

北京东灵山地区辽东栎(*Quercus liaotungensis*) 种群生活史特征与空间分布*

冯 云 马克明** 张育新 祁 建

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘 要 种群生活史特征和空间分布格局对于分析种群演替动态规律、判定种群分布规律和预测种群演化过程及变化趋势均具有重要的理论和现实意义。本文从静态生命表、年龄结构、存活曲线三个方面分析了东灵山地区辽东栎种群的生活史特征。结果表明:物种生物学因素是影响辽东栎种群生存力最主要因素,辽东栎种群静态生命表中生命期望值逐渐降低反映出种群生存力下降的趋势。空间分布格局分析表明辽东栎种群各个径级的个体都属于聚集分布。辽东栎实生苗和萌生苗共存是辽东栎种群适应环境压力 and 与环境协同进化的结果,表明自然状态下辽东栎种群具有较高的稳定性。由于辽东栎种群的这种较强的稳定性和适应能力,随着辽东栎种群发育整个群落将趋于进展演替,最终形成稳定和充分利用环境资源的顶极群落结构。

关键词 生活史;种群分布格局;静态生命表;年龄结构;存活曲线

中图分类号 S718.5 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)08-1443-06

Life history characteristics and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population in Dongling Mountain of Beijing, China. FENG Yun, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, QI Jian (State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009 28(8):1443-1448.

Abstract: To study the life history characteristics and spatial pattern of plant population is of theoretical and practical significances in analyzing the population's succession dynamics, judging its distribution pattern, and predicting its evolution process and changing trend. In this paper, the life history characteristics of *Quercus liaotungensis* population in Dongling Mountain of Beijing were analyzed from the aspects of static life table, age structure, and survival curve. In the study area, biotic factors were the most important factors affecting the viability of *Q. liaotungensis* population. The gradually decreased expected life value in static life table reflected the declining trend of the viability of the population. The individuals in each size class of the population showed a clustered distribution, and the coexistence of seedlings and stump-sprouts was the results of the adaptation to environmental stress and the co-evolution with the environment, which implied that the population had higher stability under natural conditions. Due to the strong stability and adaptability of *Q. liaotungensis* population, the whole community would tend to have a progressive succession with the development of the population, and gradually approach to the climax community with stable structure and making best use of environmental resources.

Key words: life history; population spatial pattern; static life table; age structure; survival curve.

种群是物种在自然界中存在的基本单位,是生

物群落的基本组成单位。种群结构和动态一直是生态学的研究热点之一。通过对天然次生林优势种群的生活史研究,可以从时间上分析种群演替动态规律(Diaz *et al.*, 2000; Masaki *et al.*, 2004; 杨慧等,

* 国家自然科学基金项目(30870459)和国家自然科学基金委创新研究群体基金资助项目(40621601)。

** 通讯作者 E-mail: mkm@rcees.ac.cn

收稿日期:2008-12-25 接受日期:2009-04-05

2007)。种群分布格局是指种群个体在水平空间的配置状况或分布状态,反映了种群个体在水平空间上彼此间的相互关系。研究群落内优势种的空间分布格局,有助于认识该格局形成的生态学过程(如种子扩散、种内和种间竞争、干扰、环境异质性等)、种群的生物学特性及其与环境因子之间的相互关联(张健等 2007),对于正确地判定林木分布规律,掌握其过程演化及预测其变化趋势有及其重要的意义(惠刚盈等 2007)。

辽东栎(*Quercus liaotungensis*)是我国暖温带典型的地带性植被的优势种,但因为所处地区人口众多、经济发达,强烈的人类活动使其遭受严重的破坏。在东灵山进行的景观水平(马克明和傅伯杰, 2000)和群落水平(从沛桐等, 2000;刘世梁等, 2003;Zhang *et al.* 2006;冯云等 2007 2008)的研究都非常多,使人们对东灵山地区的植被情况有了较全面的了解和认识。作为东灵山优势种之一的辽东栎种群,研究主要集中在种子(孙书存和陈灵芝, 2000)、叶子(孙书存和陈灵芝, 2001;祁建等 2007, 2008)、幼苗(王巍等 2000)、空间分布分形分析(祖元刚等 2000)和空间分布格局(高贤明等 2001;Wu *et al.* 2002)几个方面,其中空间分布格局的研究主要侧重点在辽东栎种群的物种起源、更新及与其他物种(如大叶白蜡、五角枫)的相互比较等方面。但大多数研究都是以区域尺度为主,对东灵山地区辽东栎种群的生活史特征和空间分布格局在区域尺度上的研究还有待进一步加强。

