

# 边缘效应及其对森林生态系统影响的研究进展<sup>\*</sup>

田 超 杨新兵<sup>\*\*</sup> 刘 阳

(河北农业大学林学院, 河北保定 071000; 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北保定 071000)

**摘 要** 边缘效应是生态学和生物保护的重要概念之一,它在研究生态系统尺度和景观生态系统尺度的能量流和物质流等生态过程中具有重要作用. 本文对边缘效应的内涵、特征、定量评价(包括定量分析基础、强度、影响区、模型等)、应用研究等方面进行阐述,分析了边缘效应研究中存在的不足,总结了边缘效应对森林生态系统的影响及其研究方向,以期为森林经营、保护区管理等生产实践提供借鉴.

**关键词** 森林生态系统 边缘效应 林缘

**文章编号** 1001-9332(2011)08-2184-09 **中图分类号** S718.5 **文献标识码** A

**Edge effect and its impacts on forest ecosystem: A review.** TIAN Chao, YANG Xin-bing, LIU Yang (College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China; Key Lab of Genetic Resources of Forest and Forest Protection of Hebei Province, Baoding, 071000, Hebei, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(8): 2184–2192.

**Abstract:** Edge effect is an important concept in ecology and biological conservation, playing an important role in the study of ecological processes such as energy and material flow at ecosystem scale and landscape scale. This paper expatiated the connotation, features, quantitative evaluation (basis of quantitative analysis, strength, impact zone, and models, etc.), and applied aspects of edge effect, summarized the impacts of edge effect on forest ecosystem, analyzed the deficiencies in the study of edge effect, and prospected related research directions, aimed to provide references for forest and protected area management.

**Key words:** forest ecosystem; edge effect; forest edge.

人口持续膨胀导致对自然资源需求的不断增加、连续不断的人类活动和一些自然灾害的发生,使森林皆伐和连续森林的片断化在世界范围内不断扩大. 片段化的森林代替了原有大面积的自然生境,导致森林外边缘不断增加,森林受边缘效应的影响也随之增大. 边缘效应的存在使林内到林外的生态环境产生梯度变化,进而影响动植物分布、群落结构和功能、群落能量流和物质流等. 由于景观性质、研究目标和斑块形状的变化,边缘效应影响范围和程度的差异较大<sup>[1]</sup>. 迄今为止,国内外许多生态学者对边缘效应已开展了大量科学研究工作,取得了不少成果. 本文对边缘效应的内涵、定量评价、应用研究及其对森林生态系统的影响进行综述,并探讨了边缘效应存在的不足及未来研究的趋势,以期为边缘效应的进一步研究提供理论依据.

## 1 边缘效应的概念和内涵

### 1.1 边缘效应的概念

20 世纪 30 年代,野生动物学家 Leopold<sup>[2]</sup>将在生态交错带内的物种种类和个体数量多于邻近生态系统的现象称为边缘效应. 边缘效应最初指生态交错带内的物种数与相邻群落之间的差异. 1942 年,地理植物学家 Beecher<sup>[3]</sup>研究群落的边缘效应长度与鸟类种群密度的关系后发现,在两个或多个不同地貌单元生物群落的交界处,群落结构比较复杂,不同生境的物种在此共生,种群密度变化较大,某些物种特别活跃,生产力水平也较高,他将这种现象称之为“边缘效应”. Beecher 的概念侧重对边缘效应现象和结果的叙述. 此后,许多生态学家又根据不同的研究对象、目的和角度,赋予边缘效应不同的概念<sup>[4-5]</sup>.

1985 年,我国著名生态学家王如松和马世骏<sup>[6]</sup>

<sup>\*</sup> 林业公益性行业科研专项(200804022F)资助.

<sup>\*\*</sup> 通讯作者. E-mail: hbyxb2008@126.com

2011-01-20 收稿,2011-05-24 接受.

在吸收前人研究成果的基础上,将边缘效应的定义从单纯地域性方面进行扩展,提出了边缘效应的一般概念:在两个或多个不同性质的生态系统(或其他系统)交互作用处,由于某些生态因子(可能是物种、能量、信息、时机或地域)或系统属性的差异和协同作用而引起系统某些组分及行为(如种群密度、生产力、多样性等)不同于系统内部的较大变化.该概念包含了边缘效应产生的原因和结果.肖笃宁等<sup>[7]</sup>将景观斑块的边缘效应定义为斑块边缘部分由于受到外界环境的影响而表现出与其中中心部分不同的生态学特征.一般情况下,斑块中心部分在气象条件、生物地球化学循环等方面都可能表现出与边缘不同的特征,斑块边缘通常具有较高的初级生产力.

1.2 边缘效应的分类和尺度类型

由于研究目的和方法的不同,不同学者对边缘效应产生了不同的分类方法.如渠春梅等<sup>[8]</sup>只将边缘效应粗略地分为生物效应和非生物效应,其中,生物效应包括物种的分布和丰富度、捕食者与被捕食者之间的关系等,非生物效应即边缘小气候,如温度、湿度、气流、光照度、土壤湿度等. Murcia<sup>[9]</sup>将边缘效应划分为3类:1)非生物效应,指来源于不同结构基质的自然环境条件的变化,包括养分循环、能量流动和边缘小气候变化等;2)直接生物效应,指由于边缘附近自然环境条件的改变而直接引起的物种分布和多度的改变;3)间接生物效应,指边缘或边缘附近的物种间相互作用的变化,如捕食、竞争、生物传粉、种子扩散等.

