

濒危植物香果树幼苗空间格局及数量动态研究

郭连金

(上饶师范学院, 江西上饶 334001)

摘要: 采用相邻格子样方法采集数据, 应用理论分布模型、分布系数法、Morisita 格局指数法、聚集强度指数以及 Greig-Smith 区组均方方法研究了香果树幼苗种群空间格局, 结果表明: (1) 濒危植物香果树幼苗呈聚集分布, 聚集强度受区组尺度的影响较大, 随尺度的增加而减小; 不同幼苗种群格局强度随着纬度增加, 也呈现下降的趋势。 (2) Greig-Smith 区组均方方法研究显示, 香果树种群在 $8\sim 16\text{ m}^2$ 和 $50\sim 64\text{ m}^2$ 处聚集; 香果树幼苗大小结构呈现出高度在 $0\sim 40\text{ cm}$ 范围内幼苗较多现象, 但经过强烈的环境筛选, 大部分生长未达到 120 cm 而死亡。 (3) 主成分分析表明, 香果树幼苗受乔木盖度、灌木盖度、光照强度以及大气的温湿度影响较大。因此, 建议加强香果树原生生境的保护, 严禁对香果树幼苗进行滥砍、滥伐、放牧等破坏; 通过降低乔木层和灌木层盖度, 清理林下枯落物、苔藓等, 增加林下光照强度, 建立小面积林窗, 促进香果树幼苗发育。

关键词: 空间分布; 聚集强度; 种群格局; 主成分分析

中图分类号: Q948.12⁺1

文献标志码: A

Spatial Distribution Pattern and Number Dynamics of *Emmenopterys henryi* Seedlings Endangered in China

GUO Lianjin

(Shangrao Normal University, Shangrao, Jiangxi 334001, China)

Abstract: Based on the method of contiguous grid quadrat, the *Emmenopterys henryi* seedlings field data were sampled, I studied the spatial distribution of them by using the tests of discrete distribution pattern, dispersal index, Morisita's pattern index, aggregation intensity and Greig-Smiths' mean variance method. The result showed that the distribution pattern of *E. henryi* seedlings was clustering. The aggregate intensity was affected greatly by group scale, and dropped with the scale increasing. The trend of the aggregate intensity also declined with the increase of altitude. It was displayed that *E. henryi* seedlings clumped in $8\sim 16\text{ m}^2$ and $50\sim 64\text{ m}^2$ from Greig-Smiths' mean variance analysis. A large number of *E. henryi* seedlings were less than 40 cm tall, and most of them died before the height of 120 cm due to the strong environmental screening. The tree coverage, shrub coverage, intensity of illumination, atmosphere temperature and atmosphere humidity were the main factor affecting on the growth, survival and distribution of *E. henryi* seedlings by principal component analysis. In order to promote *E. henryi* seedlings development, native habitat should be protected and the natural regeneration should be strengthened through by thinning, cleaning up the moss, litter and others.

Key words: spatial distribution; aggregate intensity; population pattern; principal component analysis

收稿日期: 2014-04-15; 修改稿收到日期: 2014-08-02

基金项目: 国家自然科学基金(31360145); 江西省教育厅科技计划项目(GJJ08463)

作者简介: 郭连金(1976—), 男, 副教授, 主要从事植物生态学、生物多样性的教学和科研工作。E-mail: guolianjin@163.com

种群是物种遗传和物种存在、适应、繁殖进化的基本单位^[1],其空间格局是种群生物学特性、种内种间关系及环境条件综合作用的结果,是种群的基本数量特征之一^[2]。研究种群的分布格局不仅能反映种群空间变化规律,体现种群动态及其群落演替趋势^[3],而且可以对种群的水平结构进行定量描述,揭示种群格局的成因,阐述种群及群落的动态变化等,为保护措施的制定提供一定的科学依据^[4]。种群大小结构不仅直接影响着群落结构,还能客观反映种群乃至整个群落的发展、演变趋势,且对种群动态变化有预测作用,是种群生态研究的热点之一^[5]。