本文在东灵山地区辽东栎种群的分布区(海拔 1020~1770 m),从静态生命表、年龄结构、存活曲线和种群空间分布格局四个方面探讨了辽东栎种群生活史特征与空间分布格局,为恢复辽东栎林、保护生物多样性提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

北京东灵山(40°00'—40°02'N, 115°26'—115°30'E)位于北京市西郊的门头沟区,与河北省毗邻,距市区约 100 km,属于太行山脉小五台山余脉。海拔高度多在 1000 m 以上,最高峰为 2303 m,为北京市的最高峰。地质构造上位于华北陆台中部的燕山沉降带,地貌以山地侵蚀结构类型为主,地势陡峭,河流下切严重,地带性土壤类型为肥沃褐色土和棕色森林土(孙世洲, 1997)。该区域属于暖温带半湿

润大陆季风气候,寒冷期长,积温低,冻土期长,生长季短,年均温 5℃~10℃,无霜期约 195 d,年降雨量 500~650 mm,多集中于夏季,春旱严重。北京东灵山地区的地带性植被是暖温带落叶阔叶林,辽东栎林主要分布在海拔 400~1700 m,但由于人类活动的影响,辽东栎林在海拔 1000 m 以下已不多见。东灵山地区植被类型之间存在着一定的演替关系,并随海拔梯度大致呈现垂直分布规律(马克平等, 1997)。

1.2 研究方法

采用样方调查法,在西坡选择 10 个连续山体组成连续的海拔梯度,范围为 1020~1770 m,该范围是东灵山的中山落叶阔叶林带(马克平等, 1997),也是辽东栎林在东灵山区的主要分布海拔范围。沿海拔梯度在设置宽为 10 m 的 10 条样带上调查每个 10 m×10 m 的样方,共 119 个样方。在每个样方内调查每株辽东栎的高度(H)、盖度、胸径(diameter at breast height, DBH)。对于胸径<4 cm 的辽东栎,调查其多度和高度。

1.3 数据处理

(1)生命表的编制。由于通过实际测量来得到树木的年龄比较困难,所以本文以树木的胸径作为度量树木年龄大小的指标。正常气候条件下,胸径越大,其树龄就越大,反之亦然。根据在东灵山地区调查所得的数据,根据辽东栎树木本身的情况,按树高或胸径大小将辽东栎种群分为 10 级(统称为径级, size class)(高贤明等 2001): I. $H < 50$ cm; II. 50 cm $\leq H \leq 100$ cm; III. $H > 100$ cm 且 $DBH < 4$ cm; IV. 4 cm $\leq DBH < 8$ cm; V. 8 cm $\leq DBH < 12$ cm; VI. 12 cm $\leq DBH < 16$ cm; VII. 16 cm $\leq DBH < 20$ cm; VIII. 20 cm $\leq DBH < 24$ cm; IX. 24 cm $\leq DBH < 28$ cm; X. $DBH \geq 28$ cm。其中, I 为幼苗(seedling), II 为幼树(sapling), III 为大幼树(tall sapling),其余为成体。统计各个龄级内的辽东栎的株数,按照静态生命表的编制方法,编制静态生命表(表 1)。

生命表包括如下参数(孙儒泳等 2002;于大炮等 2004;杨慧等 2007):

x 为径级,在静态生命表中代替年龄等级;

N_x 为在 x 径级内出现的辽东栎个体数;

L_x 为存活数标准化 $L_x = (N_x + N_{x+1})/2$, $\lg L_x$ 为 L_x 取以 10 为底的对数;

D_x 为从 x 到 $x+1$ 的死亡数 $D_x = N_x - N_{x+1}$;

Q_x 为从 x 到 $x+1$ 的死亡率 $Q_x = D_x/N_x$;

表 1 北京东灵山地区辽东栎种群静态生命表
Tab.1 Static life table of Quercus liaotungensis population in Dongling Mountain in Beijing

