

香果树生殖生态学特征 及恢复策略研究

郭连金 等 著



科学出版社

(Q-4428.31)

香果树生殖生态学特征及恢复策略研究

科学出版社 农林与生命科学分社
联系电话: 010-64004576
E-mail: bio@mail.sciencep.com

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-061746-6



定价: 88.00 元

国家自然科学基金地区科学基金项目(31360145、31860200)资助出版

香果树生殖生态学特征 及恢复策略研究

郭连金 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是国家自然科学基金地区科学基金项目“濒危植物香果树生殖生态学特征及恢复机制研究”(31360145)及“濒危植物香果树无性繁殖及其适应策略研究”(31860200)的主要成果之一,是著者连续十余年对香果树(*Emmenopterys henryi* Oliv.)进行野外调查研究及室内实验研究的成果总结。全书共10章,从植物种群生态学及生殖生态学的角度研究了香果树种群的地理分布、群落特征、种群数量动态、空间分布格局、开花物候、生殖构件、种子雨、土壤种子库、实生苗数量及生长动态、根萌蘖能力及根萌苗生长动态等,阐明了香果树种群濒危的外在因素和内在因素,提出了相应的保护及恢复措施。

本书可为从事保护生物学、生态学、林学等研究的高等院校师生、科研人员提供参考,也可供广大农业、林业、生态等相关专业科技工作者和学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

香果树生殖生态学特征及恢复策略研究/郭连金等著. —北京:科学出版社, 2019.8

ISBN 978-7-03-061746-0

I. ①香… II. ①郭… III. ①茜草科-植物生态学-研究 IV. ①Q949.781.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第122177号

责任编辑:刘丹 马程迪 / 责任校对:严娜

责任印制:张伟 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年8月第一版 开本:720×1000 B5

2019年8月第一次印刷 印张:15 3/4

字数:305 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《香果树生殖生态学特征及恢复策略研究》

著者名单

郭连金 薛苹苹 王瑞庆 毛小涛 满百膺 朱海
周木华 程刚 徐卫红 邵兴华 章志琴 叶利民

前 言

植物是生物圈中最基本的组成部分, 占整个生物圈有机体的 95%, 是人类和动物赖以生存的物质基础。全世界有高等植物 24 万余种, 每年就要灭绝 200 余种。而一种植物的灭绝会引起 10~30 种其他生物消失。由于物种是构成生物群落进而组成生态系统的基本单元, 因此物种过度损失必然导致生态系统的不稳定乃至崩溃。随着生态环境持续恶化、生物多样性屡遭破坏、物种不断灭绝等问题日益受到国际社会的重视, 生物多样性保护的研究已成为生命科学研究的前沿和热点。濒危植物保护是生物多样性保护最基本的工作, 而珍稀濒危植物是生物多样性的优先保护对象。

香果树 (*Emmenopterys henryi* Oliv.) 是茜草科高大落叶乔木, 起源于中生代白垩纪, 是第四纪冰川运动幸存的古老孑遗树种, 为我国特有的单属树种, 因其分布范围逐渐缩减、种群数量减少, 1991 年被《中国植物红皮书》(第一册) 收录, 被列为稀有濒危植物、国家二类保护植物。香果树树形优美、花大色艳, 树皮可制蜡纸及人造棉, 树干可提取具有抗癌及消炎作用的活性物质, 是一种园林植物、经济植物及珍贵的药用植物, 且在原生境作为建群种在水源涵养、固土保土、环境保护中发挥着极为重要的作用。香果树分布较广, 生境为峡谷和溪流边, 其分布区包括江西、福建、湖北、河南、安徽、浙江等地。尽管香果树分布范围较广, 但由于该物种多零星分布, 且部分原生境遭到人为毁林开荒、单一种植或乱砍滥伐, 加上其自身种子萌发力较低导致其天然更新能力差, 因而自然分布范围逐渐缩减, 植株日益减少, 种群亟待恢复。

本书以香果树生殖生态学特征为主题, 对该物种的生态学特征、地理分布、种群数量动态、空间分布格局、开花物候及生殖构件特征、种子库及幼苗生长动态、种子萌发及实生苗生长的影响因素、根萌蘖能力及根萌苗生长特征、两种幼苗(根萌苗和实生苗)对更新的贡献等方面进行了详细的阐述, 特别是对香果树有性生殖更新过程及影响因素等方面进行了深入分析, 以揭示该物种的濒危机制, 并以上述研究为基础, 解释香果树濒危的原因, 提出有效的恢复措施, 以求为该物种的保护与恢复提供参考。