香果树(*Emmenopterys henryi*)属茜草科,是第四纪冰川幸存者遗植物之一,为中国特有单属植物,是研究茜草科系统发育、形态演化及中国植物地理区系的重要材料,为国家Ⅱ级重点保护植物和林业部公布的国家珍贵树种^[6-9]。该物种主要分布在江西、湖北、河南等地的亚热带中山或低山地区的阔叶林和毛竹林中。近年来,关于种群格局方面的研究虽有不少的报道,香果树种群数量结构研究也已有报道^[10-11],但有关幼苗分布格局及大小结构方面的研究尚未见报道。而幼苗分布格局及大小结构可反映香果树更新状况,因此本实验采用传统的格局分析方法对香果树幼苗格局的变化特征分别进行了分析,以期揭示香果树幼苗空间分布格局、数量特征,阐释该种群的结构和功能,为该种群保护提供理论依据。

1 研究地自然概况

研究地由北到南分别设在伏牛山宝天曼自然保护区(33°25′~33°33′N,110°53′~112°E)、罗田大别山(29°45′~31°48′N,114°~116°07′E)、三清山风景区(28°54′~28°58′N,117°59′~118°30′E)和武夷山国家级自然保护区(27°33′~27°54′N,117°27′~117°51′E),其中宝天曼自然保护区位于伏牛山南麓,秦岭东段,年平均气温9~9.4℃,年平均降雨量893.2 mm,年蒸发量991.6 mm,相对湿度51.2%,≥10℃的年积温4 200~4 900℃,无霜期低山区227 d,土壤类型主要为黄棕壤、棕壤和暗棕壤,植被类型以温带落叶阔叶林为主^[12];罗田大别山位于大别山南麓,年平均气温9.5~12℃,年平均降雨量1 629 mm,相对湿度62.5%,≥10℃积温4 500~5 500℃,土壤类型主要以黄棕壤和山地黄棕壤为主^[13];三清山是位于德兴和玉山两县交界处,年均温10~12℃,年均降雨量1 840.9 mm,无霜期266

d,年均相对湿度78%。植被以常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、山地矮曲林、针叶林、竹林等为主,土壤主要为红壤、黄红壤、山地黄壤、黄棕壤等类型^[14];武夷山自然保护区年平均气温在12~13℃,年降水量约2 150 mm,年蒸发量1 492 mm左右,相对湿度84%,无霜期253~272 d。土壤类型主要有红壤、黄红壤、黄壤和山地草甸土^[15]。

香果树在研究地主要分布于落叶阔叶林、常绿落叶阔叶林、针阔混交林以及毛竹林中。宝天曼香果树种群伴生种主要有黑桦(*Betula chinensis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsiniifolia*)、大叶朴(*Celtis koraensis*)、山胡椒(*Lindera glauca*)、金钱草(*Lysimachia christinae*)、三脉紫菀(*Aster ageratoides*)等;罗田大别山香果树种群主要的伴生种有枫香(*Liquidambar formosana*)、大叶榉(*Zelkova schneideriana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、多脉鹅耳枥(*Carpinus polyneura*)、灯台树(*Bothrocaryum controversum*)、紫弹朴(*Celtis biondii*)等;三清山香果树伴生种主要有甜槠(*Castanopsis eyrei*)、多脉青冈(*Cyclobalanopsis multiervis*)、细叶青冈(*Cyclobalanopsis gracilis*)、云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)、黑桫(*Eurya macartneyi*)、圆锥绣球(*Hydrangea paniculata*)等;武夷山保护区香果树中群主要的伴生种有银鹊树(*Tapiscia sinensis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、红脉钓樟(*Lindera rubronervia*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、野鸭椿(*Euscaphis japonica*)、毛竹(*Phyllostachys pubescens*)、亮叶红淡(*Adinandra nitida*)、伞形绣球(*Hydrangea umbellata*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)、兔儿伞(*Syneilesis aconitifolia*)、黄堇(*Corydalis amabilis*)、菝葜(*Smilax china*)、糯米团(*Gonostegia hirta*)等。

2 研究方法

2.1 取样方法

经充分踏查,在武夷山(A)、三清山(B)、罗田大别山(C)及伏牛山(D)香果树分布样区内选择典型样地各4块,样地面积为20 m×20 m,进行群落调查(表1)。调查内容包括:(1)生境。地貌地形,土壤,坡向,坡位和砾石覆盖率以及群落内环境因子,其中光照、大气温度和湿度分别利用了ZDS-10型光照计和DHM2型通风干湿温度计,在距地面0.5 m处测定^[16]。(2)群落学特征。树种组成、高度、盖