迄今,有关边缘效应空间尺度的研究很少.王庆锁等<sup>[10]</sup>对边缘效应的空间尺度类型有所探索但未见系统论述.周婷和彭少麟<sup>[11]</sup>将边缘效应分为3个空间尺度:大尺度类型即生物群区交错带,主要是由不同结构基质的自然环境条件的变化所致,该尺度上植被的区域划分以气候为指导原则<sup>[12]</sup>,主要包括纬向性、经向性的植被地带性分布,由于海拔上升所造成的植被分异称为海拔性植被分布;中尺度类型即生态交错区,它并不是2个生态实体的机械迭加和混合,而是2个相对均质的生态系统相互过渡耦合而成,有别于两种生态系统的转换区域,其显著特征为生境异质化以及界面上的突变性和对比度<sup>[13]</sup>,主要包括城乡交错带、林草交错带、农牧交错带、林农交错带、水陆交错带、森林沼泽交错带<sup>[11]</sup>;小尺度类型即群落交错区,如森林生态景观中的针叶林和阔叶林以及草地生态景观中的草地和裸地等类型斑

块,不同群落之间的相互渗透导致其间同样存在边缘效应.只有明确边缘效应的空间尺度,才能针对不同研究对象的确切尺度进行测度,进而更好地实现边缘效应的量化研究.

1.3 边缘效应的作用机理及三大定律

边缘效应的存在使边缘具有不同于中心部分的独有特征.王如松和马世骏<sup>[6]</sup>认为,边缘效应的产生在于边缘的加成效应、协合效应和集肤效应.任何生物在多维生态空间中均占有一定的生态位,但由于环境条件的限制,生物的实际生态位与理想生态位(基础位)之间存在差距.若生态位维度与重叠值较高,则产生加成作用;对特定物种来说,其与各种生态因子并不是简单的加成关系,一旦与边界异质环境中的生态位相“谐振”,因子间就会产生强烈的协合作用;边缘地带是多种“应力”交互作用地带,通常较各子系统更复杂、异质和多变,信息量更丰富,可刺激子系统中信息要求较高的种群甚至外系统种群向边缘区集结,形成集肤作用.另外,他们还从热力学的观点对边缘效应的机理给予了解释.

卫丽等<sup>[14]</sup>通过多年研究和实践总结出了生态系统边缘效应的三大定律,即边缘效应发生律、边缘效应态势律和边缘效应递减律.由于环境因子的作用,自边界向内部,生物系统依次出现状态变化,发生边缘效应,称为边缘效应发生律;正的边缘效应产生边缘优势,负的边缘效应产生边缘劣势,零边缘效应产生边缘均势,称为边缘态势律;在相同条件下,边缘效应的绝对值随边距递增而递减,称为边缘效应递减律.这三大定律在农业生产中发挥着至关重要的作用,正确认识边缘效应三大定律,可充分发挥边缘优势,降低或避免边缘劣势,能更好地为人类和整个生物圈服务.

1.4 边缘效应的主要特征

作为一种普遍存在的自然现象,边缘效应应具有独特的特征.根据边缘效应的稳定性与否<sup>[6]</sup>,边缘效应可分为动态边缘和静态边缘两种.动态边缘是移动型生态系统边缘,外界有持久的物质、能量输入,此类边缘效应相对稳定,能够长期维持较高的生产力;静态边缘是相对静止型生态边缘,外界无稳定的物质、能量输入(阳光、水分除外),此类边缘效应是暂时的、不稳定的.

在森林生境片断化后,边缘生境中许多物理、化学和生物因子都发生了一系列显著变化.突出表现在森林边缘的小气候以及植物、动物和微生物等会沿着林缘-林内梯度发生不同程度的变化,从而导致

片断化生态系统边缘的养分循环过程发生明显改变<sup>[15]</sup>。

边缘效应的主要特征可归纳为:食物链长,生物多样性增加,种群密度提高;系统内部物种与群落之间竞争激烈,彼此消长频率高、幅度大;抗干扰能力差,界面易发生变异,且系统恢复周期长;自然波动与人为干扰相互迭加,易使系统承载能力超过临界阈值,导致系统紊乱,乃至崩溃<sup>[13]</sup>。针对边缘效应的这些特征,应尽量避免人为干扰所产生的边缘劣势,充分发挥边缘优势,使研究区域形成稳定的生态与经济利益共存的局面。

## 2 边缘效应的定量评价

自 20 世纪 30 年代边缘效应这一概念提出以来,对其定量评价的研究方法一直是景观生态学的难题之一,因为边缘小生境的环境因子与生物因子相互影响,具体条件变化多样,情况非常复杂。迄今,针对这方面的研究不是很多,缺乏足够的、令人信服的方法和模型。因此,边缘效应的定量评价必定是今后的发展趋势。

### 2.1 边缘效应定量分析的基础

景观类型空间制图分析是边缘效应分析的基础。通过制图分析,可确定研究地区现有的各种景观类型及其空间分布特征,以及各种斑块的大小、数目和形状。在此基础上,根据各种景观类型的属性特征,分析不同景观类型可能对目标物种的影响,评价区域的景观适宜性。在地理信息系统支持下,可以较好地获取一个地区针对某种保护目标的景观适宜性评价图。生态交错带的研究需要反映交错带结构、功能和格局的梯度变化,数据的采集应适合进行梯度序列分析,其中,样带法是交错带研究最有效的方法之一<sup>[16]</sup>。苗莉云<sup>[17]</sup>指出,可以通过补充随机取样并结合遥感技术和地理信息系统空间分析技术来弥补样带法的缺点,并提出了常用的两种定量判定交错带的有效方法(游动分割窗技术和植被变异的侧面轮廓图)。