全书分为 10 章: 第 1 章综述了珍稀濒危植物生殖生态学发展史、研究内容及香果树的研究进展, 指出了香果树研究中存在的问题; 第 2 章研究了香果树的地理分布及其生物学特征和群落特征, 计算了其群落的多样性; 第 3 章分析了种群的龄级结构、生命表及存活曲线, 并对其种群数量进行了预测; 第 4 章分析了香果树种群的空间分布格局及其空间关联性, 研究了不同龄级间的差异性; 第 5 章

研究了香果树的开花进程、生殖构件特征，分析其生殖构件分布格局及其变异；第 6 章研究了香果树种群种子雨、种子库，分析香果树种子的命运及更新的脆弱环节；第 7 章研究了香果树种子的储藏条件、萌发条件及幼苗生长的影响因素，探寻其最佳萌发条件；第 8 章研究了香果树根萌苗的数量特征、性状、损伤对其根萌蘖能力的影响，探求促进香果树无性繁殖更新的人为措施；第 9 章分析了香果树林下的幼苗组成、生长特征、邻体竞争强度及范围等，分析其竞争力及适应力；第 10 章阐述了香果树的受危表现、致危因素，提出了香果树种群的恢复策略。

本研究得到了国家自然科学基金地区科学基金项目“濒危植物香果树生殖生态学特征及恢复机制研究”（31360145）及“濒危植物香果树无性繁殖及其适应策略研究”（31860200）资助，再次深表感谢！

感谢王生位、田玉清及肖志鹏等协助校对了书稿，感谢徐磊博士为本书绘制了部分图稿。

由于著者水平有限，书稿虽经多次修改、补充，仍难免有不妥之处，恳请专家、学者批评指正。

郭连金

2018 年 12 月 30 日于上饶

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 植物多样性与珍稀濒危植物	1
1.2 珍稀濒危植物生殖生态学	5
1.3 香果树的研究意义	9
1.4 香果树的发现及研究进展	10
1.5 香果树研究中存在的问题及分析	12
1.6 研究内容	13
第 2 章 香果树地理分布及其生物学特征和群落特征	15
2.1 研究方法	15
2.2 香果树地理分布	17
2.3 研究区概况	18
2.4 香果树生物学特征	19
2.5 香果树群落特征	22
第 3 章 香果树种群数量动态	31
3.1 研究方法	31
3.2 香果树龄级结构及动态	37
3.3 香果树种群的静态生命表	39
3.4 香果树种群的存活曲线	45
3.5 香果树种群时间序列预测	46
3.6 香果树种群谱分析	48
3.7 小结	51
第 4 章 香果树种群空间分布格局及其空间关联性	53
4.1 研究方法	53
4.2 香果树种群分布格局的分形特征	60
4.3 香果树幼苗种群的分布格局	66
4.4 香果树种群的点格局	68
4.5 香果树种群的空间关联性	70

4.6	小结	73
第 5 章	香果树种群开花物候及生殖构件特征	76
5.1	研究方法	77
5.2	香果树种群单花花期及开花进程	81
5.3	香果树生殖构件分布格局及数量特征	83
5.4	香果树果实及种子的特征及分异	89
5.5	香果树开花物候与生殖成功的相关性	93
5.6	小结	94
第 6 章	香果树种群种子雨、土壤种子库及其实生苗数量动态	99
6.1	研究方法	100
6.2	香果树种子特征及组成	105
6.3	香果树种子雨特征	106
6.4	香果树种子雨的强度分布	108
6.5	香果树土壤种子库的分布格局及其动态	110
6.6	香果树种子萌发及幼苗数量的影响因素	117
6.7	小结	122
第 7 章	香果树种子萌发及其实生苗生长的影响因素	127
7.1	研究方法	127
7.2	香果树种子千粒重及种子活力变化	131
7.3	环境因子对香果树种子萌发的影响	135
7.4	香果树实生苗初期生长的影响因素	143
7.5	小结	145
第 8 章	香果树根萌蘖能力及根萌苗生长特征	150
8.1	研究方法	151
8.2	香果树根萌苗的数量特征	153
8.3	香果树根萌苗性状及其影响因素	156
8.4	机械损伤对香果树根萌蘖能力的影响	159
8.5	小结	165
第 9 章	香果树自然更新中幼苗组成及其贡献	169
9.1	研究方法	170