表 1 研究区样地概况

Table 1 The characteristics of different plots in study area

样区 Sample area	样地号 Plot number	海拔 Altitude /m	坡向 Slope face	坡度 Slope degree/°	乔木层盖度 Arbor coverage/%	灌木层盖度 Shrub coverage/%	光照林外/林内 Relative light intensity/%	湿度 Annual mean humidity/%	温度 Mean air temperature/%	砾石覆盖率 Gravel coverage/%
A	Q1	1 256	S	5	0.7	0.5	8.7	49	9.3	81
	Q2	1 278	SW	11	0.6	0.4	6.8	42	12	76
	Q3	1 297	SE	25	0.8	0.7	7.2	38	14.5	87
	Q4	1 427	S	40	0.8	0.7	29.3	40	13.2	89
B	Q5	1 300	S	10	0.4	0.2	5.8	38	10.8	73
	Q6	1 180	NW	37	0.8	0.8	18.4	44	8.4	78
	Q7	1 150	NW	35	0.6	0.3	6.9	34	13.1	75
	Q8	1 250	E	37	0.5	0.8	8.4	36	11.9	86
C	Q9	921	NW	25	0.6	0.7	4.6	24	13.8	72
	Q10	938	SW	28	0.8	0.6	7.8	36	10.2	76
	Q11	856	SE	30	0.6	0.6	5.5	30	12.3	68
	Q12	760	NE	28	0.8	0.7	14.3	41	9.4	75
D	Q13	714	W	45	0.7	0.8	4.3	33	11.1	70
	Q14	753	SE	15	0.7	0.6	8.6	22	13.9	87
	Q15	782	SW	23	0.6	0.7	2.6	27	12.5	68
	Q16	851	S	12	0.7	0.8	11.9	37	8.5	65

注:A.武夷山;B.三清山;C.罗田大别山;D.伏牛山;下同。

Note: A is *E. henryi* in Wuyi Mountain; B is *E. henryi* in Sanqing Mountain; C is *E. henryi* in Dabie Mountain; D is *E. henryi* in Funiu Mountain; The same as below.

度等^[16-19]。(3)高度小于 2 m 的香果树幼苗、幼树个体定位。以样地一边为 X 轴,以其垂直边作为 Y 轴建立平面直角坐标系,记录每一株的坐标值,对样地内香果树幼苗、幼树植株进行每木定位,记录每木的具体坐标、基径、胸径、树高、冠幅。

2.2 分布类型及聚集强度

以分布系数法(C_x)的 t 检验法和 Morisita 指数(I_δ)的 F 检验法对种群进行空间格局类型划分^[19],种群分布格局的聚集强度采用负二项指数(K)法、Cassie 指标(C_A)、丛生指标法(I_C)、平均拥挤度(m^*)以及聚块性指数法(m^*/m)等方法进行计测^[19-21]。

2.3 格局规模

运用 Greig-Smith 的方法计算各区组的均方并绘制格局规模图,具体计算方法见文献^[22]。

本研究将各样地划分为 2、4、8、16、32、50、64、128 m² 等 8 个区组,进行格局强度和格局规模分析。

2.4 种群大小结构

根据 Rundel^[23]的研究,采用胸径或树高作为个体大小的指标。本研究选取树高代表个体的大小(或年龄)来研究其组成结构。将香果树幼苗、幼树高度(H)每隔 40 cm 划分一个等级,共分为 5 级。统计每一高度级个体株数,作为该生境种群动态分

析的基础数据。根据每一高度级个体数统计,绘制高度级结构图^[24]。

2.5 数据处理

采用 SPSS 17.0 统计软件对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 分布格局类型及强度

郭连金通过分形维数(计盒维数)的计算得出香果树的个体聚集尺度(拐点尺度)为 2.5~3.3 m^[15],本研究选取与之尺度相近的面积尺度 4 m×2 m 进行分析,以真实反映其格局类型及强度。

