

斑块边缘效应的定量评价及其生态学意义

陈利顶,徐建英,傅伯杰,吕一河

(中国科学院生态环境研究中心,北京 100085)

摘要:边缘效应是生态系统(斑块)边缘和生态过渡区所呈现出的生态效应。但由于景观性质、研究目标和斑块形状的变化,边缘效应影响的范围和程度差异较大。核心斑块与周边景观之间的相似性既可以增强边缘效应,也可以减弱边缘效应。正确理解和确定边缘效应的影响范围和程度直接关系到对野外环境观测数据的科学使用。许多情况下,由于未能正确认识一个生态系统(斑块)的边缘效应,时常会将边缘效应地区获得的数据与系统内部核心区的观测数据混淆使用,得出一些不科学的结论。边缘效应的定量评价对于进行科学的野外环境观测,及其在自然保护区功能区设计和生物多样性保护中具有重要意义。但如何定量评价生态系统(斑块)的边缘效应目前还缺乏科学有效的方法。从分析边缘效应的概念和影响因子出发,结合地理信息系统,提出了开展定量评价斑块边缘效应的方法,并探讨了定量研究边缘效应的生态学意义。

关键词:斑块;边缘效应;景观适宜性;GIS;滑动窗口

Quantitative assessment of patch edge effects and its ecological implications

CHEN Li-Ding, XU Jian-Ying, FU Bo-Jie, LÜ Yi-He (Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1827~1832.

Abstract: Edge effects refer to the variation of certain ecological processes across the boundaries or the transition zones between different ecosystems. The magnitude and extent of landscape edge effects vary according to the level of landscape heterogeneity, the targets of interest, and the spatial configuration of landscape patches. The similarity between core patches and surrounding landscape could enhance or reduce edge effects. Understanding landscape edge effects is, therefore, critical to the appropriate use of environmental data collected through field surveys. Unfortunately, landscape edge effects are often neglected and as a result, data obtained in the areas under the influence of edge effects and acquired within the core areas are mixed in use. This often leads to absurd conclusions. Therefore, the quantitative assessment of landscape edge effects is important not only to the design of environmental field observation framework, but also to the planning of functional zones and biodiversity conservation in a protected area. However, there is a lack of effective methods for landscape edge effect quantification. In this paper, we propose a method for quantitative assessment of landscape edge effects by using the concept of landscape ecology and GIS technique. We also discuss the ecological implications of landscape edge effect quantification.

Key words: patch; edge effect; landscape suitability; GIS; filter window

文章编号:1000-0933(2004)09-1827-06 中图分类号:Q149 文献标识码:A

1 边缘效应的概念与内涵

边缘效应是指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(物质、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、生产力和多样性等)不同于系统内部的变化,这种现象称为边缘效应^[1,2]。现有的研究报道在探讨边缘效应的理论和内涵的基础上,研究了边缘效应对小气候^[3~6]、物理环

基金项目:国家自然科学基金创新研究群体科学基金资助项目(40321101);国家自然科学基金面上基金资助项目(40371115)

收稿日期:2004-03-27;修订日期:2004-06-05

作者简介:陈利顶(1965~),男,博士,研究员,主要从事景观格局与生态过程、土地持续利用评价与规划,环境遥感研究。E-mail:Liding@mail.rcees.ac.cn; chenliding@sohu.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40321101, 40371115)

Received date: 2004-03-27; Accepted date: 2004-06-05

Biography: CHEN Li-Ding, Ph. D., Professor, mainly engaged in landscape pattern and ecological processes, sustainable land use evaluation and planning, and environmental remote sensing. E-mail: Liding@mail.rcees.ac.cn

