsl.)Sarg. *Journal of Plant Resource and Environment*(in Chinese)(植物资源与环境), 1996, **5**(1):1~8.

[20] He S A(贺善安), Hao R M(郝日明). Study on the natural population dynamics and the endangering habitat of *Liriodendron chinense* in China. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):87~95.

[21] Xie Z Q(谢宗强), Chen W L(陈伟烈), Jiang M X(江明喜), et al. A preliminary study on the population of *Cathaya argyrophylla* in Bamianshan Mountain. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1995b, **37**(1):58~65.

[22] Xie Z Q(谢宗强). Specie resource and conservation of endangered plant *Cathaya argyrophylla*. In: Li Y M(李铭玉)ed. *Collection of Academic Papers on Reserve Construction and Development in China*(in Chinese). Beijing: China Forestry Press, 1995. 66~69.

[23] Ge Y(葛滢), Chang J(常杰), Lu D G(陆大根). A study on the biological characters of *Mosla hangchowensis*. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):14~22.

[24] Chang J(常杰), Ge Y(葛滢), Lu D G(陆大根), et al. Population dynamics and survival analysis of *Mosla hangchowensis*. In: Qian Y Q(钱迎倩) ed. *Advance on Biodiversity Research* (1)(in Chinese). Beijing: Science Technology Press, 1995b. 208~213.

[25] Chen J K(陈家宽), Chen Z Y(陈中义). Population dynamics of *Ranalisma Rostratum*, an endangered species growing in different habitats. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):8~13.

[26] Zhang W H(张文辉), Zu Y G(祖元刚). Study on population life table and survivorship curves of *Adenophora lobophylla*, an endangered species, compared with *A. potaninii*, a widespread species. *Acta Phytocology Sinica* (in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):76~86.

[27] Zhang W H(张文辉), Zu Y G(祖元刚). Analysis and comparison on population dynamics between *A. lobophylla* and *A. potaninii* by Leslie Matrix. *Journal of Forestry Research*(in Chinese)(林业研究), 1998, **9**(1):1~7.

[28] Zheng F Y(郑凤英), Zhang J T(张金屯), Shangguan T L(上官铁梁), et al. The distribution patterns of *Paeonia suffruticosa* var. *spontanea* and the quantity analysis of the communities where it grows. *Journal of Wuhan Botanical Research*(in Chinese)(武汉植物研究), 1998, **16**(3):255~262.

[29] Zhu N(祝宁), Zang R G(臧润国). Population ecology of *Acanthopanax senticosus*. population statistics. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报), 1994, **5**(3):237~240.

[30] Zhu N(祝宁), Zang R G(臧润国). Population ecology of *Acanthopanax senticosus* I. population structure. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报), 1993, **4**(2):113~119.

[31] Zhang W H(张文辉), Zu Y G(祖元刚), Ma K M(马克明). Analysis on the fractal characteristics of distribution patterns of *Adenophora lobophylla* and *A. potaninii*. *Acta Phytocology Sinica* (in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(1):31~39.

[32] Xie Z Q(谢宗强), Chen W L(陈伟烈), Liu Z Y(刘正宇). Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **41**(1):95~101.

[33] Xie Z Q(谢宗强). Gap-regeneration of *Cathaya argyrophylla* forests. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19**(6): 775~779.

[34] Xie Z Q(谢宗强), Chen W L(陈伟烈), Lu P(陆鹏), et al. Growth and population biomass of *Cathaya argyrophylla*. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(6):536~543.

[35] Xie Z Q(谢宗强), Chen W L(陈伟烈), Lu P(陆鹏). Population statistics and age structure of endangered plant *Cathaya argyrophylla*. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19**(4):523~528.

[36] Zu Y G(祖元刚), Zhang W H(张文辉), Yan X F(阎秀峰), et al. Comparative studies of anatomical ecology between *Adenophora lobophylla* and *A. potaninii*. *Bulletin of Botanical Research* (in Chinese)(植物研究), 1998, **18**(1):46~54.

[37] Zu Y G(祖元刚), Zhang W H(张文辉), Yan X F(阎秀峰). Gas exchange and water use efficiency of *Adenophora lobophylla* (Campanulaceae) at different altitudes on east boundary of the Tibetan plateau. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1998, **40**(10):947~954.