离散分布拟合判断为随机和聚集型,而扩散系数和 Morisita 指数判断武夷山、三清山、罗田大别山中香果树种群为聚集型(表 2),说明聚集型是该种群的基本属性。当取样面积为 4 m×2 m 时,武夷山香果树幼苗聚集强度最大,其次是罗田大别山,伏牛山最小(表 3)。取样尺度在研究分布格局上是非常重要的,取样尺度不同往往格局强度有所不同,聚块指数与取样尺度关系分析表明(图 1),随着取样尺度的增大,聚集强度逐步减小,且各群落间的差异也逐渐减小。聚块指数与其它聚集强度指标显示结果基本一致。

表 2 不同样区香果树幼苗格局类型分析(面积尺度为 4 m×2 m)
Table 2 Analysis of spatial patterns of *E. henryi* seedlings in deferent sample areas(S=4 m×2 m)

样区 Sample area	离散分布拟合 Discrete distribution fitting				分布系数 Dispersal index				Morisita 指数 Morisita's spattern index		
	泊松分布 Poisson	负二项分布 Negative binomial	奈曼 A 分布 Neyman A	格局 Pattern	C_X	T	$t_{0.05}$	$I\delta$	F	$F_{0.05}$	格局 Pattern
A	9.64	0.06	0.77	C_d	1.68	3.37 *	1.98	2.32	1.69 *	1.24	C_d
B	7.75	2.19	1.54	C_d	1.32	1.59	1.98	1.49	1.33 *	1.24	C_d
C	1.73	0.91	0.83	R_dC_d	1.1	0.52	1.98	1.28	1.11	1.24	R_dC_d
D	2.63	0.27	1.07	R_dC_d	1.5	2.47 *	1.98	2.13	1.53 *	1.24	C_d

注: C_d , 集群分布; R_d , 随机分布; * 表示差异显著($P<0.05$)。
Note: C_d represents clumped distribution; R_d represents random distribution. * represents significant difference at 0.05 level.

表 3 不同样区香果树幼苗空间分布格局分析(面积尺度为 4 m×2 m)
Table 3 Analysis of spatial distribution pattern of *E. henryi* seedlings in deferent sample areas(S=4 m×2 m)

样区 Sample area	均值 Mean	方差 Variance	聚集强度的参数 Index of intensity			
			负二项指数(K) Negative binomial parameter	Cassie 指标(C_A) Cassie's index	丛生指标(I_C) Clumping index	平均拥挤度(m^*) Mean crowing index
A	0.68	0.90	0.78	1.28	0.68	1.96
B	0.92	1.31	2.13	0.47	0.32	1.04
C	0.42	0.46	4.05	0.25	0.10	0.90
D	0.46	0.69	0.93	1.08	0.50	1.58

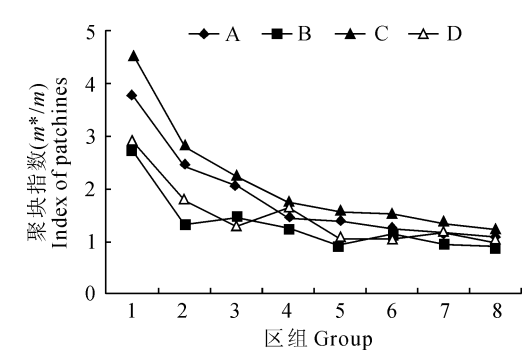


图 1 不同样区香果树幼苗聚集强度分析
1~8 为区组编号, 区组所对应的样地面积依次为
2、4、8、16、32、50、64、128 m²; 下同
Fig. 1 Analysis of aggregate intensity of *E. henryi*
seedlings in deferent sample areas
1~8 represent group numbers, and the corresponding
sample areas of each group are in order of 2, 4, 8,
16, 32, 50, 64, 128 m². The same as below

3.2 聚集规模

香果树幼苗聚集规模如图 2 所示。格局分布图在区组 4~5 和区组 6~7 处出现两个峰值, 区组 4 聚集尺度 8 m², 区组聚集尺度 5 为 16 m², 区组 6 为 50 m², 区组 7 为 64 m², 表明不同山区香果树幼苗个体为集群分布, 在面积为 8~16 m² 和 50~64 m² 时聚集强度较大。由此可见, 香果树的聚集强度远小于其他木本濒危植物^[25-26], 这与康华靖等^[10]对大