境^[7~14]、物种迁移和多样性保护的影响^[15~19]及其在森林恢复^[20~21]和自然保护区设计与管理中的应用^[22~26]。

边缘效应是生态学和生物多样性保护中非常重要的概念,尤其是在自然保护区功能区设计时,边缘效应是必须考虑的一项内容^[15~23]。一般认为,在被隔离的小保护区内,生存领域大的大型肉食动物比生存领域小的更容易灭绝,说明小保护区强烈的边缘效应可能是物种种群灭绝的主要原因^[25]。由于边界地区景观性质差异较大,在主体斑块边缘地区生存的动植物受到边界外的人类干扰和其他动植物的影响要明显高于远离边界的核心地区。一般认为对于不同的动植物,斑块边缘效应存在一定的宽度。对一个斑块来说,斑块面积越大,核心区的面积越大,相应的边缘效应所占的面积比例越小,但对于同样面积的两个斑块,形状规整的斑块,一般其边缘效应所占的面积比例较小,而对于斑块形状比较复杂的斑块,其边缘效应所占面积比例较大。在进行自然保护区内的缓冲区设计时,一般要求缓冲区的宽度足够大,其目的是将边缘效应可能影响到的范围都包括在内。然而由于边缘效应的复杂性和针对性,在确定边缘效应的实际大小时目前还没有科学可靠的方法,多是通过具体的实例比较研究,来确定边缘效应。本文结合边缘效应的特性及其影响因素,在 GIS 支持下,提出了评价边缘效应的定量方法,以便为景观结构设计和自然保护区功能分区提供科学依据。

2 斑块边缘效应的影响因素

实际研究中,边缘效应的影响范围不能一概而论。针对不同景观地区、不同斑块形状、不同种群以及不同的研究对象,边缘效应的影响范围应该不同。例如,汪永庆等研究认为种群遗传多样性与该种群离边缘区的距离呈显著正相关^[16];杜心田和王同朝发现在同一条件下,植物群体边缘效应的绝对值随水平距离递增而递减^[21];祖元刚等对处于不同宽度的边缘效应带和保留带的红松幼树木质部水势、叶片蒸腾强度、气孔导度、叶片温度、空气相对湿度和光合有效辐射的日变化以及土壤相对含水量进行了分析^[14],发现边缘效应带的开拓降低了效应带内红松幼树木质部水势、空气相对湿度和叶片气孔导度,显著提高了叶片蒸腾强度、叶片温度和光合有效辐射;但土壤表层相对含水量要低于保留带内,深层土壤有相反的趋势。由此可以看出,不同的研究对象所表现出的边缘效应特征有所不同。因此,在确定一个生态系统(斑块)的边缘效应时,应该考虑下列影响因子:

(1) 研究或需要保护(研究)的对象 边缘效应是有针对性的,一些动、植物或物理过程对边界比较敏感,常常会出现明显的边缘效应,如对人类活动、天敌、道路交通噪声、环境污染等反应比较明显。在针对这些物种保护进行景观格局设计时,边缘效应应该成为考虑的一个重要方面。但对于一些对边界和外来干扰不敏感的生物种群,特别是那些多生境物种来说,边缘效应一般表现的并不强烈,在针对这些生物种群保护进行景观格局设计时,边缘效应可以作为次要因素考虑。

(2) 景观适宜性或相邻景观的影响 即使对于同一种生物,在考虑其栖息斑块的边缘效应时,也不应该简单地以一固定的宽度划出边缘效应。斑块的边缘效应同时与其相邻斑块的景观相似性(适宜性)有关。如果主体斑块与周边斑块适宜性相近,则该斑块的边缘效应较弱;反之,如果两种斑块类型之间对比强烈,通常应表现出强烈的边缘效应。例如大熊猫生存的斑块,如果其周边的景观类型是农田、居民点和道路等人类活动特征比较明显的景观,那么斑块的边缘效应将十分强烈;但是如果大熊猫生存斑块的周边是自然属性比较明显的景观类型,如自然草地、高山草甸、次生灌丛,由于他们对大熊猫的影响相对于人类活动而言较小,那么斑块的边缘效应则较弱。因此在讨论生物栖息斑块的边缘效应时,应该充分考虑斑块周边景观类型的适宜性及其对目标物种的影响程度。

(3) 斑块的形状 斑块形状对边缘效应的影响十分明显。一般认为圆形或正方形斑块的边缘效应较小,形状复杂的斑块边缘效应比较强烈。但是如果核心斑块的性质相同,而周边景观类型不同(适宜性不同),那么斑块的边缘效应会有较大差异。如图 1 所示,一般认为图 1c 边缘效应最强,核心区的面积最小。但是,如果斑块周边的景观性质在一定程度上也适宜目标物种的生存,那么边缘效应会减弱,周边景观实际上起到了减弱外界干扰的作用,核心区的面积会有所扩大,其空间分布形状也将发生一定的变化,将会与图 1c 中的虚线斑块形状有所不同。如果周边景观类型属于完全不适宜物种生存的景观,那么斑块的边缘效应处于最大,核心区面积最小,正如图 1c 中的虚线所示。对于图 1c 中斑块边缘的任何一点,受到周边景观的影响程度还取决于周边景观类型的性质,即与核心斑块的相似性或适宜性。

