自然保护区设计的主要原理和方法*

李义明 李典谟

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要 本文回顾了自然保护区设计的主要原理和方法。建立自然保护区的目的是防止物种绝灭和生物多样性消失。岛屿生物地理学的“平衡理论”的设计原则未涉及到物种绝灭的中心问题——种群生存力,所以该理论对保护实践贡献较小。种群生存力分析和最小可存活种群的理论及模型用于物种绝灭问题的研究,同时关键种的生存力用于确定生态系统的生存力,因而该理论和模型成为自然保护区设计的理论基础。保护评估方法已应用于自然保护区的选择和检验中。走廊辩论取代了 SLOSS 辩论,成为自然保护区设计争论的热点。

关键词 自然保护区,岛屿生物地理学,种群生存力分析,保护评估,走廊

Main principles and approaches of nature reserve design/Li Yiming,Li Dianmo/ CHINESE BIODIVERSITY. —1996,4(1):32~40

Main principles and approaches of nature reserve design are reviewed in present paper. The goal of building nature reserves is to prevent species extinction and biodiversity loss. The equilibrium theory of island biogeography has little contribution to conservation practice because empirical evidence does not support it and the design based this theory is not related to the central problem of species extinction-population viability. The theory and models of population viability analysis and minimum viable population are used to study the problem of species extinction and the viability of ecosystems can be determined by using the viability of keystone species, thus they are theoretical foundation of the nature reserve design. The approaches of conservation evaluation have been used in nature reserve selection and examination. The corridor debate which has replaced the SLOSS debate becomes a “hot spot” in the nature reserve design.

Author's address Institute of Zoology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Key words nature reserves, island biogeography, population viability analysis, conservation evaluation, corridor

1 引言

建立自然保护区的主要目的是防止物种绝灭和生物多样性消失。保护主义者为了保护整个自然系统的完好和多样性,本世纪初发展了保留面积技术——建立自然保护区^[1],以避免人类对自然的干扰^[2]。60年代,随着人口的迅速增加和土地利用加剧,可用于自然保护区的土地越来越少,迫使自然保护区的设计趋于科学化和精确化。70年代中期,Diamond等人^[3,4]根据岛屿生物地理学的“平衡理论”^[5],提出了一套自然保护区设计原则,引起了著名的“SLOSS”辩论。在辩论过程中,一些方法和技术逐渐发展,在自然保护区设计中起到越来越重要的作用。

2 岛屿生物地理学的“平衡理论”和Diamond等人的自然保护区设计原则

2.1 种-面积关系和岛屿生物地理学的“平衡理论” 种-面积关系的经典形式可表示为某

* 收稿日期:1994-06-24;接受日期:1995-02-25

一区域的物种数量随面积的幂函数增加而增加^[6]。 S 表示物种数, A 表示面积,则 $S = KA^Z$ 。 K 和 Z 均为常数,此公式适用于大陆和岛屿的动植物物种。

岛屿物种的迁入速率随隔离距离增加而降低,绝灭速率随面积减小而增加,岛屿物种数是物种迁入速率与物种绝灭速率平衡的结果,这就是岛屿生物地理学的“平衡理论”。根据“平衡理论”,相同面积的岛屿随隔离大陆或物种丰富度较高的岛屿的距离不同,所拥有的物种数不同。岛屿物种数随距物种源的距离增加而减小。小岛不但物种较少,物种的绝灭速率也高。隔离岛屿(不存在物种迁入的岛屿)上的每个物种都有绝灭的可能。如果不发生再定居,所有的种都将绝灭,而最后一个物种的绝灭只是时间问题。如果物种在岛屿之间能迁移和定居,尽管某个岛某一物种会暂时绝灭,但很快会从其它岛屿迁入。这样整个群岛物种的绝灭概率很低,物种可以长期存活。