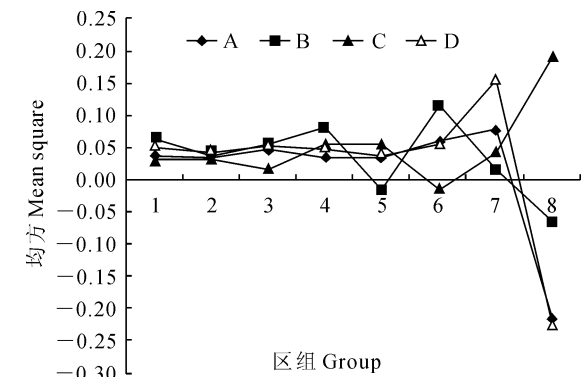


图 2 不同样区香果树幼苗聚集规模分析
Fig. 2 Analysis of pattern scale of *E. henryi*
seedlings in deferent sample areas

盘山不同生境香果树种群聚集规模所研究的结果基本一致。香果树幼苗均方的第一个峰值出现在区组 4, 表明所取的起始区组面积偏小。为了更清楚地显示斑块性, 均方峰值出现在区组 2 以后为佳^[27]。所以在以后对香果树幼苗分布格局的研究中起始区组面积以 4 m² 为宜。

3.3 幼苗大小结构

由于香果树幼苗较少, 本研究将同一地区 4 个样地所发现的幼苗合并, 绘制大小结构图(图 3)。由图显示, 香果树幼苗主要集中在 I 级(高度 0~40 cm), 当高度达到 80~120 cm, 其数量锐减, 其中武夷山香果树幼苗变化幅度最大(49 棵幼苗在竞争中

死亡),伏牛山最小(24 棵死亡)。Ⅲ级以后幼苗数量变化趋于平缓。

3.4 环境因子对香果树种群结构的影响

环境因素对香果树幼苗的生存、生长有重要影响。为了明确各因子的影响程度,本研究选择 8 个独立的环境因子进行了主成分分析(表 4)。第一主成分的贡献率为 31.36%,主要因素为灌木层盖度、乔木层盖度、光照的主分量大于 70%,说明这些因素对幼苗数量结构形成具有重要意义;在第二主成分中,主要因素为大气温度和湿度(−0.89,0.86);在第三主成分中砾石覆盖率对香果树幼苗生长起着关键作用。香果树种子萌发需光,幼苗耐阴,因此适宜的乔木、灌木盖度可以使香果树幼苗获得适量的

光照强度,过强的光照抑制幼苗生长甚至死亡,从而影响了香果树幼苗的大小结构和分布格局;研究发现在湿度大、温度低的密集毛竹林下幼苗很少(表 1,Q1 样地);砾石的盖度及分布影响着香果树幼苗的分布,香果树幼苗均出现于岩石缝隙中。可见,香果树幼苗的发育、分布与光照强度、大气温湿度以及砾石覆盖率等因子有着密切的关系,而受坡向、坡度影响较小。

4 讨 论

4.1 分布格局方法选择

植物种群空间分布格局,是其对环境的适应能力、竞争力、占据空间能力的综合反映^[28]。格局分析的尺度问题历来受到许多学者关注,分形维数强调了尺度的重要性,尺度变化的内涵通过分形维数的变化反映出来,是刻画尺度依赖问题的有力工具,可以用来定量反映种群的空间生态位,揭示种群对生态空间的占据能力和程度^[15]。而 Greig-Simth 的区组分析是采用相邻格子法,克服了单一取样的缺点,既可以进行分布格局的测定,又可以分离分布格局规模与强度。但相邻格子存在取样尺度问题,从而影响分布格局的测定^[29]。本研究基于分形维数计算出香果树聚集尺度为参照,采用 Greig-Simth 区组对香果树幼苗进行分布格局规模、强度分析,可以弥补上述两种方法的缺点,研究结果更具说服力。