(4) 尺度效应 因为研究对象本身的活动能力、环境适应能力和分布特征差异,边缘效应通常会表现出明显的尺度差异。植物种类和小型动物种类由于空间散布能力差、生境适应能力弱或者对核心生境有某种严格要求,其边缘效应最佳观测尺度一般为生态系统(斑块)之间的过渡区域,一些小型昆虫甚至在边缘地区内部仍会由于生境特点的细微差异而表现出明显的密度空间分异;大型动物种类,特别是那些多生境物种的空间分布与活动一般表现为景观尺度水平的边缘效应,即在多种组分构建的景观内部,这些物种可能会选择一种或少数几种组分作为核心生境,而其余斑块类型均成为该物种核心生境与周边其他景观类型之间的过渡区域。

除上述因素外,边缘效应还可能会受到边缘两侧的生态应力强度和方向、斑块或景观分布的环境与梯度特征、边缘区域发育的时间等^{另外数据}。合理确定边缘效应的强度和范围,对于景观管理和保护区功能分区等应用和保护目标而言,无疑具有重要的意义。但无论是斑块还是景观尺度的边缘效应分析,仅仅简单地利用等距离划缓冲区的办法来确定边缘效应无疑是不合

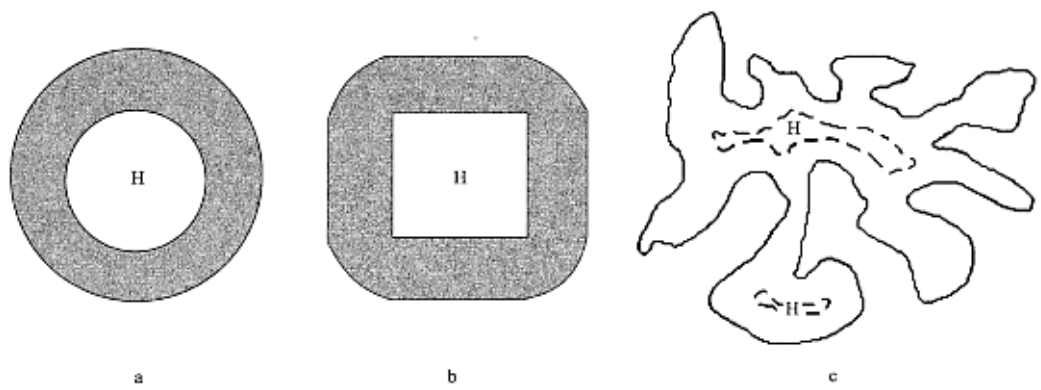


图 1 斑块形状对边缘效应的影响比较

Fig. 1 Comparison of the effect of patch shape on the edge effects

适的。正确的做法应当是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。

3 景观尺度边缘效应定量评价方法

目前,人们常用破碎化景观的周长与面积比 p/a 来表示边缘效应^[27~29],这种仅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,而且没有给出边缘效应的空间分布特征。在景观尺度上,一个空间单元是否属于边缘效应影响区,关键在于它受到异类景观影响的程度。如果一个地区受到异类景观的影响较大,那么该地区应该属于边缘效应影响区,否则应该属于核心地区。为了准确地确定边缘效应的大小,可以借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;通过比较每一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影响的程度。如果该单元的景观适宜性负荷值大于边缘效应的临界点,则认为它不属于边缘效应的影响区,在进行生态功能区划时,应该划归为核心区;如果其负荷值小于边缘效应的临界点,则应该划为边缘效应的影响范围。斑块边缘效应的确定应遵循下列步骤。