径级 x	存活数 N_x	存活数标准化 L_x	$\lg L_x$	死亡数 D_x	死亡率 Q_x	从第 x 径级起 超过 x 径级的存活 个体总数 T	生命期望 E_x
I	639	562.5	2.75	153	0.24	4393.5	6.88
II	486	1254.0	3.10	—	—	3831.0	7.88
III	2022	1402.0	3.15	1240	0.61	2577.0	1.27
IV	782	502.5	2.70	559	0.71	1175.0	1.50
V	223	207.5	2.32	31	0.14	672.5	3.02
VI	192	168.5	2.23	47	0.24	465.0	2.42
VII	145	128.5	2.11	33	0.23	296.5	2.04
VIII	112	85.0	1.93	54	0.48	168.0	1.50
IX	58	56.0	1.75	4	0.07	83.0	1.43
X	54	27.0	1.43	54	1.00	27.0	0.50

T 为从 x 径级起超过 x 径级的存活个体总数 ,
 $T = \sum L_x$;
 E_x 为生命期望 ,表示第 x 期的个体在未来所能
存活的平均年数 $E_x = T_x/N_x$ 。

(2) 年龄结构图与存活曲线的绘制。以调查数
据的个体数为纵坐标 ,径级为横坐标 ,绘制辽东栎种
群的年龄结构柱状图(图 1)。以各生命表中的径级
为横坐标 ,以 $\lg L_x$ 为纵坐标绘制辽东栎种群的存活
曲线(图 2)。

(3) 种群空间分布格局分析。在每个样方内 ,
统计各个径级辽东栎的株数 ,进行空间分布格局类
型的检验。主要采用 3 种方法(郑元润,1997;张金
屯,2004;尹爱国等,2006;赵峰侠和尹林克,2007):
1)丛生指标(index of clumping I) ,当 $I < 0$ 时趋向于
均匀分布 ,值越小强度越大 ,当 $I = 0$ 时为随机分布 ,
当 $I > 0$ 时趋向于集群分布 ,值越大聚集强度越大 ;
2)Moristia 指数(I_δ) $I_\delta < 1$ 趋向于均匀分布 ,当 $I_\delta =$
1 为随机分布 ,当 $I_\delta > 1$ 趋向于聚集分布 ,分布类
型结论通过 F 检验来判定 ;3)负二项参数(negative

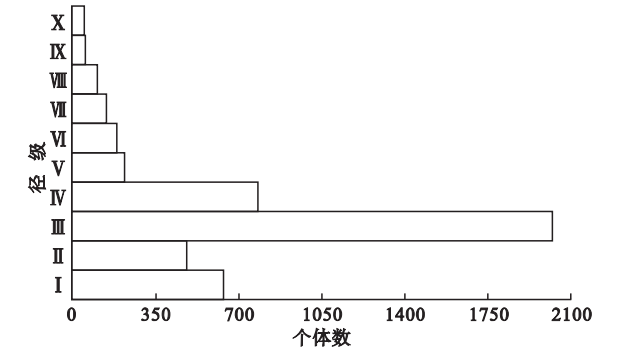


图 1 辽东栎种群年龄结构
Fig.1 Age structure of Quercus liaotungensis population

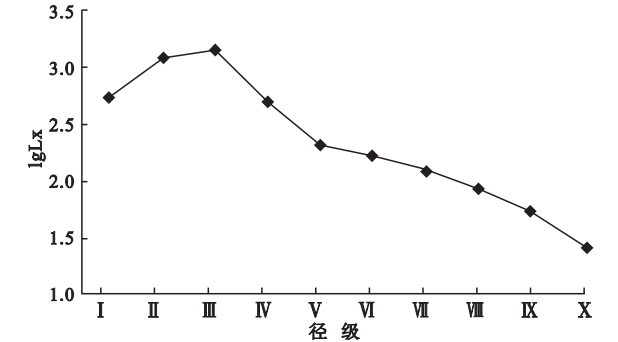


图 2 辽东栎种群的存活曲线
Fig.2 Survival curve of Quercus liaotungensis population

binomial parameter K) K 值愈小 ,聚集度越大 ,如果 K
值无限大(一般为 8 以上)则分布逼近泊松分布。

2 结果与分析

从表 1 可以看出 ,辽东栎种群的死亡率随径级
的增加大致呈上升趋势 ,但在第 III、IV 径级出现了一个
死亡高峰 ,到第 IX 径级 ,死亡率达到一个较小值。
北京东灵山辽东栎种群幼苗和幼树的平均生存余年
最长(表 1) ,即平均生存能力强。从第 III 到第 V 径
级 ,生命期望值逐渐升高 ;从第 VI 到第 X 径级 ,生命
期望值逐渐降低。