4.2 香果树分布格局及种群结构特征

香果树幼苗的空间分布格局在不同纬度山区基本呈集群分布,由武夷山至伏牛山,其聚集强度呈现逐步下降趋势。香果树幼苗分布格局聚集强度受尺度影响较大,随着尺度的增大,其强度逐步减小。运用 Greig-Smith 方法对聚集规模进行分析,不同山区的香果树幼苗聚集规模大体上都介于 8~16 m² 和 50~64 m² 之间。武夷山香果树种群计盒维数介于 0.872 3~1.629 2 之间,表明其个体分布聚集程度较低^[15],与本研究结果有一定差异,其原因:前者研究的是武夷山香果树不同类型整个种群,而本研究主要是针对香果树幼苗。由上述结果可见香果树在生长过程中存在自疏和他疏作用,部分幼苗在竞争过程中死亡,导致其整体聚集程度下降,对空间占据程度较弱。香果树在中国为衰退种群,出现明显的退化迹象^[10,15,30]。其分布面积虽然较广,但是大树大多散生于疏林中,加之该种群数量较少,更新能力差^[7],这种分布格局特征不仅与其本身特性和竞争有关,而且与其生境有密切联系。武夷山香果树

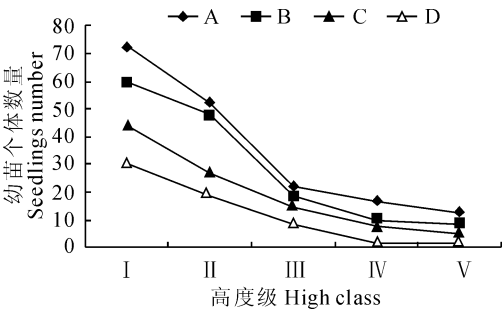


图 3 不同样区香果树幼树的高度级结构

H. 香果树幼树高度: I. $H < 40\text{ cm}$; II. $40\text{ cm} \leq H < 80\text{ cm}$; III. $80\text{ cm} \leq H < 120\text{ cm}$; IV. $120\text{ cm} \leq H < 160\text{ cm}$; V. $160\text{ cm} < H$
Fig. 3 The height class structure of different *E. henryi* seedlings in deferent sample areas

H. Represents the height of *E. henryi*; I, II, III, IV and V represent $H < 40\text{ cm}$, $40\text{ cm} \leq H < 80\text{ cm}$, $80\text{ cm} \leq H < 120\text{ cm}$, $120\text{ cm} \leq H < 160\text{ cm}$, $H > 160\text{ cm}$, respectively

表 4 香果树群落内不同环境因子的贡献率和主分量值
Table 4 The contribution rate and principal component value of different environment factors

环境因子 Environmental factor	主分量 Principal component		
	1	2	3
灌木层盖度 Shrub coverage/%	0.81	−0.01	−0.07
光照 Relative light intensity/%	0.77	0.45	0.47
乔木层盖度 Arbor coverage/%	0.72	0.32	0.23
坡度 Slope degree/°	0.57	−0.27	−0.11
温度 Mean air temperature/℃	−0.05	0.89	0.31
湿度 Annual mean humidity/%	−0.01	−0.86	0.28
砾石覆盖率 Gravel coverage/%	0.20	−0.12	0.90
坡向 Slope face/°	0.11	−0.07	−0.65
各成份贡献率 Contribution rate of each component/%	2.51	1.75	1.47
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	31.36	21.86	18.38

大多分布于茶园边、溪流边,香果树受人为干扰较多,林地光照较为充足,幼苗数量较多,形成了沿河流分布的较强聚集度的分布格局。因而种群格局通常反映着一定环境因子对个体行为、生存和生长的影响^[31]。

4.3 香果树幼苗生长影响因子及保护建议

主成分分析结果显示,香果树幼苗受乔、灌木盖度、光照强度以及大气温、湿度影响较大,可见香果树幼苗对光照要求较高。一般来说,不同濒危植物由于其生物学、生态学特性的不同,其恢复潜力存在差异,喜光植物比耐阴植物容易恢复^[32-33]。如太白红杉(*Larix chinensis*)种群年龄结构呈衰退趋势,但太白红杉属于阳性植物,幼苗数量较少主要原因是林下郁闭导致幼苗不能正常生长^[25];秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)是耐阴植物,其更新困难不仅是光照问题,还有自身的生活力和适应性问题^[34]。而香果树喜光,为阳性树种,但幼树能耐庇荫,能在光照充足且侧方庇荫的地段生存^[35],因此其幼苗匮乏