3.1 景观类型空间制图及其景观适宜性评价

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,首先要确定研究地区现有的各种景观类型及其空间分布特征,分析各种斑块的大小,数目和形状。在此基础上,根据各种景观类型的属性特征,分析他们可能对目标物种的影响,评价区域的景观适宜性。对于适宜目标物种生存的景观类型,建议其适宜性赋值为 1,对于完全不适宜的景观类型赋值为 0,对于处于中间适宜性景观类型可以赋值为 0.5,依此类推。如对于大型哺乳动物来说,根据景观的人类干扰强度,可以对景观类型进行如下赋值,有林地(尤其是自然的森林,覆盖度较好的阔叶林)中人类的干扰强度较弱,它们对一些目标物种比较适宜,可以赋值为 1;灌木林地作为一种次生的植被类型,在较大程度上受到人类活动干扰,且它的覆盖稍差,可以赋值为 0.75,草地作为一种自然的景观类型,因高度有限,景观适宜性赋值为 0.5,尽管不能对大型哺乳动物的保护起到有效的作用,但是作为保护目标和人类活动之间的缓冲带,可以起到较好的缓冲作用。对于人类活动极强的景观类型,如城市、居民点、交通道路、工矿用地等可以认为是对大型哺乳动物极为不利的景观类型,因此在景观适宜性评价时,可以考虑赋值为 0,对于一些农田、果园地区,虽然受到人类的直接作用,但人类活动的强度有限,因此可以赋值为 0.25。在地理信息系统支持下,可以较好地得到一个地区针对某种保护目标的景观适宜性评价图。

3.2 边缘效应理论宽度的确定

对于不同的研究对象来说,边缘效应其可能存在的宽度将会有较大的差异。如何来确定边缘效应的宽度呢?作者认为对于一些珍稀的保护动物来说,可以使用目标物种的活动领域半径来确定,即理论上的斑块边缘效应应该与该物种活动领域等面积的半径大小相当。这是因为如果距离斑块边界大于动物活动半径,我们可以肯定这些地区不会受到斑块边界外的人类活动影响,否则,相反。如果要研究林地小生境(林地内的气温、湿度、光照等)的边缘效应,可以用优势树种的高度作为边缘效应的理论宽度。其假设的前提是,对于核心区的林地,由于有边缘地区树木的保护(阴影),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其内部的生境有较大差异。

3.3 滑动窗口大小的确定

滑动窗口大小数据,主要是为了定量确定每一个空间单元景观适宜性的负荷值。实际上滑动窗口大小直接决定了边缘效应研究的精度。首先需要确定空间单元的大小,空间单元的大小可以根据研究工作的精度来确定,但是应该参考边缘效应的理

论宽度(D),可以取空间单元的大小为 $\frac{D}{n}$ 。如果需要提高边缘效应的研究精度,可以增加 n 的值;其次是确定滑动窗口的大小,滑动窗口的大小应该与空间单元的大小密切相关。实际上,确定了空间单元的大小后,滑动窗口的大小已经确定(参见图2),那么滑动窗口大小应该是 $(2n+1)\times(2n+1)$ 单元。如果2个空间单元的大小等于边缘效应的理论宽度(即一个边缘效应理论宽度中含两个空间单元),那么滑动窗口的大小应该是 5×5 的窗口(包含25个空间单元);如果3个空间单元的大小等于边缘效应的理论宽度,则滑动窗口的大小应该是 7×7 的窗口(包含49个空间单元)。由此可以看出随着研究精度的提高,每一次滑动窗口包含空间单元将不断增加,由此计算出的区域景观适宜性将更趋近于实际状况。

3.4 边缘效应的定量评价

在确定影响边缘效应滑动窗口大小后,可以通过考虑每一个空间单元周边一定范围内各类景观的面积及其相应的适宜性,通过加权求和来确定。

图2中,假设只有两种极端的景观类型,一种是完全适宜的景观类型,如深灰色区域(景观适宜性赋值为1),一种是完全不适宜的地区,如图中的空白方格所示(景观适宜性赋值为0);同时假设边缘效应的理论宽度相当于两个空间单元的大小,那么滑动窗口的大小应该为 5×5 。对于图2中第 i 单元,该处肯定是边缘效应影响地区,那么计算出来的景观适宜性负荷值是0.36;对于空间单元 h ,此处也是边缘效应影响地区,计算出来的景观适宜性负荷值为0.8;对于空间单元 k ,它也属于边缘效应影响的地区,计算出来的景观适宜性负荷值为0.64。对于图2来说,只有当某一空间单元所处的滑动窗口的景观适宜性负荷值为1时,才能表明该单元不属于边缘效应的影响区;由此可以看出,当滑动窗口的景观适宜性负荷值小于 $2n/(2n+1)$ 时,可以肯定该单元属于边缘效应影响区。在实际中,常常是一些景观类型复杂和斑块形状复杂的格局,景观适宜性的负荷值会受到其景观性质和斑块形状的影响,那么如何判断边缘效应的影响范围和影响大小呢?