9.2 香果树不同起源幼苗组成	173
9.3 香果树不同起源幼苗光合作用、水分生理特征	176
9.4 香果树幼苗邻体竞争强度及范围	181
9.5 小结	184
第 10 章 香果树种群的濒危原因及其恢复策略	188
10.1 濒危植物的致危机制及保护策略	189
10.2 香果树种群的受危表现	198
10.3 香果树种群的致危因素	201
10.4 香果树种群的恢复策略	204
主要参考文献	210
植物中拉名称对照	233
后记	242

第 1 章 绪 论

我国疆域辽阔，地跨热带、亚热带和温带 3 个气候地带，自然地理条件复杂，为生物及其生态系统类型的形成与发展提供了良好的条件，形成了丰富的野生动植物区系，我国是世界上野生植物资源最多、生物多样性最丰富的国家之一。但由于近年来经济的快速发展，不当的开发严重破坏了野生植物的生存环境，加之采用现代化技术设备滥砍滥伐，导致自然资源过度被利用，致使植物物种以远超自然状态的速度大量灭绝，植物物种资源的蕴藏量也急剧下降。目前，我国有 4000~5000 种植物处于濒危或受威胁状态，有的甚至已灭绝。植物的快速灭绝对人类而言是一种极大的灾难。植物在涵养水源，净化空气、水体及土壤，改善气候，为其他生物提供栖息场所，维持地区生态系统动态平衡等方面有着不可替代的作用；粮食问题至今仍是全球性的重要课题，而植物种子是人类主要的食物来源之一；同时，植物通过光合作用释放氧气，维持了大气圈中氧气含量的相对稳定；一个植物物种的灭绝可导致连锁反应，间接致使多个物种灭绝。因此，植物物种的快速灭绝会使我们失去适宜的生存场所、食物来源，以及呼吸所需的氧气。我国古代历来重视对植物的保护，讲究适度开发利用，当前我们正处于前所未有的植物大量灭绝的时代，植物资源的不当开发也已经引发一系列直接或间接的问题。为避免受到自然灾害的侵扰，保护我们居住的环境和我国丰富的动植物资源，我们需要加强对植物物种生境的保护，减少人为破坏，通过科学研究了解濒危植物的生态学特征，了解其天然更新策略及生物学特征，采取多种保护措施保护植物物种的多样性，尤其是加强对濒危植物的研究和保护力度。

1.1 植物多样性与珍稀濒危植物

1.1.1 植物多样性在自然界中的作用

地球大约在 47 亿年前开始形成，38 亿年前开始出现水和空气，由于当时空气中不含有 O_2 ，最初的生命形态是由原始大气中的一些简单气体分子获得了外界能量，在原始海洋里逐渐形成的一类具有一定形态结构的分子实体，进一步进化形成原始生命体。继原始生命体之后逐渐出现了光合生物，但此时的光合生物仅能利用 H_2S ，靠释放游离态的硫获取能量。直到 35 亿年前出现了蓝藻和

其他原始绿色植物，它们才开始利用 H_2O 分子，释放 O_2 。自从出现了绿色植物之后，大气中的含氧量逐渐增加，距今 19 亿年前，大气中的含氧量为现在含氧量的 0.1%，7 亿年前，达到 1%。大气中含氧量的不断增加是生命发展的必要条件。到了 5 亿年前的古生代，植物逐步繁盛起来，伴随着植物多样性的增加，动物逐渐出现。故植物多样性是推动生物界发展的原动力，动物必须依靠植物才能生存和繁衍。

植物在生物圈中是生产者，能够通过光合作用把吸收来的水和二氧化碳转化成碳水化合物，并将其进一步合成为脂肪和蛋白质等有机物。其中，植物所制造的部分有机物用于维持其自身的生命活动及组成其自身结构，其余有机物被其他生物所利用。植物死亡以后的残体，部分被储存下来形成煤炭、石油和天然气等重要的能源。有研究表明，一个森林群落除去呼吸作用消耗，其每天每公顷可产生相当于 75~300 kg 的葡萄糖，一年可生产 16.6×10^9 t 碳水化合物。植物的多样性产生了多样化的食物来源及药物来源等，为有不同需求的生物提供了生存的可能。人类的衣、食、住、行、所需药物及工业原料，大部分来自植物的光合产物。因此，植物多样性为动物多样性创造了条件，为动物的生存提供了物质基础。