[38] Zhu N(祝宁), Guo W M(郭维明). The heterogeneous habitat influence on the seed germination of *Acanthopanax*

- senticosus* and its seed pool dynamics. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese) (生态学报),1996,**16**(4):409~413.
- [39] Zhu N(祝宁),Jin Y Y(金永岩),Yang W H(杨文化). *Acanthopanax senticosus* population in the secondary *Larix* forest and its communities. In: Zhou X F(周晓峰) ed. *Forest Ecological Located System in China*(in Chinese). Harbin:Northeast Forestry University Press, 1994. 614~123.
- [40] Zhu N(祝宁),Zhuo L H(卓丽环),Zang R G(臧润国). Will *Acanthopanax senticosus* become an endangered species?. *Chinese Biodiversity*(in Chinese)(生物多样性), 1998, **6**(4):167~171.
- [41] Guo Z H(郭志华),Zhang H D(张宏达). The photosynthetic characteristics in leaves of *Liriodendron chinense* seedlings in Mt. LUSHAN. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报),1999,**2**(2):164~169.
- [42] He S A(贺善安),Liu Y L(刘友良),Hao R M(郝日明), *et al.* Differentiation of light ecological adaptability among populations of *Liriodendron chinense* in the process of being endangered. *Acta Phytocology Sinica* (in Chinese)(植物生态学报), 1999,**23**(1): 40~47.
- [43] Xie Z Q(谢宗强),Chen W L(陈伟烈). The endangering causes and preserving strategies for *Cathaya argyrophylla*, an endemic plant in China. *Acta Phytocological Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999,**23**(1): 1~7.
- [44] Xie Z Q(谢宗强),Chen W L(陈伟烈). Characteristics and Succession of the Communities of *Cathaya argyrophylla*, an Endangered Plant. *Acta Phytocological Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999,**23**(1):48~55.
- [45] Xie Z Q(谢宗强),Li Q M(李庆梅). Seed characteristics of endangered plant *Cathaya argyrophylla*. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 2000,**24**(1):82~86.
- [46] Xie Z Q(谢宗强),Chen W L(陈伟烈),Hu D(胡东), *et al.* The fruiting characteristics of an endangered plant, *Cathaya argyrophylla* and the impact of animals on fruits. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1998,**22**(4):319~326.
- [47] Chen Z Y(陈中义),He G Q(何国庆),Chen J K(陈家宽). The biological characteristics of an endangered species *Ranalisma rostratum*. *Journal of Wuhan University* (Natural Science Edition)(in Chinese)(武汉大学学报(自然科学版)), 1997,**43**(2):201~204.
- [48] Chen Z Y(陈中义),Chen J K(陈家宽). The spatial pattern of *Ranalisma rostratum* population and interspecific association in the community. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999,**23**(1):56~61.
- [49] Zhou S L(周世良),Pan K Y(潘开玉),Hong D Y(洪德元). Nut let dispersal of *Mosla hangchowensis* matsuda (Labiateae). *GUIHAIA*(in Chinese)(广西植物),1999,**19**(2):176~179.
- [50] Huang S Q(黄双全),Guo Y H(郭友好). Pollination environment and sex allocation in *Liriodendron chinense*. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报),2000,**20**(1):49~52.
- [51] Chang J(常杰),Liu K(刘珂). Features of the photosynthesis of *Mosla hangchowensis* and the response of photosynthesis to soil water status. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报),1999,**1**(1):62~70.
- [52] Ge Y(葛滢),Chang J(常杰),Yue C L(岳春雷), *et al.* A physio-ecological study on seed germination of *Mosla hangchowensis*. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报),1998,**22**(2):171~177.
- [53] Ge Y(葛滢),Chang J(常杰),Liu K(刘珂). A physio-ecological on the transpiration of *Mosla hangchowensis* matsuda. *Acta Phytocology Sinica*(in Chinese)(植物生态学报),1999,**23**(4):320~326.
- [54] Fang Y M(方炎明),Cao H N(曹航南),You L X(尤录祥). Dynamic seedling life table of *Liriodendron chinense*. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报),1999, **10**(1):7~10.
- [55] Fu J(符近),Qi W Q(奇文清),GU Z H(顾增辉), *et al.* Seed dormancy and germination in *Cimicifuga nanchuanensis*. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报),1998,**40**(4):303~308.
- [56] Wang Z L(王仲礼),Liu L D(刘林德),Tian G W(田国伟), *et al.* Study on flowering and pollination biology of *Eleutherococcus brachypus*. *Chinese Biodiversity*(in Chinese)(生物多样性), 1997, **5**(4):2512~56.
- [57] Luo Y B(罗毅波),Pei Y L(裴颜龙),Pan K Y(潘开玉), *et al.* A study on pollination biology of *Paeonia suffruticosa subsp. spontanea*(Paeoniaceae). *Acta Phytotaxonomica Sinica*(in Chinese)(植物分类学报),1998, **36**(2):134~144.
- [58] Zu Y G(祖元刚),Zhang W H(张文辉),Yan X F(阎秀峰), *et al.* Comparative studies of sexual reproduction and asexual propagation between populations of *Adenophora lobophylla* and *A. potaninii*. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报). 1997,**39**(11):1065~1073.
- [59] He T H(何田华) Rao G Y(饶广远),You R L(尤瑞麟), *et al.* Embryological studies on endangered *Ophiopogon xylorrhizus* (Liliaceae). *Acta Phytotaxonomica Sinica* (in Chinese)(植物分类学报),1998, **36**(4):305~309.