主要是由于自身生活力和对环境的适应较差所致。

植物物种保护是生物多样性保护最基本的工作^[36]。保护生物多样性必须从保护物种开始,而目前最迫切的任务是珍稀、濒危物种的保护。由于自身适应能力、环境恶化及人为干扰等,香果树数量正在急剧减少,更新困难,亟需加以人工保护。自然条件下香果树始花期长,母树少且2~4年结果一次,尽管产种量较大,但种子萌发率极低,野外观测实生苗很少,因此香果树主要依靠伐桩萌条、根蘖等繁殖,无性繁殖不能产生新的基因信息,香果树的生长适应性和生存力不能随环境变化而不断进化,导致香果树生活力下降,对自然界的适应性、竞争力下降。针对这一生物学特性,要严禁砍伐、破坏母树,尤其是20年生以上的母树^[11];对原生生境进行人为保护;在其天然分布区内,通过间伐、砍灌、清理林下活地被物等抚育措施,建立小面积林窗,营造对喜荫和怕光直射的香果树幼苗生长^[8]的有利生境;通过采集种子,人工育苗,扩大人工种群数量。

参考文献:

- [1] HARPER J L. Population Biology of Plants[M]. Caldwell: The Blackburn Press, 2010: 1-20.
- [2] 曲仲湘, 吴玉树, 王焕校, 等. 植物生态学(第2版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [3] ZHANG CH(张超), HUANG Q L(黄清麟), PUBU D ZH(普布顿珠), et al. Population distribution patterns of shrub in Tibet[J]. *Journal of Mountain Science*(山地学报), 2011, **29**(1): 123-128(in Chinese).
- [4] 周纪伦, 郑师章, 杨持. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [5] WU X P(吴晓蕾), ZHENG Y(郑豫), MA K P(马克平). Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing[J]. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), 2002, **44**(2): 212-223(in Chinese).
- [6] LI T H(李铁华), ZHOU Y X(周佑勋), DUAN X P(段小平), et al. Physiological characteristics of the dormancy and light-sensitive germination of *Emmenopterys henryi* seeds[J]. *Journal of Central South Forestry University*(中南林业学院学报), 2004, **24**(2): 82-84(in Chinese).
- [7] LI ZH Y(李中岳), BAN Q(班青). Biological characteristics and propagation method of *Emmenopterys henryi*[J]. *Forestry Science and Technology*(林业科技开发), 1995, **4**: 37-38(in Chinese).
- [8] LIU J(刘军). Protection and utilization of *Emmenopterys henryi*, the second class plant in China[J]. *Gansu Science and Technology*(甘肃科技), 2003, **19**(10): 151-152(in Chinese).
- [9] TAN F(谈锋), LIU Y CH(刘玉成), WANG X L(王小龙). Rapid propagation of *Emmenopterys henryi*[J]. *Journal of Southwest China Teachers University*(Nat. Sci. Ed.) (西南师范大学学报·自然科学版), 1992, **17**(2): 260-263(in Chinese).
- [10] KANG H J(康华靖), CHEN Z L(陈子林), LIU P(刘鹏), et al. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2007, **27**(1): 389-396(in Chinese).
- [11] KANG H J(康华靖), LIU P(刘鹏), CHEN Z L(陈子林), et al. Size-class structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in different habitats[J]. *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学), 2007, **43**(12): 22-27(in Chinese).
- [12] ZHU C B(朱从波), WANG W L(王万里), LIU X J(刘晓静), et al. Study on rare and endangered plants in Baotianman Nature Reserve[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*(安徽农业科学), 2011, **39**(16): 9467-9470(in Chinese).
- [13] FANG Y P(方元平), XIANG J(项俊), HU Y(胡扬), et al. Present situation of *Emmenopterys henryi* resource protection in Dabieshan in Eastern Hubei[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*(安徽农业科学), 2007, **35**(6): 1756-1757(in Chinese).
- [14] GUO L J(郭连金), HE Y(贺昱), XU W H(徐卫红). Reproductive strategy of endangered plant *Magnolia sieboldii* in Sanqing Mountain[J]. *Plant Science Journal*(植物科学学报), 2012, **30**(2): 153-160(in Chinese).