随着工业生产规模的日益扩大，工厂排放的有害废气、废水、废液、废渣等大量进入大气、水体和土壤，导致环境污染。不同植物对环境污染的敏感程度不一致，相同的污染程度，有些植物或有轻微症状出现，而有些则可能死亡。对污染敏感的植物，可用来作为指示性植物，检测环境污染的程度。那些对某种污染不敏感，甚至具有富集污染物能力的植物，可以用于净化空气、净化污水和治理污染的土壤，从而达到污染环境的自身修复。因而，植物的多样性可以用于监测环境、改善环境，使之恢复原有的面貌。

1.1.2 植物多样性的危机及现状

随着人口的不断增加和社会经济的快速持续发展，人类的活动日益影响着地球的自然环境，导致森林加速消失，环境空前恶化，植物多样性正遭受着前所未有的破坏。大批植物物种由于原生境被破坏而处于濒临灭绝的境地。热带雨林是植物多样性的中心，热带雨林覆盖地球陆地表面的 7%，但其中拥有半数以上的植物物种。按照岛屿生物地理学说，每失去原有生境的 90%，就有一半物种消失。仅 1960 年以来，全世界 95% 的热带雨林被开辟为香蕉地、油田和居住地等，这表明物种已经消失了一半左右。

世界自然保护联盟 (IUCN) 保护监测中心认为，20 世纪末全世界有 50 000~60 000 种植物受到不同程度的生存威胁，即约每 5 种植物中就有 1 种植物的生存受到威胁。大量的物种灭绝必然导致人类生存环境的彻底崩溃，最终导

致人类本身的灭绝,因此保护野生动植物资源就是保护人类自己的生存环境(祖元刚,1999),其中,珍稀濒危植物的保护尤为重要。自1966年起,IUCN相继出版了濒危物种的红皮书及红色名录,其中有关濒临灭绝物种的等级划分标准得到国际社会的广泛承认。为了促使世界各国之间加强合作,控制国际贸易活动,有效地保护野生动植物资源,《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)于1973年3月3日在美国首都华盛顿签署。中国于1980年12月25日加入该公约。1994年11月30日,IUCN在第40次理事会上通过了其下属的物种生存委员会(SSC)提出的新濒危等级标准,更加客观地评估物种濒危的程度,为不同国家或地区的人们提供可以统一使用的体系。为进一步提高人们保护世界野生动植物的意识,2013年12月20日,第68届联合国大会将《濒危野生动植物种国际贸易公约》的签署日3月3日定为“世界野生动植物日”。

中国是世界上植物多样性最丰富的国家之一,拥有高等植物3万多种(Huang et al., 2011),超过了整个欧洲、北美洲植物种类的数量。中国的地形复杂多样,大部分地区未受到新近纪和第四纪冰川运动的影响,这使得中国成为世界上重要的植物物种形成、进化和保存中心,成为许多古老、特有、珍稀濒危植物的避难所,被誉为孑遗植物的摇篮,保留了许多北半球其他地区早已灭绝的孑遗濒危野生植物(盛茂银等,2011),如水杉(*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng)、银杉(*Cathaya argyrophylla* Chun et Kuang)、珙桐(*Davidia involucreta* Baill.)、台湾杉(*Taiwania cryptomerioides* Hayata)、银杏(*Ginkgo biloba* L.)、香果树(*Emmenopterys henryi* Oliv.)等。由于这些特有物种仅分布于中国,一旦生境破坏,它们就容易受到干扰,难以恢复而濒临灭绝。例如,1992年底,美国食品药品监督管理局(FDA)批准紫杉醇作为治疗癌症的新药以后,与美国合资的某企业因生产紫杉醇短短几年毁掉了高黎贡山1/5~1/3的红豆杉[*Taxus wallichiana* Zucc. var. *chinensis* (Pilg.) Florin Rehd.]。我国是药用人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)的发祥地,据我国古代本草记载,人参的最佳品是山西上党的上党人参,品质远超东北人参,但长期破坏性的采挖和对森林的破坏,引起自然生态环境条件的改变,最后导致上党人参的灭绝。由于对森林的破坏和过度采挖,人参资源破坏严重,据统计我国山参主产地吉林省1927年山参产量为750 kg,1951年降至362 kg,1981年降至128 kg,1997年仅为10 kg左右,目前山参资源也已近枯竭。20世纪80年代初期,石斛(*Dendrobium nobile* Lindl.)产量巨大,每年可销售上千吨鲜石斛。但由于需求量大,一些人采取砍伐大树收取石斛的手段,这不仅毁灭了大量石斛资源,也对原始森林造成了极大的破坏。到20世纪90年代末,云南已很难找到石斛了,资源已枯竭,导致其成为濒危植物。