### 2.2 边缘效应的表示方法

起初,有研究者用片断化景观的周长与面积比( $p/a$ )来表示边缘效应<sup>[18-19]</sup>。这种仅基于景观或斑块形状特征的边缘效应分析方法显然是不全面的,而且不能体现边缘效应的空间分布特征。为了计算特定面积或形状的片断中未受边缘影响的核心面积, $p/a$ 被核心面积模型所代替。该模型用林缘到林内距离与温度、光照或物种丰富度等的关系来表示。

该模型中,边缘效应随进入林内距离的改变而改变,并且受边缘所处地势和方位的影响<sup>[9]</sup>。杜心田和王同朝<sup>[20]</sup>在研究 15 种植物群体的边缘效应后,提出植物群体边缘部分与中间部分生产量之差为植物群体的边缘效应。周永斌等<sup>[21]</sup>对杨树边缘效应进行研究时,用边缘与内部杨树平均胸径的比值表示边缘效应率,从而确定边缘效应宽度。

关于边缘效应的判断指标,臧润国等<sup>[22]</sup>指出,“生境岛”与景观基质的对比度不仅是隔离化程度的一个指标,而且也表明了边缘效应的程度。李铭红等<sup>[23]</sup>对片断化常绿阔叶林植物多样性的研究结果表明,边缘效应不仅影响植物的丰富度,也影响植物个体的分布密度。草本植物的物种丰富度和藤本植物的相对密度可作为片断化程度和边缘效应的 2 个判断指标,且边缘效应的不同表现格局可以作为片断化群落生态恢复阶段的主要特征。马文章等<sup>[24]</sup>研究了附生植物对森林生境破碎化的响应,结果表明,树干距地面 0~2 m 范围内,单位面积附生植物的生物量和附生苔藓植物的盖度均可作为指示森林边缘生境的重要指标。因此,应针对不同的研究对象和环境条件,找出适宜的指标,用正确的方法来研究边缘效应对研究地所造成的影响。

### 2.3 边缘效应强度的确定

Matlack<sup>[25]</sup>在北美东海岸研究栎类林的边缘效应时,以林内距边缘不同距离处主要物种的多度和 Gini 系数(测定累积频率分布不等性的指数)来表示边缘效应强度。王伯荪和彭少麟<sup>[26]</sup>组建的边缘效应强度测度模式可较好地反映群落交错区的种群数量和结构上的效应强度。以往的测度方法或模式没有涉及边缘效应可能影响的最大距离,而这对保护生物学的理论和实践具有重要意义。因此,探讨一种能弥补现有测度模式的不足,且具有统计学和生物学意义的边缘效应测度模式十分必要。

### 2.4 边缘效应影响区的确定

在景观尺度上,一个空间单元是否属于边缘效应影响区,关键在于它受异类景观的影响程度。如果一个地区受异类景观的影响较大,那么该地区属于边缘效应影响区,否则属于核心地区。为了准确地确定边缘效应的大小,陈利顶等<sup>[27]</sup>提出了定量评价斑块边缘效应的方法:从分析边缘效应的概念和影响因子出发,利用地理信息系统中滤波功能,以一定的窗口大小计算中心单元的景观适宜性负荷值;通过比较每个单元景观适宜性负荷值的大小,来确定该单元受到边缘效应的影响程度。如果该单元的景观



适宜性负荷值大于边缘效应的临界点,则它不属于边缘效应的影响区,在进行生态功能区划时,应划归为核心区;如果其负荷值小于边缘效应的临界点,则划为边缘效应的影响范围。

无论何种机制形成的边缘,边缘上都有物种多样性增加的趋势,以人工林最明显,多样性指数从林缘到林内递减<sup>[28]</sup>。对于不同的研究对象而言,其边缘效应的可能影响范围会有较大差异。如何客观地确定边缘效应的影响范围具有重要的生态学意义。Miller 和 Lin<sup>[29]</sup>以叶密度为指标的研究结果表明,康乃迪克州湿地红枫(*Acer palmatum* cv. *Atropurpureum*)林西北面的边界影响域约 15 m。在美国太平洋西北部的花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)林中,边缘使风倒速率增加、湿度降低以及其他物理性质发生变化的可能性延伸到林中距边缘 200 m 处<sup>[30]</sup>。牛树奎等<sup>[31]</sup>对林缘草本可燃物进行研究的结果表明,南向和北向林缘树木对林缘枯草负荷量的影响范围分别为林内 10 m 至林外 5 m、林内 5 m 至林外 10 m。王文杰等<sup>[32]</sup>研究表明,太宽和太窄的效应带在一定程度上都可引起红松(*Pinus koraiensis*)幼树光合生理生态学的不适应,导致生长水平下降,6 m 宽度的边缘效应带是促进红松生长的最佳边缘效应带。周婷等<sup>[33]</sup>在研究森林道路边缘效应时指出,不同的道路宽度对群落的影响存在差异,道路存在时间的长短也会对森林产生不同的效应。乌玉娜等<sup>[34]</sup>研究发现,边缘效应带对木质藤本群落结构的影响随边缘距离增加而减弱,影响深度随边缘形成年限的增加而增加,在 17 年的边缘中影响深度为 40 ~ 50 m,在 13 年的边缘中影响深度为 10 m。Hamberg 等<sup>[35]</sup>对芬兰半干旱城市森林边缘植被变化进行研究的结果表明,边缘效应的深度可能延伸到林内 50 m 处。由此可见,不同研究区域和研究对象所产生的边缘效应影响范围有很大差异,且同一研究对象不同方向的影响范围也可能存在差异。针对边缘效应产生的影响范围,可以确定适宜植被生长的最佳效应带,避免盲目种植,从而产生更多的生态和经济效应。