种-面积关系和“平衡理论”在岛屿生物地理学中占有重要地位,但人们对此还没有形成统一的认识。有关种-面积关系的主要观点有:一些观点认为,尽管物种数量随面积增加而增加,但这种关系不是直接的,面积只是间接地决定物种数量,决定物种数量的主要因素是栖息地多样性^[7,8]。相反的观点认为,栖息地多样性和决定物种多样性的其它因素,如种群大小与面积密切相关,面积是物种丰富度的最佳指示者^[9,10];有人认为, $S = KA^Z$ 并不是种-面积关系的唯一和最适合的表达形式,任何曲线只要是单调非对称增函数,都可以同样或更好地拟合种-面积关系^[8]。但根据 Connor 和 Mccor^[11]比较 100 组岛屿种-面积关系的数据, $S = KA^Z$ 是较适合的模型;对 Z 值(0.2~0.4)也有不同的看法,一些人认为 Z 值没有明确的生物学意义^[12],而另一些人认为 Z 值的变化是由生物现象引起^[8]。 Z 值与物种迁移能力和岛屿隔离程序有关^[13]。它反映了物种随面积增加而增加的速率^[14]。

“平衡理论”缺乏证据^[8,15,16]。鸟类物种研究表明^[8],一些结果模糊不清,一些证据支持“平衡理论”,而另一些证据则相反。岛屿哺乳动物群研究也显示^[17],一些研究证实了“平衡理论”,而一些证据则表明,由于气候变化和再定居,以及物种形成的影响,岛屿物种无法达到平衡。

综合这些观点可以看出,种-面积关系只是物种丰富度和面积关系的粗略反映,具体形式应根据具体的数据和条件,选择合适的模型和相应统计判断标准。岛屿生物地理学“平衡理论”应用范围有限,对于那些从未达到平衡的岛屿,“平衡理论”是不适用的。

2.2 Diamond 等人的自然保护区设计原则 自然保护区类似于岛屿,其周围被人类创造的各种栖息地包围,保护区内的物种受到不同程度隔离。Diamond 等人^[3,4]根据岛屿生物地理学的种-面积关系和“平衡理论”,提出保护最大物种多样性的自然保护区设计原则。

2.2.1 大保护区比小保护区好,原因有两点:大保护区物种迁入速率和绝灭速率平衡时,拥有物种较多;大保护区物种绝灭速率低。

2.2.2 栖息地是同质性的保护区,一般应尽可能少的分成不相连碎片。原因是大保护区物种存活概率高,小保护区物种存活概率低,大保护区比几个小保护区(总面积之和等于该大保护区)拥有较多物种。

2.2.3 栖息地是同质性的保护区,如果要分成几个不相连的保护区,这些保护区应尽可能地靠近,这将增加保护区物种迁入速率,减少物种绝灭概率。

2.2.4 如果是几个不相连的保护区,这些保护区应等距离排列,这意味着每一个保护区的物种可以在保护区之间迁移和再定居。线性排列的保护区,位于两端的保护区相隔距离较远,减少了物种再定居的可能性。

2.2.5 如果有几个不相连的保护区,用长带状的栖息地把它们连接起来(花费代价可能较大),也许会明显地改进保护功能。这是因为物种可以在保护区间扩散,而不需要越过不适宜的栖息地之“海”,从而增加物种存活机会。

2.2.6 只要条件允许,任何保护区应尽可能接近圆形,以缩短保护区内物种扩散距离。如果保护区太长,当保护区局部发生种群绝灭时,物种从较中间区域向边远区域扩散的速率会很低,无法阻止类似于岛屿效应的局部绝灭。

2.3 SLOSS 辩论 Diamond 等人的自然保护区设计原则的最大疑问处是像 2.2.2 那样,大保护区拥有较多的物种。Simberloff 和 Abele^[16]首先对这一原则提出不同看法:在许多情况下,总面积之和等于一个大保护区的几个小保护区可能比一个大保护区拥有较多的物种;不是所有的物种都需要相同的大保护区,许多物种在小保护区亦能存在。Simberloff 和 Abele 认为种 - 面积关系和“平衡理论”并没有包含重要的生物学事实:“平衡理论”还不成熟。Simberloff 和 Abele^[16,18]的观点受到 Diamond 等人的批评,从而引起了著名的“SLOSS”(Singe Large Or Several Small)辩论。

Diamond 等人认为:小保护区系统也许不能保护那些需要最小面积或最小种群存活的物种;小保护区很难保护所有的营养级水平;在一组小保护区中,绝灭速率较快;保护区的破碎是不可逆的过程。Cole^[19]认为设计原则 2.2.2 只是在小保护区包含物种库的极小部分时有效,而这样的保护区是不适宜作永久性的保护区的。