据估计,在我国有4000~5000种高等植物处于受威胁或濒临灭绝的境地,并

有 200 种已经灭绝。我们知道, 1 个物种的缺失往往导致另外 10~30 种生物产生生存危机 (国家环境保护局, 1987), 按此推算, 我国有 40 000~150 000 种生物的生存正受到严重威胁, 如不采取措施, 也很快就要灭绝 (洪德元, 1990)。

为了加强植物保护工作, 1982 年 7 月, 在原国务院环保领导小组办公室和中国科学院植物研究所的主持下, 《中国植物红皮书》编辑组正式成立。1984 年第一批《中国珍稀濒危保护植物名录》公布; 1987 年国家中医药管理局公布了《药用动植物资源保护名录》, 1992 年林业部 (现为国家林业和草原局) 公布了《国家珍贵树种名录》, 且《中国植物红皮书》(第一册) 正式出版。1996 年 9 月 30 日, 我国第一部专门保护野生植物的行政法规——《中华人民共和国野生植物保护条例》(以下简称《条例》) 由国务院正式发布, 并自 1997 年 1 月 1 日起实施。1999 年 8 月 4 日, 国务院正式批准公布《国家重点保护野生植物名录 (第一批)》。该名录是由林业部 (现为国家林业和草原局) 和农业部 (现为农业农村部) 共同组织制定的, 共列植物 419 种, 其中一级保护的有 67 种, 二级保护的有 352 种, 受国家重点保护的野生植物共约有 1700 种。这些工作为我国珍稀濒危植物的保护奠定了基础。

1.1.3 珍稀濒危植物的研究意义

珍稀濒危植物是构成自然生态系统的组成部分, 在维护自然生态平衡中发挥着重要作用, 每一个物种在生态系统中都具有各自独特的地位, 是维持生态系统稳定的基本因素。特别是有些珍稀濒危物种是自然生态系统中的关键种, 在维持自然生态系统进程中发挥着重要作用, 一旦消亡, 将可能激发连锁效应, 直至打破自然生态系统的稳定性, 导致灾难性影响。珍稀濒危植物存在于生态系统中, 与其他物种处于同一生境中, 但在环境恶化的大背景下, 由于其自身适应力、生存能力差, 而最先表现出了受危症状。我们通过对其分布特征、种群统计、生殖生态、受危因素等进行研究, 能够阐明珍稀濒危物种濒危的原因和恢复的策略, 从而给整个生态系统解危和持续经营管理提供依据。

珍稀濒危植物是研究植物起源、系统进化的有力证据。第四纪以前的中生代, 是裸子植物极盛时期, 被子植物部分原始种类已出现。但由于第四纪冰川使得北欧、北美、亚洲北部及地球两极均被冰雪掩盖, 这些地区许多古老的植物物种灭绝, 而我国为山岳冰川, 大多数地区未被冰雪覆盖, 这使得我国保存了大量的珍贵植物。它们是活化石, 是研究种子植物起源演化、系统进化最直接的证据。

珍稀濒危植物是植物遗传育种的珍贵材料。每个物种就是一个基因库, 其中很多对人类来说都是良好的育种材料, 如 20 世纪 70 年代, 菲律宾国际水稻研究所的科学家在印度山谷发现了一种野生稻 (*Oryza rufipogon* Griff.), 从其