## 2.5 边缘效应的模拟研究

迄今,模拟边缘效应的相关研究主要集中在某个环境或生物变量对林缘至林内距离的反应上,最简单的模型为一元线性模型。Williams-Linera<sup>[36]</sup>、Malcolm<sup>[37]</sup>和马友鑫等<sup>[38]</sup>分别建立了植被结构变量、边缘效应值和小气候要素与距林缘距离关系的经验模型,据此可估算出森林片断边缘某点处的变量大小。Chen 等<sup>[39]</sup>、Laurance 等<sup>[40]</sup>和王雄宾等<sup>[41]</sup>

在非线性模型方面进行了尝试,分别拟合出温度、动态指数和林下植被物种丰富度与距林缘距离之间的指数关系式。Murcia<sup>[9]</sup>假设了边缘效应的双峰模型模式,认为这是两个或多个生物或非生物因子相互作用的结果。Didham<sup>[42]</sup>认为,林内某位置可形成边缘内部的生态交错带,边界两边的物种发生重叠,导致物种丰富度和多度增加,该观点揭示了发生在边缘内部交错面上的某些动态过程。黄世能等<sup>[43]</sup>构建了一个基于分割线段模型的边缘效应测度公式,结果表明,热带山地雨林群落采伐后形成的边缘效应的作用距离一般不超过 15 m。Cancino<sup>[44]</sup>通过胸径、树高、断面积与林缘距离的关系建立模型,对辐射松(*Pinus radiata*)林的边缘效应进行研究,较好地反映了不同林缘处上述关系的变化趋势。Proctor 等<sup>[45]</sup>利用不同参数(食物可利用性、掠夺行为等)建立模型发现,生活在边缘地区的鸟类比生活在森林深处的鸟类更警惕。通过不同环境或生物因子与林缘至林内距离的关系所建模型,实现了边缘效应的定量化。在边缘效应影响范围内可以找出变量因子在任意一点处的相关值,进而能更好地研究边缘效应对变量因子产生的深远影响。

## 3 边缘效应对森林生态系统的影响

### 3.1 边缘效应对小生境和土壤的影响

在全世界范围的森林片段化现象越来越普遍的情况下,即使个别树木引起的小响应也可能对一个地区的碳通量和物种组成产生深远影响<sup>[46]</sup>。对于核心区的林地,由于有边缘地区树木的保护,可以避免外来环境因子的影响,但在边缘地区,由于缺乏高大林木的保护,光照、风沙等可以直接侵入林下,从而导致林地边缘地区的生境与林地内部的生境(包括气温<sup>[47-50]</sup>、地温<sup>[47,50]</sup>、空气相对湿度<sup>[50]</sup>和光照度<sup>[48,51-52]</sup>等)有较大差异。林缘与林内树基和林冠下的表面温度随时间变化的分布、不同高度处平均树表温度的分布以及林外-林缘-林内地表温度的水平分布,表现出很大的差异性<sup>[47]</sup>。从林内至林外,植物叶温( $T_l$ )依次表现出气温( $T_a$ )型( $T_a > T_l$ )、中间型( $T_a = T_l$ )和辐射型( $T_l > T_a$ )<sup>[49]</sup>。接近林缘的光照度高于林内<sup>[52]</sup>,且光合有效辐射可能是影响某些树木生长的决定性因素<sup>[48]</sup>。林冠越高、林冠郁闭度越大,林缘对附近小气候和植物光能与水分利用的影响就越大<sup>[51]</sup>。针对特定林木生长所需的适宜环境因子,尝试在森林边缘人为地栽植喜光、耐风沙的树种,从而保护目的树种;或在边缘地区种植适宜生长

的林木或确定森林面积时,尽量使林木处于边缘效应影响范围内,从而达到最大的生态和经济效益.

影响边缘效应最主要的因素是方位和地势<sup>[41]</sup>,方位决定了太阳辐射量,太阳辐射量小则边缘效应弱,地势则通过影响照到林下层的入射光来影响边缘效应<sup>[9]</sup>.牛树奎等<sup>[31]</sup>对华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)人工林林缘草本可燃物进行研究的结果表明,不同方位林缘的枯草负荷量不同.在距林缘相同的距离上,不同方位林缘的枯草负荷量依次为南林缘>东林缘>西林缘>北林缘,且南向林缘明显大于北向林缘.丁宏等<sup>[53]</sup>指出,在杨树人工林地不同方向上的边缘效应中,东部方向表现出的边缘效应最大,北部次之. Hamberg 等<sup>[35]</sup>认为,芬兰半干旱城市森林边缘植被在东、南、西方向的边缘效应强于北面.由于不同方位和地势产生的边缘效应不同,在实际经营管理过程中,应重点加强对边缘效应影响大的方向的管理,充分发挥边缘效应优势,使林木生长达到最佳状态.

森林边缘特殊的小生境导致边缘土壤与林内土壤有所差异.由于林缘光照度高、风沙大,使土壤腐殖质湿度较低,导致林缘处土壤微生物生物量和活性降低<sup>[54]</sup>,而土壤养分含量既有正效应<sup>[52]</sup>也有负效应<sup>[55]</sup>. Lin 和 Cao<sup>[56]</sup>对森林边缘区域的调查发现,该区土壤种子库中入侵种子的积累量多于林下植被中存活的入侵物种数,即林缘对于种子入侵没有起到阻碍作用,而种子在林内生存却受到一定影响.因此,为了阻止入侵物种进入林内发芽和生存,应改善森林的立地条件,使入侵物种难以存活,从而保证森林内原有植被的健康生长.