Simberloff 等人认为^[7,8,15,16]:从种 - 面积关系并不能推论出,一个大保护区比几个小保护区(总面积之和等于一个大保护区)拥有较多物种;支持的证据较少,对于扩散或迁移的物种,总面积之和等于一个大保护区的几个小保护区,至少拥有与大保护区相同的物种;保护区的发展历史表明,大保护区只能建立在农业生产或牧业生产的边缘地区,而小保护区一般建立在农业或牧业地区;SLOSS 效应取决于不同类群和栖息地破碎程度,不同类群对面积的需求不同,对破碎的适应能力也不同;几个小保护区适应灾害的能力强,大保护区一旦发生灾害,很可能整个面积都受影响,而小保护区往往只有少数保护区遭受灾害。

最近提出岛屿生物地理学的“套子集”(nested subset)模型认为^[22],处于分散状态(物种在岛屿间不存在迁移和再定居)的岛屿,较小动物群的物种是较大动物群物种组成的一个子集,因此,建立一个保护区等于保护了几个小保护区。虽然岛屿的初始物种组成可能不同,但由于选择性绝灭,岛屿物种组成随时间延续而趋于相同。大保护区是保护物种的最佳策略。

尽管“SLOSS”辩论仍在继续,但已不是争论的焦点,有几点已十分清楚:不同类群,SLOSS 结论不同。对于扩散、迁移和定居能力强的物种,总面积之和等于一个大保护区的几个小保护区拥有的物种可能较多;而对于扩散、迁移和定居能力很弱的物种,一个大保护区上拥有的物种可能较多;不同的保护目的,不同的社会经济条件,保护区大小和保护区划分可能有所不同;因为栖息地破碎是不可逆过程,因此,在可能的情况下,以建大保护区为好。

Diamond 等人的其它设计原则也受到批评^[15]。其中走廊问题引起的新辩论在下面讨论。

由于岛屿生物地理学“平衡理论”证据不足,从种 - 面积关系推导出的结论不支持 Diamond 等人的设计原则^[8,15,21]。该原则只告诉人们尽可能建大保护区,以及保护区的排列形式和形状,这些不是自然保护区设计最关键的问题。建立保护区的目的是防止物种绝灭,如何确定保护区的面积,以保证物种和生态系统在保护区的生存力,有关这一点,种 - 面积关系和“平衡理论”所提供的信息极少。Diamond 等人设计原则的主要目标是保护最大的物种多样性。但在实践中,特有种可能有更重要的保护价值^[15]。由于 Diamond 等人的设计原则理论基础不

足,未涉及到保护的实质问题,其实际应用价值十分有限。

Diamond 等人首次比较系统地提出自然保护区设计原则,尽管该设计原则受到批评和怀疑,但对后来的设计原则的建立和发展产生过重大影响,有的原则已成为当今研究设计原则的主要线索之一。继 Diamond 等人的设计原则之后,种群生存力分析和保护评估等方法日益发展和成熟,在保护区设计中越来越受到重视。

3 种群生存力分析与自然保护区面积

与群落生态学研究途径(岛屿生物地理学方法)并行的种群生态学途径(种群生存力分析(PVA))80年代才蓬勃发展起来^[1]。用分析和模拟技术估计物种以一定概率、存活一定时间的过程叫做种群生存力分析^[23]。它得出的主要结论是最小可存活种群(MVP)。由于PVA研究小种群的随机绝灭过程,所以,它是自然保护区设计的理论基础^[18、21、24]。Soule 和 Simberloff^[21]认为生物多样性保护有三个目标:特有种、稀有种的保护;保护整个功能群落;保护整个生物多样性或物种的最大数量。通过最小种群数量(或最小可存活种群),可以估计出种群所需的最小面积。Soule 和 Simberloff 提出估计自然保护区的最小面积可分三步:鉴别目标种或关键种,它们的消失或绝灭会明显地降低保护区价值或物种多样性;确定保证这些物种以较高概率存活的最小种群数量(最小可存活种群);用已知密度,估计维持最小种群数量所需的面积大小。该面积就是保护区的最小面积。