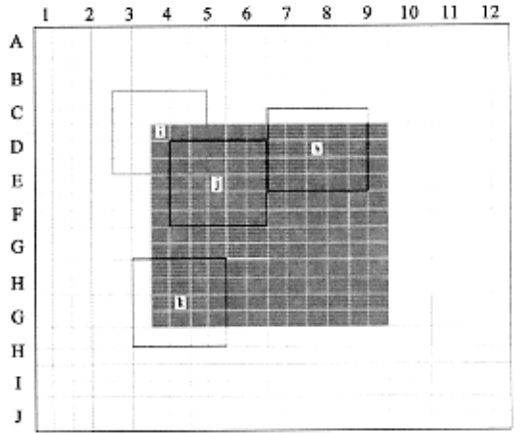


图2 斑块边缘效应空间单元划分与窗口大小选择示意图
Fig. 2 Scheme figure on the window selection and the spatial unit identification for edge effect evaluation

对于景观中的任何一点(如图2所示),根据上述分析只有当一个空间单元的景观适宜性负荷值介于1(滑动窗口中的所有单元均处于适宜状态)和 $2n/(2n+1)$ 之间时,才无法判断它是边缘效应地带,还是核心斑块地区。此时,可以取两者之间的平均值作为判断的临界值,即1和 $2n/(2n+1)$ 的平均值,作为判断边缘效应的临界值。对于不同的研究对象或目标,需要考虑边缘效应的重要性:

边缘效应地区 $SL \leq \frac{1}{2} \left(\frac{2n}{2n+1} + 1 \right) \times Wi$, 即 $SL \leq \frac{4n+1}{4n+2} \times Wi$

斑块核心地区 $SL > \frac{4n+1}{4n+2} \times Wi$

如何确定各个空间单元的景观适宜性负荷值至关重要。对于空间单元的景观适宜性负荷值可以利用下式确定:

$$SL = \sum_{i=1}^m (LSi \times Pi) = \sum_{i=1}^m (LSi \times Ci) / (2n + 1)^2$$

式中, SL 表示滑动窗口中心单元的景观适宜性负荷值, LSi 表示第 i 种景观类型的权重, Pi 表示第 i 种景观类型在滑动窗口中所占面积百分比, Ci 为滑动窗口中第 i 类景观的单元数量, Wi 表示不同研究对象对边缘效应的重要性。该模型就考虑了斑块周边景观性质和斑块形状可能对边缘效应的影响。

4 边缘效应定量评价方法的生态学意义

边缘效应的正确评价直接影响到野外环境观测数据的科学使用。在许多情况下,由于未能正确科学把握一个地区的边缘效应,在边缘效应影响地区获得的数据或生态规律,很可能被理解为一个生态系统(斑块)核心区的结果。这种结论往往会造成错误的判断,影响到科学决策。正确理解边缘效应的内涵及其定量化评价将是避免错误决策的基础,这也是生态学研究应该正确区分的一项内容,否则会造成得出的结论差之千里。

4.1 景观结构设计与自然保护区功能区划分

通常,在自然保护区的核心区、缓冲区和实验区设计时,一般是根据主要生态系统(斑块)类型的空间分布来确定,在斑块形状比较规整的地区,这种划分方法一般不会对生物多样性保护产生较大的影响。但是对于一些斑块比较破碎的地区,往往会低

估了斑块核心区的面积。实际上, 由于大型哺乳动物主要栖息斑块的周边景观类型在一定程度上会影响到栖息地的环境(即边缘效应的存在); 一些自然属性较高的景观类型在一定程度上将会减弱边缘效应, 但是人类活动强度较大的景观类型将在一定程度上会增强边缘效应。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会大大减弱, 从而有较多的地区可以成为物种栖息的核心地区。正确区分这一部分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的地区。同时可以在较大程度上指导自然保护区功能区的划分。

4.2 斑块边缘效应定量化与生物多样性保护

由于边缘效应的存在, 直接影响到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。由于斑块边缘效应在景观异质性较高和斑块形状复杂的地区表现得尤为复杂, 因此利用该方法定量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。