从图 1 可以看出 ,整个辽东栎种群 ,胸径在 4
cm 以下的幼苗、幼树(I、II、III 级)最多 ,个体数为
3147 株 ,占辽东栎种群总数的 66.8% ;其中以大幼
树(III)的数量最多 ,个体数为 2022 株 ,占辽东栎种
群总数的 42.9%。第 IV 径级的成体辽东栎个体数
为 782 ,占种群总数的 16.6%。第 I、II、III、IV 径级
的辽东栎个体数共 3629 株 ,占辽东栎种群总数的
83.4%。V 级以上的成体数总数为 784 株 ,占总数的
16.6%。

表 2 北京东灵山地区辽东栎种群空间分布格局
Tab.2 Spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population

径级 <i>x</i>	Morista 指数	<i>F</i>	负二项 参数 <i>K</i>	丛生指标 <i>I</i>	分布 类型
I	3. 58	14. 37 * *	0. 38	13. 37	集群
II	2. 03	5. 43 * *	0. 16	26. 13	集群
III	2. 80	32. 71 * *	0. 55	31. 71	集群
IV	2. 70	11. 74 * *	0. 58	10. 74	集群
V	1. 73	2. 38 * *	1. 37	1. 38	集群
VI	1. 93	2. 49 * *	1. 07	1. 49	集群
VII	1. 57	1. 73 * *	1. 75	1. 73	集群
VIII	1. 86	1. 84 * *	1. 16	1. 81	集群
IX	2. 05	1. 54 * *	0. 96	1. 54	集群
X	2. 78	1. 81 * *	0. 57	0. 81	集群

* $P < 0. 05$, * * $P < 0. 01$, * * * $P < 0. 001$ 。

采用东灵山地区辽东栎种群的调查数据绘制的辽东栎种群存活曲线(图 2)大致接近于 Deevey I 型,即曲线凸型,表示在接近生理寿命前只有少数个体死亡(李博等,2000;孙澜等,2008)。高度 < 50 cm 的幼苗存活率较低,幼树存活率有所升高,大幼树期种群的存活率最高,而后存活率开始下降,至老龄期死亡率达到最大。

辽东栎种群空间分布格局分析的结果表明,各个径级的辽东栎种群都是聚集分布的(表 2)。

3 讨 论

静态生命表是在同一时间(或某个调查期)内,用收集到的样地内某一种群所有个体的年龄数据(如胸径数据)编制而成的生命表。它反映多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间,并不是对同生群的全部生活史追踪(吴承祯等,2000)。因为数据来源于天然次生林种群,并且静态生命表是以时间推空间,以横向导纵向,故在生命表的编制中,会出现死亡率为负的现象,这虽与实际相违背,但仍能作为重要的生态学依据反映种群的发展和衰落(毕晓丽等,2001)。

辽东栎种群的死亡率随径级的增加大致为上升趋势说明在以辽东栎为优势种的群落或辽东栎纯林的群落中,物种生物学因素是影响辽东栎种群生存力最主要的原因(杨慧等,2007)。辽东栎种群的胸径等级越高,就表示越接近其实际寿命。所以,对于辽东栎种群来说,种群越年轻,生长力越旺盛,能有利地利用种群内的空间和土壤条件,死亡率越低,反之越接近其实际寿命,利用土壤养分、水分、光照等生存资源条件来生长的能力下降,死亡率升高。在第 III 和第 IV 径级出现死亡高峰,与实际调查中发现