可用关键种的生存力确定群落或生态系统的生存力^[1、21、25]。Soule 和 Simberloff 认为,群落或生态系统一般都有最脆弱的物种,最脆弱的物种最先绝灭。如果群落或生态系统中最脆弱的物种都能在保护区中长期存活,则群落或生态系统中的其它物种亦能长期存活。这样,群落或生态系统就不会丢失物种,因而就保持了比较完整的结构,也就确保了长期生存力。假定群落或生态系统存在最脆弱的物种,一旦知道了目标种,就可以通过种群生存力分析得出最小可存活种群,再通过已知密度估计出保护区的面积。最脆弱的物种通常是群落或生态系统中最大的捕食者和最稀有的物种。

PVA 理论尚不成熟^[23],实验证据缺乏,分析所用的资料需要长期的野外生态观察。但由于涉及到生物多样性保护的实质问题,该方法受到人们越来越高度的重视^[1],已成为保护生物学的焦点之一^[26]。

4 保护评估和自然保护区地点选择

4.1 保护标准 在PVA方法发展的同时,保护评估和保护区地点选择方法也在迅速发展,该方法是由 Margules 等人提出和发展的,并在澳大利亚等国家得到应用。

保护区建立前,首先必须对预选地点进行保护评估,确定各地点保护值的大小。有较大保护值的地点建保护区是我们的目的。保护评估包括对预选地点确定保护特征、标准和计算保护值。特征是指能反映保护利益的一块土地的特性^[14],如一块土地上的物种分布表。标准在保护评估中反映土地特性,而具体的量化数值就是保护值。保护标准分两类:科学的和政治的^[27]。科学标准主要根据生物学、生态学或生物地理学的原理而设定。政治标准包括人类活动威胁、可利用性、教育用途、舒适值等,它们在选择保护地点的最后决策时起重要作用。科学标准有很多,但最为常用的有5个^[14、27、28]:多样性、稀有性、面积、自然状态和代表性。多样性包括物种多样性和生态系统多样性,其测定方法很多。多样性多的地点,保护价值大。稀有性是指物种和栖息地的稀有程度。物种和栖息地越稀有,保护价值越大。面积标准是衡量保护

地点的空间尺度,一般,一个地点的面积越大,其保护价值越大。面积在很大程度上决定了物种和生态系统的生存力。生态系统的自然状态必须满足两个条件^[14,27]:第一,人口必须受其生活环境的限制,没有食物和建筑材料输入生态系统;第二,生态系统的产物在局部利用,生物原料不输出。生态系统的自然程度越高,其保护价值越大。对于物种而言,引进种的保护价值有限。代表性标准要求保护区或保护区系统所包含的生物群代表该地区生物多样性的变化范围。能反映地区景观和生态系统类型的保护区或保护区系统,其代表性就强。由于这些标准是相互联系的,制定一个能反映这些标准的总标准仍很困难。Rapoport 等人^[29]根据物种的微地理分布、地理分布、密度及丰盛度,提出物种的特殊保护值,他们认为保护最大的物种多样性并不总是等于保护生态系统中最有价值的部分,最稀有和最脆弱的物种有较高的保护价值。Wittig^[30]也建议应保护受威胁的物种、群落和景观。有人把经济因素结合到保护评估中去^[10]。

4.2 选择保护区地点的方法 保护区地点选择需要两个条件^[31,32]:数据库和应用有关方法根据数据库选择保护区。数据库的建立主要依赖于对预选地点环境和物种的调查。选择保护区的方法有三种:打分法、叠代法和数学规划模型。

打分法主要根据保护标准,确定各地点的保护值,按保护值大小排列,选择保护值大的地点作保护区。打分法的缺点是保护值位于第二、三位的保护区,其物种与位于第一位的保护区的物种重复^[33],因此该方法并不能达到保护最大物种多样性的目标,其效率不如叠代法^[32]。

Kirkpatrick^[33]提出选择自然保护区的叠代法,该法分为几步选择,已被选入保护区的物种如在下一轮选择中出现则给予较小的值重复选择,以达到最大保护值的目的。Margules 等人^[34]认为保护最大生物多样性的前提是在某一区域内的保护区包含该区域所有的物种和栖息地类型。他们的方法类似于 Kirkpatrick 的方法,但每一步的目标不同,并把最大物种(或栖息地)多样性和稀有性等均考虑进去。该法已得到改进^[35],考虑到了相同条件下面积大小和保护区排列等目标。叠代法的优点是其选择的结果容易解释,可考虑多个目标,并且数据库和每一步选择均能修改。