体内分离获得抗病基因,使得东南亚水稻免于绝收。我国杂交水稻之父袁隆平在海南因发现一株普通野生稻而培育出高产优质水稻,基本解决了中国人的吃饭问题。

珍稀濒危植物为古气候、古地质研究提供了鲜活的材料。很多濒危植物寿命特别长,其年轮宽度的变化为记录古气候变化的天然仪器,树轮中碳、氢、氧同位素是大气 CO₂ 浓度及其他气候因子变化信息的间接指示器,其含量比反映历史时期对应的天文和气候变化的相关信息(徐馨等,1992)。1915年,德国地球物理学家魏格纳提出大陆漂移学说引起争议,科学界很难接受,但后来随着各大陆古植物化石及现存的大量古老植物的惊人相似等证据的发现,这一学说得到普遍承认。

1.2 珍稀濒危植物生殖生态学

1.2.1 濒危植物生殖生态学研究史

美国是最早开展濒危植物研究的国家之一。从1973年《濒危物种法令》颁布起,美国保护生物学家就开始致力于这方面的研究(蒋有绪,1993)。1978年美国生态学家 Michael Soule 在第一次国际保护生物学大会上,宣布一门交叉学科可以帮助人类拯救由自身造成的大量正在灭绝中的动植物。1983年,美国生态学家 Willson 发表了专著《植物生殖生态学》,提出了生殖“配置原理”新理论,并对生殖生态学领域的研究成果进行了概括和总结,这标志着生殖生态学作为一门独立学科的产生。1989年, Bawa 发表了《热带森林植物生殖生态学》,同时发表了大量有关植物生殖生态学的研究论文、专著和综述。我国濒危植物保护的研究工作始于20世纪90年代,植物学工作者采用多学科综合的方式探索了濒危植物的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种典型濒危植物分别从种群生态学、遗传多样性等方面探索其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。近年来,随着我国学者对其生殖生态学方面的重视,该项领域的研究逐渐成为濒危植物保护的热点领域(盛茂银等,2011)。

1.2.2 濒危植物生殖生态学的主要研究内容

1. 生植物候研究

通过研究珍稀濒危植物的生植物候特征,寻找其濒危的原因,为保护和合理利用该物种提供理论依据。东北红豆杉(*Taxus cuspidata* S. et Z.)种子空粒和涩粒

比例很大,具有生活能力的种子含量低,这是其自然繁殖能力差的一个重要原因;雪莲花 [*Saussurea involucreata* (Kar. et Kir.) Sch.-Bip.] 采挖期常在其开花前和开花期,导致原生境无雪莲花种子而濒临灭绝(谭敦炎等,1998);单性木兰 [*Woonyoungia septentrionalis* (Dandy) Y. W. Law] 和长柄双花木 [*Disanthus cercidifolius* Maxim. subsp. *longipes* (H. T. Chang) K. Y. Pan] 则因缺乏传粉昆虫或昆虫传粉效率低而导致生殖失败(潘春柳,2007);独叶草(*Kingdonia uniflora* Balf. f. et W. W. Sm)的花粉萌发率低下,这是导致其濒危的一个重要因素(李红,2001)。

2. 繁育系统研究

植物的繁育系统是植物重要的生物学特征,代表着所有影响后代遗传组成的有性特征的总和。肉苁蓉(*Cistanche deserticola* Ma)的花粉、柱头共同保持较高活力的时间短,使其授粉受到严重影响,导致结实率不高,这可能是其濒危的原因之一(顾垒和张奠湘,2008)。肉苁蓉的杂交指数(OCI)为3,繁育系统自交亲和,属于雌雄同株植物中营自交亲和且以自交为主的物种,这导致种内遗传一致性增强,对可变环境的适应能力低下(宋玉霞等,2008)。云南蓝果树(*Nyssa yunnanensis* W. C. Yin)的两性花所产花粉粒无萌发孔,导致自花授粉受限,而雄花所产花粉量少,造成其极度濒危(Sun et al., 2009)。银杉的遗传多样性水平很低,其生态适应幅很窄,居群间分化强烈、基因流受阻、近交严重,这使银杉适应能力进一步下降,并使极为有限的遗传多样性进一步丧失,加剧了银杉的濒危程度(赖江山等,2003)。金花茶 [*Camellia petelotii* (Merr.) Sealy] 植物积累的资源有限,过高的花期、果期败育率使其结实率低,种子产量少,这是其濒危的一个主要原因(柴胜丰等,2009)。