4.3 边缘效应与环境空间梯度的研究

边缘效应的强弱在空间上反映了一种环境梯度的变化。如从一个生态系统(斑块)的内部到另外一个生态系统(斑块)的转变, 其间的土壤水分、土壤有机质、土壤温度、土壤微生物、地表层气温、大气湿度、化学物质浓度均有一定的变化, 定量确定边缘效应的强弱, 在一定程度上可以和环境梯度联系在一起, 正确地理解环境梯度上的生态现象和规律, 指导科学研究工作。如在林地生态系统(斑块)核心地区获得的数据可以代表一个林地生态系统(斑块)的生理特征和动态变化, 但在林地生态系统(斑块)边缘地区开展的研究工作只能代表不同环境梯度上的生态演变规律, 不能与核心地区的生态现象等同。

4.4 应用的局限性

该理论仅仅是为定量评价斑块边缘效应提供了一个理论基础。由于斑块边缘效应受到多种因子的影响, 对于不同的研究对象其边缘效应变化规律将会不同。因此在具体应用中, 应该结合具体的研究对象, 分析影响斑块边缘效应的因子及其贡献, 确定景观适宜性评价的指标和权重, 科学确定边缘效应的理论宽度, 并结合研究工作的精度选择滑动窗口的大小, 既达到研究的目标, 也保证不增加太多的工作量。

5 结语

边缘效应是生态学和生物多样性保护中非常重要的概念, 尤其是在涉及物种保护的自然保护区功能区设计时, 边缘效应是必须考虑的一项内容。边缘效应不仅受到周边景观性质的影响, 同时受到斑块自身形状的影响。利用缓冲区分析来确定生态系统(斑块)的边缘效应往往忽略了周边景观性质和斑块形状对它的影响。正确认识边缘效应的影响范围和强度, 直接影响到对野外观测数据的科学使用。本文结合边缘效应的特性及其影响因素, 在 GIS 支持下, 提出了评价边缘效应的定量方法, 该评价方法的一个突出特点是考虑了斑块周边景观性质和斑块自身形状对边缘效应的影响, 可以比较精确地评价边缘效应的影响范围和程度, 为自然保护区的合理规划和正确使用野外的环境观测数据提供基础。

References:

- [1] Beacher W J. *Nesting birds and the vegetation substrate*. Chicago Omithological Society, 1942.
- [2] Ma S J and Wang R S. Edge effects and its application in economic ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 1985, **2**:38~42.
- [3] Young A and N Mitchell. Microclimate and vegetation edge effects in a fragmented podocarp-broadleaf forest in New Zealand. *Biological Conservation*, 1994, **67**:63~72.
- [4] William L G. Vegetation structure, and environmental conditions of forest edges in Panama. *Journal of Ecology*, 1990, **78**:356~373.
- [5] Liu W J, Tang J W and Bai K J. Macroal mate effect with and between *Shorea Chinensis* Forest fragments in Xishuangbanna. *Acta Phytocologia Sinica*, 2001, **25**(5):616~622.
- [6] Silbernagel J, Chen J Q and Song B. Winter temperature changes across an old-growth Douglas-fir forest edge. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(9):1403~1412.
- [7] Camargo JL and CV Kopos. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in Central Amazonian forest. *Journal of Trop. Ecology*, 1995, **11**:205~211.
- [8] Matlack GR. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. *Biological Conservation*, 1993, **66**:185~194.
- [9] Kopos V, Ganade G, Matsui E, *et al.* 13C as an indicator of edge effects in a fragmentation rainforest reserves. *J. of Ecology*, 1993, **81**:425~532.
- [10] Xi W, Wang C and Bi R C. The study of the edge effect of forest communities in Jinyun Mountain. *Acta Phytocologia and Geobotanica Sinica*, 1993, **17**(3):232~242.

[11] Peng S L. Studies on edge effect of successional communities and restoration of forest fragment in low sub-tropics. *Acta Ecologica Sinica*,2000, **20**(1):1~8.

[12] Qu C M, Han X G, Su B, *et al.* Edge effect of water use effency indicated by Foliar ¹³C value in a fragmented seasonal rainforest in Xishuangbanna. *Acta Plytecologia Sinica*,2001, **25**(1):1~5.

[13] Ma Y X, Liu Y H, Zhang K Y. On macroclimate edge effects of tropic rainforest fragment in Xishuangbanna. *Acta Plytecologia Sinica*, 1998,**22**(3):250~255.