Cocks 和 Baird^[36]用整数目标规划研究保护区地点选择问题,以保护区系统偏离保护目标最小为目标函数。该法灵活,比叠代法有效,且考虑到多个目标。有人把叠代法和线性规划模型相结合,应用到保护区地点选择中^[37]。

保护区地点选择的方法尽管考虑了多样性和稀有性,面积和排列等多种情况,并能使保护目标达到最优,但它们共同的缺点是都未考虑种群的长期生存力^[31,38]。所用的资料仅仅是物种分布数据库,没有考虑物种绝灭的生态过程。他们认为,保护区系统如果不以保护最大多样性为目的,就不能防止生物多样性损失。

5 保护区间的走廊、缓冲带和保护区边界监测

5.1 保护区间的走廊 建议在保护区间建走廊是 Diamond 等人设计原则的第五点,现在已代替了 SLOSS 辩论,成为研究的热点之一。建走廊的理论依据主要有:根据“平衡理论”,物种在岛屿间迁移,能减少岛屿物种绝灭概率^[5];有关统计随机性和异质种群^[39]的模型显示,亚种群间的个体流能增加异质种群的平均存活时间,保护遗传多样性和阻止近交衰退;动物正常扩散和迁移的需要;当出现大的气候变化时,如全球变暖,保护区间的走廊就成了植物群落和动物群落转移到不同气候带的桥梁。如果没有走廊,保护区内的物种可能因气候变化而无法生存,但又无法随气候带的变化而扩散(周围已是人类活动的栖息地,保护区已成孤岛)

到适宜的气候带,大量的物种会绝灭。Simberloff 等人对建走廊持不同看法^[21、24、40],他们认为:目前走廊的定义并不统一;“平衡理论”受到越来越多的批评;尽管在理论上异质种群确能减少物种绝灭概率,但自然界中异质种群的经典证据很少,异质种群模型也未经过检验。异质种群模型需要的是亚种群间个体的迁移运动,而不是走廊。一些小种群并没有经历近交衰退,即使存在近交衰退威胁,关键问题是走廊是否是阻止近交衰退的最好方法;动物为了食物或避免同种竞争等原因而运动,但问题是这种运动在特殊的保护区系统是否必要,如果有必要,特殊特征的走廊是否是提高这种运动的最佳策略;用走廊来弥补因地球气候变化而产生的生物多样性损失是很难预测的,这种情况下,走廊更像是一种栖息地,而不是以迁移运动为目的的走廊。Simberloff 等人认为,走廊缺乏实际运用的经典实例,大多数报导是模糊不清的。走廊还有其不利的一面:走廊虽能降低近交衰退,但保护区系统中等位基因遗传漂变损失的可能性增加。灾害如火、疾病、引进种能通过走廊扩散。走廊作为一种栖息地也有不利的地方,森林走廊的边缘栖息地比例较高,一些走廊可能有利于引进种的运动,而低质量的走廊能损害和降低异质种群大小。Simberloff 等人认为,走廊能否建立取决于走廊和其它方法的相对成本和得利的比较。

有人已观察到动物在碎片间走廊中的运动^[41]。在破碎的栖息地中,能穿过或利用变动栖息地的物种将保持稳定和增加^[42],但破碎栖息地中物种的绝灭时间如短于走廊建成(从造林到森林成熟)所需时间,建走廊就无意义了。走廊设计的原理需要探讨,Harrison^[43]认为走廊的宽度可从巢区大小中估计出,他提倡对走廊设计进行深入研究。

走廊争论的实质是走廊的实际应用问题。绝大多数自然栖息地在人类活动干扰前是连续的完整的一大块,人类的破碎作用使其破碎成许多不相连的小碎片,大量的保护区在这些碎片中的一个或几个上建立。能否用走廊连接这些保护区,怎样连接,孤立的保护区连接后对其中的生物多样性产生什么影响,以及走廊设计(宽度、长度、地形地势、自然环境、生物群落等的确定)等问题确实是极为复杂的,还需要作大量的理论和实际工作。

