

廊道研究进展与主要研究方法

吕海燕¹, 李政海^{2*}, 李建东³, 宋国宝³

(1. 沈阳农业大学农学院, 辽宁沈阳110161; 2. 大连民族学院生命科学院, 辽宁大连116600; 3. 北京师范大学资源学院, 北京100875)

摘要 阐述了廊道的基本理论, 从景观格局、生物多样性保护、城市、道路规划和河流廊道几个方面评述了廊道的生态学意义, 介绍了中外学者近年来就廊道所作的理论和实证研究中的廊道研究方法, 总结了国内外关于廊道景观的研究进展, 提出了当今廊道建设的不完善之处和今后的研究方向。

关键词 廊道; 景观格局; 结构功能; 生物多样性保护

中图分类号 TU984.199 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)15-04480-03

Research Development and Main Method of the Corridor

LV Hai-yan et al (The College of Agronomy of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract Corridor is one of the important concepts of landscape ecology. It is linear or strip element which is different from the matrix. In this paper the basic theory of landscape pattern and corridor was illustrated and the ecological significance of the corridor from landscape pattern, biodiversity conservation, urban and road planning and river corridor were discussed. The several methods about the research on corridor were recommended as the reference in the theoretical research and practical operation, which were adopted in these years. The developing status of corridor landscape was reviewed. The developing trend of corridor and incomplete aspect were provided at last.

Key words Corridor; Landscape pattern; Structure and function; Biodiversity conservation

廊道是指景观中与相邻两侧环境不同的线状或带状结构, 是景观生态学的基本要素之一^[1]。Forman 1986年在 *Landscape Ecology* 一书中叙述了廊道在运输、保护、资源和美学等方面的应用, 认为廊道几乎能以各种方式渗透到每一个景观中^[2]。廊道根据其组成内容或生态系统类型分为森林廊道、河流廊道、道路廊道等。廊道类型的多样性反映了其结构和功能的多样性。廊道的结构特征包括形状、曲度、宽度、连通性、内部环境及其与周围斑块或基质的相互关系^[1]。廊道按其结构特点或生态系统类型分为: 线状廊道, 如小道、公路、树篱、地产线、排水沟及灌渠等, 是指全部由边缘物种占优势的狭长条带; 带状(窄带)廊道是指含丰富内部生物的、具有中心内部环境的较宽条带; 河流(宽带)廊道分布在水道两侧, 其宽度随河流的大小而变化^[3]。Forman总结了廊道的五大功能: 栖息地(habitat)、通道(conduit)、过滤(filter)、源(source)和汇(sink)^[2]。

1 廊道研究的意义及作用

廊道作为景观的基本要素, 在结构上体现了分割景观格局、连通景观单元的通道—阻隔二元性作用; 在功能上廊道对于保护生物多样性、设立自然保护区、城市及道路规划设计、防止水土流失及过滤污染物、资源管理和全球变化等方面具有重要的现实意义。在当今由于人类活动加剧所引起的城市急剧扩张和景观严重破碎的情况下, 保护、建立或改变廊道结构成为解决众多环境问题的重要措施之一。

廊道影响着景观格局, 几乎所有的景观都会被廊道分割, 同时又被廊道连接在一起。廊道的结构强烈影响和制约着区域内的景观生态过程, 影响着信息、能量、物质、生物及人类在景观中的运动。廊道的起源、宽度、连通性、曲度、能否连接成网络等结构特征对于能量、物质及生物的扩散、物流及携带作用等生态过程起着关键性的控制作用。此外, 由

节点连接的廊道交叉形成廊道网络, 网络分为分枝和环形两种形式。网络可以使物质、能量及生物沿着它移动, 其交叉频率和扩展程度直接影响到这种移动的效率。例如公路网、河网可将森林生态系统和城市生态系统连接起来构成多功能的复杂网络结构, 这种作用在构建自然保护区等方面既重要又因其通道—阻隔作用的双重性而存在争议^[3]。