3.2 边缘效应对鸟类的影响

鸟类是森林生态系统的重要组成部分,且边缘效应这一概念尤其适于鸟类种群<sup>[57]</sup>,因为边缘效应对鸟类富集度的影响显著. Proctor 等<sup>[45]</sup>研究发现,处在边缘地区的鸟类比生活在森林深处的鸟类更警惕.有研究表明,破碎化次生林中斑块面积和斑块隔离对大山雀、喜鹊的产卵时间和卵平均质量均有影响<sup>[58-59]</sup>,从而影响其繁殖成功率.就鸟类的群落结构而言,鸟类物种数随着斑块面积的增大而增多<sup>[60]</sup>,耐边缘种偏爱面积较小的斑块,而非边缘种偏爱在大面积的斑块中繁殖<sup>[60]</sup>.除斑块面积外,鸟类群落结构的变异还与不同组成的斑块边缘、年龄结构和植被多样性有关<sup>[61-62]</sup>.随林缘长度的增加,鸟类的种-数系数(即鸟种数×鸟类总个体数)不断增加<sup>[63]</sup>,且不同距离梯度的鸟类分布差异达到极显

著水平<sup>[64]</sup>.苗秀莲等<sup>[65]</sup>研究表明,作为群落交错区的郊区的鸟类群落物种多样性指数和均匀性指数较大,其次为田间,市区最小.蔡燕等<sup>[66]</sup>对海南鹦哥岭的原生林、次生林、人工林及其林缘的鸟类多样性进行比较,结果表明,与原生林和次生林相比,人工林及其林缘的鸟类多样性较低,且人工林最低.因过度和轻度干扰都会使物种多样性和均匀性降低<sup>[65]</sup>,因此,应尽量保护原始林、次生林,避免人为破坏,使鸟类多样性更丰富、繁殖率更高、适宜生活的区域更大.

边缘地区食物供应充足,可引诱鸟类巢址,但边缘地区种间竞争和巢捕食率增加,使孵化率减小、雏鸟存活率严重下降,进而导致繁殖成功率降低<sup>[58]</sup>.有研究表明,无论天然还是人工巢箱中的鸟类,其巢捕食率在边缘地区明显高于森林内部<sup>[67-69]</sup>.因此,应避免边缘地区扩大,使鸟类更多地生活在森林内部,更好地繁殖生存.

4 边缘效应的应用探索

边缘效应规律是自然界和人类生态系统的普遍规律,应充分利用边缘优势为人类及整个生物圈服务.在自然保护区的设计管理中,边缘效应是必须考虑的一个重要内容.一般而言,大的圆形保护区有较大的核心区,受与边缘有关的生物、非生物的影响相对较小,因此能保护更多的物种和生态系统,其中生物种群灭绝的可能性较小<sup>[8]</sup>.由于自然或半自然景观的作用,破碎斑块地区的边缘效应将有所减弱,从而有较多的地区可以成为物种栖息的核心地区.正确区分斑块核心区面积的大小及其空间分布对于珍稀物种的保护将十分重要,尤其在景观破碎化严重地区,同时可以在较大程度上指导自然保护区功能区的划分<sup>[27]</sup>.

边缘效应可直接影响一些珍稀物种的生存.但往往由于没有正确分析边缘效应的强弱及其空间分布规律,导致在开展生物多样性保护研究时,忽略了边缘效应地区的生物多样性.斑块边缘效应在景观异质性较高和斑块形状较复杂地区表现得尤为复杂,因此,利用边缘效应的定量评价方法研究这些地区的边缘效应,对于自然保护区的设计和生物多样性保护具有十分重要的意义<sup>[27]</sup>.

边缘效应在护田林网、防火林带和防风林带具有重要的应用价值.杨延福和李树山<sup>[70]</sup>利用生物阻火层次分析法,分析了侧柏(*Platycladus orientalis*)林分的生态特点,研究其阻隔地表火蔓延和防止地



表火向树冠火转移的功能,从而提出将侧柏林缘改造成生物防火林带。Dalp 和 Masson<sup>[71]</sup>利用阻力系数和叶面积密度,运用流体动力学模型模拟了森林边缘气流的动量损失和动荡产生情况,进而探讨风能源的利用情况。应充分利用边缘优势,发挥边缘林木的防火和防风作用,使其更好地为人类服务。

合理利用边缘效应可提高植物的经济效益。杜心田和王同朝<sup>[20]</sup>研究发现,植物群体的边缘效应与水平边距呈负相关,即边缘效应递减律,将该规律应用于带状种植、设计各植物的幅宽时,凡发生正边缘效应的植物,其幅宽应窄于正边缘效应递减范围的 2 倍;凡发生负边缘效应的植物,其幅宽应大于负边缘效应递减范围的 2 倍,以减缓负边缘效应的影响,从而提高林木的经济效益和生态效益。丁宏等<sup>[53]</sup>研究表明,杨树人工林地东部方向的边缘效应最大,因此,在生产实践中可以尝试性地增加南北行的长度;面积最小林地的各行杨树胸径生长量差异很小,即最小面积的杨树林中,林木全部为边缘林木,建议多种植小面积杨树林,从而提高杨树林产量,增加杨树林的经济效益。

通过调查林缘降水中不同离子含量,对改良林地可起到一定的指导作用。Wuyts 等<sup>[72]</sup>调查了英国橡树(*Quercus robur*)、欧洲白桦(*Betula pendula*)、南欧黑松(*Pinus nigra*)距林缘 128 m 内净降水量中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等离子的含量,结果表明,与其他两种林分相比,黑松林缘因具有较多的穿透雨,降水中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量较高,如果将黑松林转栽成另外两种阔叶林或混交林分,将会降低土壤酸化、氮饱和、地面或表层水富营养化程度,并使生物多样性增加。在林木经营过程中,应尽量种植混交林分,间接增强林地内物种的多样性,从而使不同林木处于最佳的生长环境中,起到保护环境、保持生态平衡的作用,同时使经济利益最大化。