5.2 保护区缓冲带和边界 现有保护区管理的一个重要方法是建立缓冲带^[21],把人类活动的危害同自然保护区分开,减少边际效应^[44、45]对保护区的不利影响。缓冲带可根据边际效应影响的程度来确定。了解边界的动态规律,对保护区有重要意义。边界就象是自然保护区的一层“皮肤”^[46]。Schonewald-Cox 设计了一个边界模型用于监测保护区边界动态,他认为保护区有三种边界:管理边界,由有关当局法律规定的边界,它把保护区同周围环境分开管理,进入保护区,必须遵守保护法律;生成边界,是指人们对管理边界的反映引起的栖息地的生物、人为活动和物理的变化而产生的边界。生成边界是鉴别保护区效果的敏感指示者,如果生成边界在管理边界之内,则保护区已受到人为活动的严重干扰,如果生成边界在管理边界之外,保护区的保护效果就好;自然边界,由栖息地的自然变化而形成边界,通常具有明显的地形地势特征。管理边界和生成边界的物理和生物学特征的变化能反映保护区的保护效果。

6 讨论

6.1 自然保护区设计原则在保护实践中的应用 Newmark^[47]检查了美国西北部 8 个公园和公园系统,发现仅有一个能支持广泛分布的哺乳动物种群,其它 7 个公园和公园系统都不足以维持有效种群大小为 50 的哺乳动物种群。Belovsky^[48]比较了世界各国公园的大小和哺乳动物长期存活所需面积,他的计算表明,只有少部分公园能维持大型哺乳动物的长期存活。有人检查过瑞典建立自然保护区的标准^[2],发现最常用的标准有 6 个,其中科学标准有植物学、鸟

类学和地理学的,政治标准包括娱乐、景观和文化价值。Gotmark 和 Nilsson 认为瑞典未来保护区的选择应重视生物标准。瑞典自然保护区的代表性是有限的^[49],但代表性标准在保护区建立过程中的作用越来越大。

大多数国家的自然保护区缺乏科学的设计和指导,政治因素在保护区建立中起主要作用。原因在于许多保护区的建立早于保护区设计理论的提出,另外已建立的保护区扩大面积较困难。尽管已提出了一些保护区设计原则,但这些原则缺少应用,大多数国家的保护区缺少科学检验,建立的保护区能否达到保护效果尚属未知。有必要开展保护区的检验研究,以确定保护效果。生物标准应在保护区设计中起主要作用。

6.2 自然保护区设计原则的多样化 建立自然保护区是一项复杂的系统工程,其设计原则具有多源性。由于建立自然保护区的目的是防止物种绝灭和生物多样性消失,对物种绝灭过程的了解和对生态系统动态的认识极为重要。PVA 技术用于确定保护区的核心面积,但是该法还不成熟。对物种(或生态系统)的生态特性还未了解而又急需建立一些保护区,只有利用物种(或生态系统)分布数据库来选择保护区,这时应尽可能考虑物种(或生态系统)的长期生存力和其它一些因素。为了保证保护区功能的正常发挥,还必须建立防止人类对保护区影响的缓冲带和提高保护效能的走廊。缓冲带的宽度设计主要取决于边缘效应影响的程度,有关景观和栖息地破碎的研究为此提供了理论基础。走廊设计所涉及的问题较为复杂,除了考虑动物扩散和迁移运动的特点外,还必须考虑走廊的边际效应和走廊成为一个成熟栖息地所需要的时间。而建走廊遇到的最大问题是政治和经济因素,涉及到复杂的社会问题,所花费的资金十分惊人。但是,随着人类对自然界干扰的加重,许多原来是完整大块的自然栖息地破碎成面积越来越小,隔离程度越来越高的栖息地岛屿,走廊就可能成为保持栖息地的完整性和自然状态的主要联结渠道。有必要大力开展走廊理论和应用的研究。

6.3 自然保护区设计原则和生物进化 目前的自然保护区设计原则只是从保持物种和生态系统的生存力角度出发,没有考虑物种在自然保护区中能否进化。生物多样性是地球几十亿年生物进化的产物,保持生物的自然进化过程和进化机制是保护生物多样性的根本途径。这要求种群必须足够大,有大量的新突变基因输入,以满足物种适应环境变化所需的遗传变异量,栖息地也必须足够大,以满足正常生态演替所需的空間。从这种意义上说,现在的自然保护区设计原则的理论和知识还远远不够。