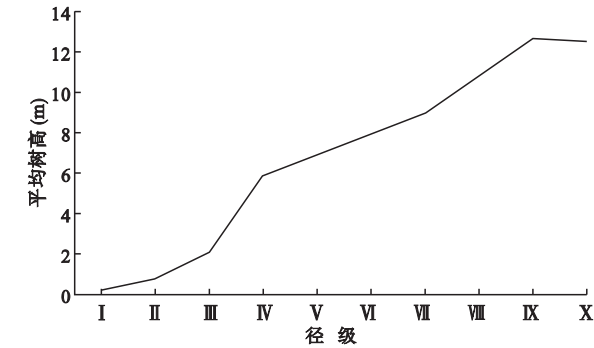


图 3 辽东栎种群各径级平均树高
Fig.3 Average height of *Quercus liaotungensis* population in each size class

个别样方中胸径在 4 cm 左右死亡个体的现象相符。这是由于到了第 III、第 IV 径级的辽东栎个体数量增加太快,大量的辽东栎个体都集中在同一林冠层内,由于同一水平空间有限,造成种群内较大的种内竞争,为争夺必需而有限的生存资源,产生自然稀疏(王巍等,1999),因此死亡率升高较快。说明在辽东栎种群的生长过程中,当胸径达到 4 cm 左右时,由于种内不同个体间争夺空间、养分与阳光,将遭遇一次死亡高峰,随后进入一个平稳生长期,随着龄级的增长而死亡率逐渐升高。当辽东栎生长到第 IX 径级时,死亡率没有继续增高反而出现了较小值,这是因为第 IX 径级的辽东栎种群树高几乎达到了最高(图 3),个体数不多(个体数 58 株,占辽东栎种群总数的 1.2%),所以种内空间、养分、水分、光照等资源的竞争不大,种群的生存空间相对较大,所以死亡率达到了较小值。

辽东栎种群静态生命表中生命期望值逐渐降低的趋势符合种群的生态学特征,体现了生存力下降的趋势。在第 III 和第 IV 径级的高死亡率时期,辽东栎种群的生命期望却在逐渐升高,在第 V 径级,生命期望值达到一个小高峰。这说明,由于辽东栎种群大幼树个体数的快速增长,进而需要更多的资源(如光照、水分、土壤养分等)来维持其生长,生态位空间进一步减少,种群内个体间为争夺有限的生存资源而展开激烈的竞争,从而引起自疏现象,在经历了自疏作用之后的第 III、第 IV 径级,此阶段种群处于稳定发展期,且生存力相对旺盛,因此,具有较高的生命期望值(表 1),这一阶段辽东栎种群的生存能力较强,种群从而能够快速地恢复稳定状态。这也充分反映了辽东栎种群生命期望值的变化规律与其死亡率之间的变化规律是有着密切地相互关系,并

且客观存在的。

从东灵山辽东栎种群的年龄结构图分析结果来看,幼苗和幼树的比例最大,小成体的比例次之,成熟成体的比例较小。在辽东栎种群中普遍存在辽东栎幼苗(Ⅰ)和小幼树(Ⅱ)明显少于大幼树(Ⅲ)而形成的“瓶颈”现象。这与以前的研究结果是一致的(王巍等,1999;高贤明等,2001),造成这种现象的主要原因是,在幼苗中实生苗的比例较大,但存活率较小,因此在幼树阶段实生苗大量减少,萌生是辽东栎种群得以顺利通过“瓶颈”的主要对策,萌生苗生长速度快而迅速成为大幼树,实生苗和萌生苗的共存是辽东栎种群适应环境压力,与环境协同进化的结果,因此自然状态下辽东栎种群能够保持较高的稳定性(高贤明等,2001)。从这一特征来看,北京东灵山地区辽东栎种群属于稳定型种群,在当地群落演替过程中,不会被淘汰掉。