## 5 研究展望

边缘效应作为一种普遍且客观存在的现象,尽管在过去的几十年中受到不少国内外生态学家的关注,但由于边缘效应的产生机理和作用效果不同,在如何确定边缘效应的实际大小等问题上还没有科学可靠的方法,多通过具体实例加以研究。对于边缘效应的强度、影响范围及其模型测定等问题,试图在所有生态水平上寻求简单的、静态的模式是不切实际的。应根据研究目的的差异,在综合考虑目标物种的生境适宜性特征以及景观格局特征的基础上,构建

一种客观的边缘效应范围和强度分析方法,以便准确刻画边缘效应特征<sup>[8]</sup>。

不同尺度水平上边缘效应的研究方法有所差异。大尺度水平上主要应用数量生态学方法,中尺度水平上应用 3S 技术等方法,小尺度水平上通过距离边缘的长度以及群落中各种群的数量、结构、多样性等定量指标,并利用一些模型来构建测度公式<sup>[11]</sup>,但目前尚缺乏系统的、行之有效的定量研究方法。随着科学技术的发展和研究的不断深入,如遥感信息的多时相性及空间的大区域可达性、地理信息系统强大的综合分析能力及一些精密仪器在生态学上的应用,定量研究必将成为边缘效应的主要发展趋势。

在应用领域方面,目前国内研究多集中在自然保护区、防护林带的设计与管理、物种多样性保护、提高作物产量等方面;国外学者有通过边缘效应探讨风能源的利用情况,且有研究表明,可以通过边缘效应改良林地环境,我国研究者需加大这些方面的研究力度。此外,在森林生态系统中,边缘效应的存在使林内、外的林木生长情况有所差异,在某一范围内,存在着林木生长的最佳环境,因此,建议利用边缘这一空间优势,确定出最佳的林木经营密度,这也是短时间内确定林木最佳经营密度的研究方法之一。目前,边缘效应的应用研究仍处于初步阶段,利用边缘效应产生更多的生态和经济效益、为人类及整个生物圈服务是摆在许多生态学者面前的一项艰巨任务。

## 参考文献

- [1] Zhou Y-F (周宇峰), Zhou G-M (周国模). Summary of research on edge effect of patch. *East China Forest Management* (华东森林经理), 2007, **21**(2): 1-8 (in Chinese)
- [2] Leopold A. Game Management. New York: Charles Scribner's Sons, 1933
- [3] Beecher WJ. Nesting Birds and the Vegetation Substrate. Chicago: Chicago Ornithological Society, 1942
- [4] Forman RTT, Godron M. Landscape Ecology. New York: John Wiley & Sons, 1986
- [5] Yahner RH. Changes in wildlife communities near edges. *Conservation Biology*, 1988, **2**: 333-339
- [6] Wang R-S (王如松), Ma S-J (马世骏). Edge effect and its application in economic ecology. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 1985, **4**(2): 38-42 (in Chinese)
- [7] Xiao D-N (肖笃宁), Li X-Z (李秀珍), Gao J (高峻), et al. Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese)
- [8] Qu C-M (渠春梅), Han X-G (韩兴国), Su B (苏波). Edge effects in fragmented forests: Implications for