参 考 文 献

- 1 Soule E M. Introduction. In: M E Soule (ed.), *Viable population for conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987, 1 ~ 9
- 2 Gotmark F, C Nilsson. Criteria used for protection of natural areas in Sweden 1909 ~ 1986. *Conservation Biology*, 1992, 6(2): 220 ~ 231
- 3 Diamond J M. The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation*, 1975, 7: 129 ~ 146
- 4 Wilson E O, E O Willis. Applied biogeography. In: Cody M L, J M Diamond (eds.), *Ecology and Evolution of Communities*. The Beckrap Press of Harvard University, 1975, 522 ~ 534
- 5 MacArthur R H, E O Wilson. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, 1963, 17(4): 373 ~ 387
- 6 Preston F W. The canonical distribution of commonness and rarity. *Ecology*, 1962, 43: 185 ~ 215, 410 ~ 432

- 7 Simberloff D, L G Abele. Refuge design and island biogeographic theory: Effects of fragmentation. *The American Naturalist*, 1982, **120**(1): 41 ~ 50
- 8 Burgman A M, H R Akcakaya, S S Loew. The use of extinction models for species conservation. *Biological Conservation*, 1988, **43**: 9 ~ 25
- 9 Newmark W D. Species-area relationship and its determinants for mammals in West North American national parks. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1986, **28**: 83 ~ 98
- 10 Miller R L, S P Bratton. A regional strategy for reserve design and placement based on an analysis of rare and endangered species distribution patterns. *Biological Conservation*, 1987, **39**: 255 ~ 268
- 11 Connor E F, E D Mccor. The statistics and biology of the species-area relationship. *The American Naturalist*, 1979, **113**(6): 791 ~ 833
- 12 Abbot L. The meaning of Z in species/ area regressions and study of species turnover in island biogeography. *OIKOS*, 1983, **41**: 385 ~ 390
- 13 Lawlor T E. Comparative biogeography of mammals on islands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1986, **28**: 99 ~ 125
- 14 Usher M B. Wildlife conservation evaluation: attributes, criteria and values. In: Micheal B Usher (ed.), *Wildlife Conservation Evaluation*. Chapman, 1986, 3 ~ 43
- 15 Margules C, A J Sigs, R Rafe. Modern biogeographic theory: are there any lessons for nature reserve design. *Biological Conservation*, 1982, **24**: 115 ~ 128
- 16 Simberloff D S, L G Abele. Island biogeography theory and conservation practice. *Science*, 1976, **191**: 286 ~ 289
- 17 Brown J H. Two decades of interaction between the Macarthur-Wilson model and the complexities of mammalian distributions. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1986, **28**: 231 ~ 251
- 18 Simberloff D S, L G Abele. Island biogeography theory and conservation: strategy and limitations. *Science*, 1976, **193**: 1032
- 19 Cole B. Colonizing abilities, island size, and the number of species on archipelagoes. *The American Naturalist*, 1981, **117**(5): 629 ~ 639
- 20 Woolhouse M E. An species richness and nature reserve design: and empirical study of U K woodland avifauna. *Biological Conservation*, 1987, **40**: 167 ~ 178
- 21 Soule M E, D Simberloff. What do genetics and ecology tell us about the design of nature reserve? *Biological Conservation*, 1986, **35**: 19 ~ 40
- 22 Patterson B D, W Atmar. Nested subsets and structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biological journal of the Linnean Society*, 1986, **28**: 65 ~ 82
- 23 李义明, 李典谟. 种群生存力分析研究进展和趋势. 生物多样性, 1994, **2**(1): 1 ~ 10
- 24 Simberloff D. The contribution of population and community biology to conservation science. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1988, **19**: 473 ~ 511
- 25 Moore N W. The heaths of Dorset and their conservation. *J. Ecology*, 1962, **50**: 369 ~ 391
- 26 Noss R F. Can we maintain biological and ecological integrity? *Conservation Biology*, 1990, **4**(3): 241 ~ 243
- 27 Margules C, M B Usher. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. *Biological Conservation*, 1981, **21**: 79 ~ 109
- 28 Margules C R. Conservation evaluation in practice. In: Micheal B Usher (ed.), *Wildlife Conservation Evaluation*. Chapman, 1986, 297 ~ 313
- 29 Rapoport E H, G Borioli, J A Monjeau et al. The design of nature reserves: a simulation trial for assessing specific conservation value. *Biological Conservation*, 1986, **37**: 269 ~ 290
- 30 Wittig R. Investigation and assessment of the botanical efficiency of conservation in selected natural reserves of Westphalia (Federal Republic of Germany). *Biological Conservation*, 1983, **25**: 307 ~ 314