[14] Zu Y G, Wang W J, Wang H M. Difference in water ecology of a Young Pinus Koraisensis Stand grown in Edge-belts and reserved belts. *Acta Plytecologia Sinica*,2002, **26**(5):613~620.

[15] Wu Z J, Li Y M. Effect of habitat fragmentation on animal survival. *Acta Ecologica Sinica*,2003, **23**(11):2424~2435.

[16] Jia S B, Sai D J and Zhu J. Bird diversity of Dongchang Lake in Spring. *Chinese Journal of Zoology*,2001, **36**(4):40~44.

[17] Lian Z M, Yu G Z. Edge effect and Biodiversity. *Chinese Biodiversity*,2000, **8**(1):120~125.

[18] Harris L D. Edge as effects and conservation of biotic diversity. *Conservation Biology*, 1988,**2**:330~332.

[19] Marini MA, Robinson S K, Heske E J. Edge effect of nest predation in the Shawnee National Forest Southern Illinois. *Biological Conservation*, 1995,**74**(3):203~213.

[20] Carolina Murcia. Edge effect in fragmentation forests. *Conservation Biology*, 1995, **9**(3):661~668.

[21] Du X T, Wang T C. The law of decreasing edge effecting pant population and its significance. *He'nan Science*,2002, **20**(1):47~51.

[22] Guan Z J, Pei T F. Edge effects and the developing direction of ecosystem balance. *Chinese Jouranal of Ecology*,2001, **20**(2):52~55.

[23] Qu C M, Han X G, Su B. Edge effects in fragmented forests; implication for design and management of nature reserve. *Acta Ecologica Sinica*,2000, **20**(1):160~167.

[24] Qin F F, An S Q, Zo Y W, *et al.* The effect of landscape fragmentation on plant populations. *Chinese Journal of Ecology*,2003, **22**(3):43~48.

[25] Woodroffe R, Ginsberg JR. Edge effects and the extinction of populations inside protected areas. *Science*, 1998,**280**:2126~2128.

[26] Simberloff D, Abele LG. Refuge design and island biogeographic theory; effects of fragmentation. *American Naturalist*, 1982, **120**:41~50.

参考文献:

[2] 马世骏,王如松. 边缘效应及其在经济生态学中的应用,生态学杂志,1985,**2**:38~42.

[5] 刘文杰,唐建维,白坤甲. 西双版纳片段化望天树林小气候边缘效应比较研究. 植物生态学报,2001, **25**(5):616~622.

[10] 奚为民,钟张成,毕润成. 四川缙云山森林群落林窗边缘效应的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1993,**17**(3):232~242.

[11] 彭少麟. 南亚热带演替群落的边缘效应及其对森林片段化恢复的意义. 生态学报,2000,**20**(1):1~8.

[12] 渠春梅,韩兴国,苏波,等. 西双版纳片段化热带雨林常绿乔木幼树水分利用效率的边缘效应研究. 植物生态学报,2001. **25**(1):1~5.

[13] 马友鑫,刘玉洪,张克映. 西双版纳热带雨林片段小气候边缘效应的初步研究. 植物生态学报,1998, **22**(3):250~255.

[14] 祖元刚,王文杰,王惠梅. 边缘效应带和保留带内红松幼林水分生态的差异. 植物生态学报,2002,**26**(5):613~620.

[15] 武正军,李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响. 生态学报,2000,**23**(11):2424~2435.

[16] 贾少波,赛道建,朱江. 东昌湖春季鸟类群落多样性研究. 动物学杂志,2001,**36**(4):40~44.

[17] 廉振民,于广志. 边缘效应与生物多样性. 生物多样性,2000,**8**(1):120~125.

[21] 杜心田,王同朝. 植物群体边缘效应递减律及其意义. 河南科学,2002,**20**(1):47~51.

[22] 关卓今,裴铁 . 生态边缘效应与生态平衡变化方向. 生态学杂志,2000,**20**(2):52~55.

[23] 渠春梅,韩兴国,苏波. 片段化森林的边缘效应与自然保护区的设计. 生态学报,2000,**20**(1):160~167.

[24] 覃凤飞,安树青,卓元午,等. 生境破碎化对植物种群的影响. 生态学杂志,2003,**22**(3):43~48.