- design and management of natural reserves. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2000, **20**(1): 160–167 (in Chinese)
- [9] Murcia C. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 1995, **10**: 58–62
- [10] Wang Q-S (王庆锁), Wang X-P (王襄平), Luo J-C (罗菊春), *et al.* Ecotones and biodiversity. *Biodiversity Science* (生物多样性), 1997, **5**(2): 126–131 (in Chinese)
- [11] Zhou T (周 婷), Peng S-L (彭少麟). Spatial scale and measurement of edge effect in ecology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(7): 3322–3331 (in Chinese)
- [12] Ni J (倪 健). Plant functional types and biomes of China at a regional scale. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 2001, **43**(4): 419–425 (in Chinese)
- [13] Wang J-F (王健锋), Lei R-D (雷瑞德). Progress of theoretical research on ecotone. *Journal of Northwest Forestry College* (西北林学院学报), 2002, **17**(4): 24–28 (in Chinese)
- [14] Wei L (卫 丽), Gao L (高 亮), Du X-T (杜心田), *et al.* The law of edge effects in bio-system and its application for agriculture. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2003, **19**(5): 99–102 (in Chinese)
- [15] Aizen MA, Feinsinger P. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina. *Ecology*, 1994, **72**: 330–351
- [16] Shi P-L (石培礼), Li W-H (李文华), Wang J-X (王金锡), *et al.* Species-abundance relation of herb communities in subalpine timber-line ecotone of Wolong Natural Reserve, Sichuan Province, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2000, **20**(3): 384–389 (in Chinese)
- [17] Miao L-Y (苗莉云). Studies on Ecological Characteristics of *Larix chinensis* Communities Ecotone. Master Thesis. Shanxi: Shanxi Normal University, 2005 (in Chinese)
- [18] Schonewald-Cox CM, Bayless JW. The boundary model: Ageographical analysis of design and conservation of nature reserves. *Biological Conservation*, 1986, **38**: 305–322
- [19] Buecher M. Conservation in insular parks: Simulation models of factors affecting the movement of animals across park boundaries. *Biological Conservation*, 1987, **41**: 57–76
- [20] Du X-T (杜心田), Wang T-Z (王同朝). The law of decreasing edge effect in plant population and its significance. *Henan Science* (河南科学), 2002, **20**(1): 47–51 (in Chinese)
- [21] Zhou Y-B (周永斌), Wu D-D (吴栋栋), Yao P (姚鹏), *et al.* Preliminary study on the edge effect of popular plantation. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology* (福建林业科技), 2008, **35**(4): 108–110 (in Chinese)
- [22] Zang R-G (臧润国), Liu S-R (刘世荣), Jiang Y-X (蒋有绪). Principles of forest biodiversity conservation. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 1999, **35**(4): 71–79 (in Chinese)
- [23] Li M-H (李铭红), Song R-S (宋瑞生), Jiang Y-F (姜云飞), *et al.* Plant diversity in the six evergreen broad-leaved forest fragments in East China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(3): 1137–1145 (in Chinese)
- [24] Ma W-Z (马文章), Liu W-Y (刘文耀), Yang L-P (杨礼攀), *et al.* Edge effects on epiphytes in montane moist evergreen broad-leaved forest. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2008, **16**(3): 245–254 (in Chinese)
- [25] Matlack GR. Vegetation dynamics of the forest edge-trends in space and successional time. *Journal of Ecology*, 1994, **82**: 113–123
- [26] Wang B-S (王伯荪), Peng S-L (彭少麟). Analysis on the forest communities of Dinghushan Guangdong. X. Communities edge effect. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报·自然科学版), 1986, **25**(4): 52–56 (in Chinese)
- [27] Chen L-D (陈利顶), Xu J-Y (徐建英), Fu B-J (傅伯杰), *et al.* Quantitative assessment of patch edge effects and its ecological implications. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(9): 1827–1832 (in Chinese)
- [28] Bi R-C (毕润成), Yang H-G (杨焕根), Zhu X-J (朱新军). Study on edge effect of deciduous broad-leaved forest in warm-temperate zone of Mt. Huoshan. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2004, **24**(8): 1441–1447 (in Chinese)
- [29] Miller DR, Lin JD. Canopy architecture of a red maple edge stand measured by a point drop method// Hutchinson BA, Hichks BB, eds. Forest-Atmosphere Interaction. Boston, MA: D. Keidel Publishing Company, 1985: 59–70
- [30] Silbernagel J, Chen JQ, Song B. Winter temperature changes across an old-growth Douglas-fir forest edge. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**: 1403–1412
- [31] Niu S-K (牛树奎), Zhang Y-H (张永贺), Duan Z-G (段兆刚). Study on the herb fuels of the edges in the plantations of *Larix principis-rupprechtii*. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2000, **22**(4): 52–55 (in Chinese)
- [32] Wang W-J (王文杰), Zu Y-G (祖元刚), Yang F-J (杨逢建), *et al.* Photosynthetic ecophysiological study on the growth of Korean pine (*Pinus koraiensis*) afforested by the edge-effect belt method. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(11): 2318–2326 (in Chinese)
- [33] Zhou T (周 婷), Peng S-L (彭少麟), Lin Z-G (林真光). Edge effect of road in Dinghushan forests. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2009, **28**(3): 433–437 (in Chinese)
- [34] Wu Y-N (乌玉娜), Tao J-P (陶建平), Zhao K (赵科), *et al.* Edge effects of a natural secondary forest on liana communities in Bawangling, Hainan Island. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2010, **46**(5): 1–6 (in Chinese)