3. 生殖值研究

生殖值是指一个平均年龄的个体,在其死亡之前对下一代的平均贡献或相对贡献,或指某年龄的成员从现在到死亡,对下一世代的贡献(Fisher, 1930)。不仅可以用它计算现实的生殖能力,而且还可以对种群的潜在生殖能力做出推测(陈远征和马祥庆,2007)。四合木(*Tetraena mongolica* Maxim.)的生殖值受环境因子的选择压力及种群存活率控制,在生境条件较差的滩地中,四合木种群生殖值要比生境较好的丘地高(徐庆等,2001)。缙云卫矛(*Euonymus chloranthoides* Yang)种群生殖值的高低受其种群数量及生境破碎化影响,即生境破碎化越严重,其种群越小,则其生殖值越大,但其生殖能力将会受到破坏(胡世俊等,2013)。太白红杉 [*Larix potaninii* Batalin var. *chinensis* (Beissn.) L. K. Fu et Nan Li] 在秦岭北坡的生殖值高,在南坡较低,故秦岭北坡太白红杉的生殖能力较强(王志高等,2004)。天女花 [*Oyama sieboldii* (K. Koch) N. H. Xia et C. Y. Wu] 的生殖值极大值出现的时间与群落的稳定性相反,较差的生境条件往往导致天女花最短时间内

达到生殖高峰期(郭连金等, 2012)。

4. 生殖分配和生殖投资研究

生殖分配是植物在其生长发育过程中,所产生的同化物质分配到生殖器官中的比例,是生殖生态学中的热门领域。野生胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata* Batal.)种群对有性生殖的投资比例较小,大部分用于营养生长(周小玲等, 2012)。生境条件和种群大小对川鄂连蕊茶(*Camellia rosthorniana* Hand.-Mazz.)种群的生殖分配有显著影响,其生殖分配与个体大小间存在抛物线性关系(操国兴等, 2005)。斑叶兰(*Goodyera schlechtendaliana* Rchb. F.)的生物量生殖分配表现出随分布群落演替阶段的提高而下降的趋势,其生殖分配表现出一年生植物的生殖分配特性(肖宜安等, 2006)。在鹅掌楸[*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sargent.]的营养生长和生殖两方面,资源不平衡分配,生殖和营养结构发育所需的资源位在时间上重叠(方炎明等, 2004)。

5. 生殖产量研究

生殖产量包括花蕾、花、果实及种子等生殖器官的产量,决定着濒危植物的潜在种群。四川大头茶[*Polyspora speciosa* (Kochs) Bartholo et T. L. Ming]花蕾产量和果实产量随着年龄的增大呈增高趋势,花粉游离脯氨酸含量与花蕾产量无关,但与果实产量呈显著正相关关系(曾波等, 2001)。金缕梅(*Hamamelis mollis* Oliver)种群的果实产量与其冠幅具有显著正相关关系,而与其树高、地径及枝下高等相关性不显著(黄绍辉和方炎明, 2005)。二年生歪头菜(*Vicia unijuga* A. Br.)生殖利用率较高,环境干扰和养分竞争等因素影响其生殖产量的高低(沈紫微等, 2014)。“新牧1号”杂花苜蓿的营养生长和生殖生长交替时间较长,由于对光合产物存在激烈竞争,苜蓿生殖分配比例较低(张爱勤等, 2007)。

6. 种子特征和幼苗生态学研究

种子和幼苗是濒危植物自然更新的重要环节,通过研究其种子命运、萌发特性和幼苗建成过程可以寻找其育种、育苗的有效途径,对扩大种群数量和避免种群灭绝具有重要意义(陈远征和马祥庆, 2007)。大果青扦(*Picea neoveitchii* Mast.)树龄越大,其种子生活力越高,但其存在强休眠、低萌发率的特性,导致其更新困难(杨帆等, 2015)。蛛网萼(*Platycrater arguta* Sieb. et Zucc.)种子小,虽然能够占有更多的安全位,但在竞争中处于劣势;种子在合适的条件下萌发速度慢、发芽率低、对温度和水分的要求高等因素可能是导致该物种濒危的重要原因(张丽芳等, 2015)。种皮阻碍了新疆野苹果[*Malus sieversii* (Ledeb.) Roem.]种子的萌发(闫秀娜等, 2015)。珙桐、翅果油树(*Elaeagnus mollis* Diels)、裂叶沙参(*Adenophora lobophylla* Hong)等果实的构造不利于种子传播及发芽(陈坤荣和赵