存活曲线能反映生物种群存活率或死亡率随年龄的变化情况,从而能作为种群动态的重要特征之一(于大炮等,2004)。东灵山山区辽东栎种群存活曲线由低到高再到低的变化原因在于:第Ⅰ径级的辽东栎幼苗树高均不足50 cm,位于林下,接受不到充足的光照,此外,林下草本植物与灌木植物丰富,与辽东栎幼苗共同竞争土壤水分及营养物质,从而影响了幼苗的存活,幼苗长成小幼树(第Ⅱ径级)之后,树高有所增高,争夺生存资源的能力也增强,存活率增加较快;从小幼树到大幼树阶段(从第Ⅱ径级到第Ⅲ径级),是辽东栎种群生存力顽强的最好的体现阶段,在这时期,辽东栎存活率虽然增长缓慢,但个体存活数迅速增加,占辽东栎种群总体数的42.9%;由于大量的辽东栎大幼树共存,种群间与种群内为争夺空间与阳光而发生竞争,产生自疏与它疏作用(从第Ⅲ径级到第Ⅴ径级),使种群的存活率开始急剧下降;自疏作用过后(从第Ⅴ径级到第Ⅹ径级),遵循物种的生长规律,辽东栎种群的存活率虽然继续下降但速度开始缓慢,生命期望也从一个新的小高值开始缓慢下降(表1),种群稳定。因此,整体来说,辽东栎种群结构随着径级的增大会由增长型种群逐渐过度为下降型种群。说明北京东灵山地区的辽东栎种群对环境具有较强的适应能力,在辽东栎林中随辽东栎种群的发育而形成进展型演替,群落将进一步向成熟林方向发展,形成更稳定的、能充分利用环境资源的顶级群落结构(从沛桐等,2000;赵则海等,2001;张文辉等,2002;冯云等,

2007)。

辽东栎种群的空间分布格局为聚集分布(王巍等,1999;张文辉等,2002),本研究结果也证实辽东栎种群聚集分布特征的普遍性。种群格局强度决定于物种自身特征和环境因子的耦合作用(王巍等,1999;张赞等,2008)。辽东栎林木本植物群落是比较稳定的群落类型,种群的空间占据能力较强,空间分布占绝对优势地位(赵则海等,2002;从沛桐等,2001)。如今,东灵山辽东栎种群分布区受到的人为干扰已非常少,合适且稳定的环境条件下,在同等的种间竞争和环境压力下,个体自身的生理状况影响其存活能力,从而在生命表中反映出死亡率随径级的增高而逐渐增大的现象,所以空间分布格局分析所得的聚集分布也应是辽东栎种群真实的分布格局的反映。

综上所述,北京东灵山辽东栎种群属于增长型种群,且处于稳定状态。物种生物学因素是影响辽东栎种群生存力最主要的原因,辽东栎种群静态生命表中生命期望值逐渐降低的趋势符合种群的生态学特征,体现了生存力下降的趋势。辽东栎实生苗和萌生苗的共存是辽东栎种群适应环境压力,与环境协同进化的结果,因此自然状态下辽东栎种群能保持较高的稳定性。北京东灵山地区的辽东栎种群对环境具有较强的适应能力,在辽东栎林中随辽东栎种群的发育而形成进展型演替,群落将进一步向成熟林方向发展,形成更稳定的、能充分利用环境资源的顶级群落结构。

参考文献

- 毕晓丽,洪伟,吴承祯,等. 2001. 武夷山米槠种群生命表分析. 热带亚热带植物学报, 9(3): 243-247.
- 从沛桐,于景华,赵则海,等. 2001. 东灵山辽东栎林植物生态场研究. 植物研究, 21(1): 147-151.
- 从沛桐,赵则海,张文辉,等. 2000. 东灵山辽东栎群落演替的连续时间马尔代夫过程研究. 植物研究, 20(4): 438-443.
- 冯云,马克明,张育新,等. 2007. 北京东灵山辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林沿海拔梯度的物种多度分布. 生态学报, 27(11): 4743-4750.
- 冯云,马克明,张育新,等. 2008. 辽东栎林不同层植物沿海拔梯度分布的 DCCA 分析. 植物生态学报, 32(3): 568-573.
- 高贤明,王巍,杜晓军,等. 2001. 北京山区辽东栎林的径级结构、种群起源及生态学意义. 植物生态学报, 25(6): 673-678.
- 惠刚盈,李丽,赵中华,等. 2007. 林木空间分布格局分