- [15] GUO L J(郭连金), LI M(李 梅). Fractal analysis of the distribution pattern of an endangered plant, *Emmenopterys henryi* population in Wuyi Mountain[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2009, **29**(5): 867—873(in Chinese).
- [16] GUO L J(郭连金), LI Y E(李永娥), LI M(李 梅). Analysis on quantitive dynamics of *Castanopsis carlesii* population in Wuyishan Nature Reserve[J]. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报), 2007, **22**(5): 27—31(in Chinese).
- [17] FANG Y(方 彦). Research advance on the propagation technique of *Emmenopterys henryi* Oliv[J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology* (江苏林业科技), 2007, **34**(1): 46—49(in Chinese).
- [18] WANG Y L(王玮玲), ZHANG Q D(张钦弟), HAO X J(郝晓杰), *et al.* Structure and spatial population distribution of *Acer ginnala* in Qiliyu, Shanxi[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2012, **32**(5): 1 027—1 035(in Chinese).
- [19] LI SH F(李帅锋), LIU W D(刘万德), SU J R(苏建荣), *et al.* Age structure and spatial distribution patterns of *Taxus yunnanensis* population in Lanping County, Yunnan Province[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(4): 792—799(in Chinese).
- [20] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Structure and spatial distribution pattern of *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, **31**(10): 2 100—2 105(in Chinese).
- [21] HE SH 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[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1999, **23**(1): 87—95(in Chinese).
- [22] GREIG-SMITH P. Quantitative Plant Ecology 3rd end[M]. Black-well Scientific Publications, Oxford, 1983.
- [23] RYBDEL P. Community structure and stability in the giant Sequoia groves of the Sierra Nevada, California[J]. *American Midland Naturalist*, 1971, 85: 487—492.
- [24] HONG W(洪 伟), WANG X G(王新功), WU CH ZH(吴承祯), *et al.* Life table and spectral analysis of endangered plant *Taxus chinensis* var. *mairei* population[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(6): 1 109—1 112(in Chinese).
- [25] GUO H(郭 华), WANG X A(王孝安), XIAO Y P(肖娅萍). Spatial distribution pattern and fractal analysis of *Larix chinensis* populations in Qinling Mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(2): 227—232(in Chinese).
- [26] ZHANG W H(张文辉), XU X B(许晓波), ZHOU J Y(周建云), *et al.* Pattern and dynamics of the spatial population distribution of endangered *Abies chensiensis*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2005, **25**(9): 1 840—1 847(in Chinese).
- [27] 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995.
- [28] SHI SH Y(石胜友), GUO Q G(郭启高), CHENG M H(成明昊), *et al.* Fractal properties of the spatial pattern of *Alsophila spinulosa* population in Mopangou, Fuling[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2005, **24**(5): 581—584(in Chinese).
- [29] 彭少麟. 南亚热带森林群落动态学[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [30] GUO L J(郭连金). Population structure and dynamics of the endangered plant *Emmenopterys henryi*[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), 2009, **27**(5): 509—514(in Chinese).
- [31] MA K P(马克明), ZU Y G(祖元刚). Fractal properties of the spatial pattern of *Larix gmelini* population-Information dimension[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2000, 20: 187—192(in Chinese).
- [32] XIANG W SH(向悟生), LI X K(李先琨), SU Z M(苏宗明), *et al.* Fractal properties of distribution patterns of *Taxus chinensis* var. *mairei* clonal populations in the Yuanbaoshan Mountain[J]. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2007, **31**(4): 568—575(in Chinese).
- [33] KENNEDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils[J]. *Plant Soil*, 1995, 170: 75—86(in Chinese).
- [34] ZHANG W H(张文辉), XU X B(许晓波), ZHOU J Y(周建云), *et al.* Population dynamics of endangered plant species *Abies chensiensis* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(10): 1 799—1 804(in Chinese).
- [35] LIU P(刘 鹏), KANG H J(康华靖), ZHANG ZH X(张志详), *et al.* Responses of growth and chlorophyll florescence of *Emmenopterys henryi* seedlings to different light intensities[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(11): 5 656—5 664(in Chinese).
- [36] ABRAMOVITZ J N. Investing in Biological Diversity: US Research and Conservation Efforts in Developing Countries[M]. Washington: World Resources Institute, 1991: 1—5.