- 31 Margules C R. Introduction to some Australian development in conservation evaluation. *Biological Conservation*, 1989, **50**:1 ~ 11
- 32 Pressey R L ,A O Nicholls. Efficiency in conservation evaluation: scoring versus iterative approaches. *Biological conservation*, 1989, **50**:199 ~ 218
- 33 Kirkpatrick J B. An iterative method for establishing priorities for the selection of nature reserves :and example from Tasmania. *Biological Conservation*, 1983, **25**: 127 ~ 134
- 34 Margules C R ,A O Nicholls. Selecting networks of reserves to maximize biological diversity. *Biological Conservation*, 1988, **43**:63 ~ 75
- 35 Nicholls A O ,C R Margules. An upgraded reserve selection algorithm. *Biological Conservation*, 1993, **64**:165 ~ 169
- 36 Cocks K D ,I A Baird. Using mathematical programming to address the multiple reserve selection problem: an example from the Eyre Peninsula ,South Australia. *Biological Conservation*, 1989, **49**:113 ~ 130
- 37 Stersdal M ,J M Line ,H J B Birks. How to maximize biological diversity in nature reserve selection :vascular plants and breeding birds in deciduous woodlands ,Western Norway. *Biological Conservation*, 1993, **66**:131 ~ 138
- 38 Rebelo A G ,W R Siegfried. Where should nature reserves be located in the Cape floristic region , South Africa ? Models for a reserve network aimed at maximizing the protection of floral diversity. *Conservation biology*, 1992, **6**(2) :243 ~ 252
- 39 Gilpin M E. Spatial structure and population vulnerability. In :M E Soule (ed.) , *Viable Population for conservation*. Cambridge :Cambridge University press ,1987, 125 ~ 139
- 40 Simberloff D J ,A Farr J Cox , D W Mehlman. Movement corridors :conservation bagains or poor investments ? *Conservation Biology*, 1992, **6**(4) :493 ~ 504
- 41 Arnold G W ,D E Steven J R Weeldenburg. Influences of remnent size spacing patern and connectivity on population boundaries and demography in Euros *Macropus Robustus* Living in a fragmented landscape. *Biological Conservation*, 1993, **6**:219 ~ 230
- 42 Laurance W F. Ecological correlates of extinction proneness in Australian tropical rain forest mammals. *Conservation Biology*, 1991, **5**(1) :79 ~ 89
- 43 Harrison R L. Toward a theory of inter-refuge corridor design. *Conservation Biology*, 1992, **6**(2) :293 ~ 295
- 44 Wilcox D S ,C H Mclellan , A P Dobson. Habitat fragmentation in the temperate zone. In :M E Soule (ed.) , *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sunderland Massachurets :Sinauer Associates Inc. Publishers , 1986, 237 ~ 256
- 45 Lovejoy T E ,R O Bierregaard ,A B Rylands et al. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. In :M E Soule (ed.) , *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sunderland Massachusetts : Sinauer Associates Inc. Publishers , 1986, 257 ~ 285
- 46 Schonewald & Cox C M ,J W Bayless. The boundary model :a geographical analysis of design and conservation of nature reserves. *Biological Conservation*, 1986, **38**:305 ~ 322
- 47 Newmark W D. Legal and biotic boundaries of Western North American National Parks :a problem of congruence. *Biological Conservation*, 1985, **33**:197 ~ 208
- 48 Belovsky G. Extinction models and mammalian persistence. In :M E Soule (ed.) , *Viable Population for Conservation*, Cambridge :Cambridge University Press ,1987, 35 ~ 57
- 49 Nilsson C ,F Götmark. Protected areas in Sweden : is natural variety adequately represented. *Conservation Biology*, 1992, **6**(2) :231 ~ 242