- Chinese)
- [35] Hamberg L, Fedrowitz K, Lehtv irta S, *et al.* Vegetation changes at sub-xeric urban forest edges in Finland-the effects of edge aspect and trampling. *Urban Ecosystems*, 2010, **13**: 583–603
  - [36] Williams-Linera G. Vegetation structure and environmental conditions of forest edges in Panama. *Journal of Ecology*, 1990, **78**: 356–373
  - [37] Malcolm JR. Edge effects in central Amazonian forest fragments. *Ecology*, 1994, **75**: 2438–2445
  - [38] Ma Y-X (马友鑫), Liu Y-H (刘玉洪), Zhang K-Y (张克映). On microclimate edge effects of tropical rainforest fragments in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1998, **22**(3): 250–255 (in Chinese)
  - [39] Chen J, Franklin JF, Spies TA. An empirical model for predicting diurnal air temperature gradients from edge into old growth Douglas fir forest. *Ecological Modelling*, 1993, **67**: 179–198
  - [40] Laurance WF, Ferreira LV, Maerona JM, *et al.* Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology*, 1998, **79**: 109–117
  - [41] Wang X-B (王雄宾), Yu X-X (余新晓), Xu C-L (徐成立), *et al.* Effects of thinning on edge effect of *Larix principis-rupprechtii* plantation. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2009, **31**(5): 29–34 (in Chinese)
  - [42] Didham RK. The Influence of Edge Effects and Forest Fragmentation on Leaf Litter Invertebrates in Central Amazonia. Chicago: University of Chicago Press, 1997
  - [43] Huang S-N (黄世能), Wang B-S (王伯荪), Li Y-D (李意德). Edge effects in two secondary tropical montane rainforests at Jianfengling, Hainan Island of China. *Forest Research* (林业科学研究), 2004, **17**(6): 693–699 (in Chinese)
  - [44] Cancino J. Modeling the edge effect in even-aged Monterey pine (*Pinus radiata*) stands. *Forest Ecology and Management*, 2005, **210**: 159–172
  - [45] Proctor CJ, Broom M, Ruxton GD. Antipredator vigilance in birds: Modeling the edge effect. *Mathematical Biosciences*, 2006, **199**: 79–96
  - [46] McDonald RI, Urban DL. Forest edges and tree growth rates in the north Carolina Piedmont. *Ecology*, 2004, **85**: 2258–2266
  - [47] Zhang Y-P (张一平), Ma Y-X (马友鑫), Liu Y-H (刘玉洪), *et al.* Temperature characteristics of different thermal active surfaces near edge of tropical rain forest. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2001, **23**(6): 22–26 (in Chinese)
  - [48] Zu Y-G (祖元刚), Wang W-J (王文杰), Wang H-M (王慧梅). Differences in water ecology of a young *Pinus koraiensis* stand grown in edge-effect belts and reserved belts. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2002, **26**(5): 613–620 (in Chinese)
  - [49] Guo P (郭萍), Ma Y-X (马友鑫), Zhang Y-P (张一平), *et al.* Plant temperature edge effects of tropical rainforest fragment in Xishuangbanna. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2003, **25**(1): 19–22 (in Chinese)
  - [50] Yan M (闫明), Zhong Z-C (钟章成), Qiao X-H (乔秀红). Microclimate edge effects of evergreen broad-leaved forest fragments in Jinyun Mountain: A preliminary study. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(1): 17–21 (in Chinese)
  - [51] Guo Z-H (郭志华), Zhang X-D (张旭东), Huang L-L (黄玲玲), *et al.* Solar energy and water utilization of *Quercus mongolica*, a deciduous broadleaf tree, in different light regimes across the edge of a deciduous broad-leaved forest. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(4): 1047–1056 (in Chinese)
  - [52] Marchand P, Houle G. Spatial patterns of plant species richness along a forest edge: What are their determinants? *Forest Ecology and Management*, 2006, **223**: 113–124
  - [53] Ding H (丁宏), Zhou Y-B (周永斌), Cui J-G (崔建国). Study on edge-effect of poplar man-made forest in Liaoyang area. *Forestry Science & Technology* (林业科技), 2008, **33**(3): 15–18 (in Chinese)
  - [54] Lamsa MM, Hamberg L, Haapamaki E, *et al.* Edge effects and trampling in boreal urban forest fragments-impacts on the soil microbial community. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, **40**: 1612–1621
  - [55] Telodo-Aceves T, Garcia-Oliva F. Effects of forest-pasture edge on C, N and P associated with *Caesalpinia eriostachys*, a dominant tree species in a tropical deciduous forest in Mexico. *Ecological Research*, 2008, **23**: 271–280
  - [56] Lin LX, Cao M. Edge effects on soil seed banks and understory vegetation in subtropical and tropical forests in Yunnan, SW China. *Forest Ecology and Management*, 2009, **257**: 1344–1352
  - [57] Gates JE, Gysel LW. Avian nest dispersion and fledgling success in field-forest ecotones. *Ecology*, 1978, **59**: 871–883
  - [58] Deng W-H (邓文洪), Gao W (高玮). Effect of forest patch size and isolation on reproductive success of Great Tit in fragmented secondary-forests. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12**(4): 527–531 (in Chinese)
  - [59] Zhao J (赵匠), Deng W-H (邓文洪), Gao W (高玮). Effect of forest patch size on reproductive success of magpies in fragmented secondary-forest. *Zoological Research* (动物学研究), 2002, **23**(3): 220–225 (in Chinese)
  - [60] Deng W-H (邓文洪), Zhao J (赵匠), Gao W (高玮). Effects of patch size and habitat quality on bird communities in fragmented secondary-forests. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报). 2003, **23**(6): 1087–1094 (in Chinese)
  - [61] Lawler JJ, Edwards TC. Composition of cavity-nesting bird communities in montane aspen woodland fragments: The role of landscape context and forest structure. *The Condor*, 2002, **104**: 890–896
  - [62] Wang W (王文), Wang N-X (王宁侠), Yuan L



(袁 力), *et al.* Edge effect on avian community structure in steppe-forest ecosystem of Honghuaerji in summer. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2007, **35**(3): 64–67 (in Chinese)

[63] Liu X-Y (刘喜悦), Li S-C (李世纯), Sun Y-H (孙悦华), *et al.* The structure of breeding bird communities in the secondary forest at Changbai Mountain. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 1998, **44**(1): 11–19 (in Chinese)

[64] Cao C-L (曹长雷), Gao W (高 玮), You Y-Y (由玉岩), *et al.* Edge effects of secondary forest patches on avian distribution. *Journal of Sichuan Normal University* (Natural Science) (四川师范大学学报·自然科学版), 2010, **33**(2): 247–250 (in Chinese)

[65] Miao X-L (苗秀莲), Cheng B (程 波), Jia S-B (贾少波), *et al.* Edge effect of the bird distribution in Liaocheng City in spring. *Journal of Liaocheng University* (Natural Science) (聊城大学学报·自然科学版), 2005, **18**(1): 49–51 (in Chinese)

[66] Cai Y (蔡 燕), Yang C-C (杨灿朝), Liang W (梁伟), *et al.* Negative effects of plantations on bird diversity in Yinggeling nature reserve, Hainan Island. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), 2009, **28**(5): 764–767 (in Chinese)

[67] Burkey TV. Edge effects in seed and egg predation at

two neotropical rainforest sites. *Biological Conservation*, 1993, **85**: 199–202

[68] Paton PWC. The effect of edge on avian nest success: How strong is the evidence? *Conservation Biology*, 1994, **8**: 17–26

[69] Marini MA, Robinson SK, Heske EJ. Edge effects on nest predation in the Shawnee national forest, southern Illinois. *Biological Conservation*, 1995, **74**: 203–213

[70] Yang T-F (杨廷福), Li S-S (李树山). Discussion on changing forest edge belt into Bio-fireproof Forest Belt of *Platycladus orientalis*. *Shangdong Fire Provention & Control* (山东消防), 1997(3): 42 (in Chinese)

[71] Dalp B, Masson C. Numerical simulation of wind flow near a forest edge. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2009, **97**: 228–241

[72] Wuyts K, Schrijver AD, Staelens J, *et al.* Comparison of forest edge effects on throughfall deposition in different forest types. *Environmental Pollution*, 2008, **156**: 854–861

---

作者简介 田 超,女,1985 年生,硕士研究生.主要从事水土保持、森林生态研究. E-mail: tianchao9996@163.com

责任编辑 杨 弘

---