- 析方法. 生态学报, 27(11):4717-4728.
- 李 博, 杨 持, 林 鹏. 2000. 生态学. 北京: 高等教育出版社.
- 刘世梁, 马克明, 傅伯杰, 等. 2003. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究. 植物生态学报, 27(4):496-502.
- 马克明, 傅伯杰. 2000. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价. 植物生态学报, 24(3):320-326.
- 马克明, 傅伯杰. 2000. 北京东灵山区景观类型空间邻接与分布规律. 生态学报, 20(5):748-752.
- 马克平, 陈灵芝, 于顺利, 等. 1997. 北京东灵山地区植物群落的基本类型// 陈灵芝. 暖温带森林生态系统结构与功能的研究. 北京: 科学出版社.
- 祁 建, 马克明, 张育新. 2007. 辽东栎(*Quercus liaotungensis*)叶特性沿海拔梯度的变化及其环境解释. 生态学报, 27(3):930-937.
- 祁 建, 马克明, 张育新. 2008. 北京东灵山不同坡位辽东栎(*Quercus liaotungensis*)叶属性的比较. 生态学报, 28(1):122-128.
- 孙 澜, 苏智先, 张素兰, 等. 2008. 嘉陵江流域南充金城山森林群落结构特征分析. 植物研究, 28(3):364-369.
- 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 等. 2002. 基础生态学. 北京: 高等教育出版社.
- 孙世洲. 1997. 东灵山地区的地质、地貌和土壤// 陈灵芝. 暖温带森林生态系统结构与功能的研究. 北京: 科学出版社.
- 孙书存, 陈灵芝. 2000. 东灵山地区辽东栎种子库统计. 植物生态学报, 24(2):215-221.
- 孙书存, 陈灵芝. 2001. 东灵山地区辽东栎叶养分的季节动态与回收效率. 植物生态学报, 25(1):76-82.
- 王 巍, 李庆康, 马克平. 2000. 东灵山地区辽东栎幼苗的建立和空间分布. 植物生态学报, 24(5):595-600.
- 王 巍, 刘灿然, 马克平, 等. 1999. 东灵山两个落叶阔叶林中辽东栎种群结构和动态. 植物学报, 41(4):425-432.
- 吴承祯, 洪 伟, 谢金寿, 等. 2000. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析. 应用生态学报, 6(11):333-336.
- 杨 慧, 娄安如, 高益军, 等. 2007. 北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局. 植物生态学报, 31(2):272-282.
- 尹爱国, 苏志尧, 李彩红. 2006. 广东石门台自然保护区山顶矮林优势种群分布格局及动态. 生态学杂志, 25(1):55-59.
- 于大炮, 周 莉, 董百丽, 等. 2004. 长白山北坡岳桦种群结构及动态分析. 生态学杂志, 23(5):30-34.
- 张 健, 郝占庆, 宋 波, 等. 2007. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性. 应用生态学报, 18(8):1681-1687.
- 张 赞, 张春雨, 赵秀海, 等. 2008. 长白山次生林乔木树种空间分布格局. 生态学杂志, 27(10):1639-1646.
- 张金屯. 2004. 数量生态学. 北京: 科学出版社.
- 张文辉, 赵则海, 孙海芹, 等. 2002. 东灵山辽东栎林优势林木种群直径结构的研究. 植物研究, 22(1):84-90.
- 赵峰侠, 尹林克. 2007. 荒漠内陆河岸胡杨和多枝怪柳幼苗种群空间分布格局及种间关联性. 生态学杂志, 26(7):972-977.
- 赵则海, 从沛桐, 祖元刚, 等. 2001. 辽东栎林乔木种群龄级结构动态的量化分析. 植物研究, 21(1):157-160.
- 赵则海, 杨逢建, 从沛桐, 等. 2002. 东灵山辽东栎林木本植物多样性的研究. 植物研究, 22(4):439-443.
- 郑元润. 1997. 不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究. 植物生态学报, 21(5):480-484.
- Diaz S, Mercado C, Alvarez-Cardenas S. 2000. Structure and population dynamics of *Pinus lagunae* M.-F. Passini. *Forest Ecology and Management*, 134:249-256.
- Masaki T, Ota T, Sugita H, et al. 2004. Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan. *Forest Ecology and Management*, 194:289-401.
- Wu XP, Zheng Y, Ma KP. 2002. Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Botanica Sinica*, 44:212-223.
- Zhang YX, Ma KM, Anand M, et al. 2006. Do generalized scaling laws exist for species abundance distribution in mountains? *Oikos*, 115:81-88.

作者简介 冯 云, 女, 1981年1月生, 博士研究生. 主要从事景观生态学和植物生态学研究. 发表论文2篇. E-mail: fengyun0110@163.com

责任编辑 王 伟