生物廊道的通道功能对于生物多样性保护的意义早已为人们所重视, 廊道为基质中的物质、能量尤其是物种的交流和贮存提供了渠道。如最常见的树篱廊道, 通过招引鸟类撒下树木种子, 使树篱及其所连接的草原或农田生物系统的生物群落得到交流和发展^[4]。景观破碎化是生物多样性丧失的主要原因, 原来完整的景观被城镇、农田等分割成孤立的斑块, 不利于物种延续及多样性的维护。采取建立廊道的措施增加景观的连通性, 可促进种群的增长和外界种群的迁入, 提高物种和基因的交流速率和频率, 一定宽度的廊道能够给缺乏空间扩散能力的物种提供一个连续的栖息地网络, 增强种群的抗干扰能力和稳定性^[5]。另外, 廊道有阻断基因或物种流, 分割生境斑块, 造成生境破碎化或引导外来种及天敌的侵入进而威胁乡土物种生存等负面作用^[6]。这就要求在恢复及设立廊道时尽量依靠乡土种, 考虑当地景观格局特点, 因地制宜, 并改造那些造成生境破碎化的廊道。廊道在景观设计规划中的作用体现在城市规划和道路建设等方面。城市规划的目的是改善城市的景观结构和数量, 使城市中的物质、能量和信息的流动顺畅, 提高城市环境质量和生态功能, 并使城市具有一定美学价值, 适合于人类居住。将人类活动区沿着绿色廊道和道路廊道分布, 有利于人们的身心健康和出行^[7]; 城市通过建立绿色廊道, 给小型动物的迁移提供路径; 此外, 绿色廊道建设对于污染物防控, 减少噪声污染等也有重要意义。道路的建设易切断生物迁移的路径, 降低景观连通性, 提高景观破碎程度, 道路廊道在景观生态功能中往往起到阻隔的作用, 可通过设立桥梁、隧道、涵洞等来降低道路对生物迁移的阻隔作用^[8]。

河流廊道对于河流景观的养分循环、过滤径流污染物、

基金项目 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2003CB415100); 大连民族学院人才引进启动基金项目(20056203)

作者简介 吕海燕(1979-), 女, 辽宁辽阳人, 硕士研究生, 研究方向: 生态学。* 通讯作者, 教授, E-mail: li-lzhh@263.net.

收稿日期 2007-02-06

防控洪水、提供鱼和野生动物的栖息地及保持河流流量等发挥着重要的生态作用。河流廊道是水生动植物的栖息场所,为水生动植物提供固着点、营养源和屏蔽;输送水、泥沙和养分,是生物迁移、觅食的路径;岸边植被可截留有机物、降低非点源污染^[9-10]。

2 廊道的国内外研究进展

2.1 廊道格局的理论研究

廊道的重要结构特征包括廊道的数目、宽度、连通性、曲度、内部环境及廊道与周围斑块或基质的相互关系。学术界对廊道的宽度和连通性特征探讨较多。

廊道的宽度特征对于廊道的生态功能有重要意义,它直接影响着物种沿廊道和穿越廊道的迁移效率。一般认为廊道越宽越好^[11],窄带廊道易对敏感生物种的迁移产生影响,并影响廊道对有害物种和污染物的过滤。随宽度增加,多数物种可沿廊道迁移,并且宽度越大,环境异质性也会增加,边缘种和内部种都会随之增加。针对不同物种的保护,廊道的宽度设计也不尽相同,Newbold 等认为廊道宽度在9~12 m 可保护无脊椎动物种群^[12],Binson 等认为30 m 宽度的廊道适合于保护哺乳动物、爬行动物和两栖类动物^[13],Rohling 在研究廊道宽度与生物多样性保护的关系中指出廊道的宽度应在46~152 m 较为合适^[14]。同时在设计廊道时应考虑廊道中有利于物种传布的踏脚石的设立;道路绿化带宽度在60 m 宽时,可满足动植物迁移和传播以及生物多样性保护的功能^[15];多数研究者认为河流廊道的河岸植被宽度大于30 m 时能增加食物供应、降低污染物,80~100 m 时,能较好地控制水土流失^[16]。另外,过宽的廊道会增加生物在廊道两侧内部的运动,降低生物到达目的地的效率。

廊道的连通性是廊道如何连接或在空间上怎样连续的量度,直接体现为廊道上各点的连接程度。廊道连通性可用 r 指数来表述,代表景观网络中实际连接廊道数与最大可能连接廊道数之比,其值在0~1 间变化,0 表示各节点之间没有廊道,1 表示廊道达到最大连通程度。连通性是廊道结构的量度指标,不同于连接度所界定的功能指标^[3]。连通性高,连接度不一定高,反之,连通性低,连接度也不一定小,廊道和景观的连接度没有直接联系,具有不同形态和结构的廊道可以有相同的连接度,连接度的大小还取决于廊道的质量、宽度和形状等^[17]。连接度较高的景观中种群的迁徙、觅食、交换受到阻力往往较小,生存较容易,物种丰富度较大^[18-19]。

2.2 廊道理论的应用研究

2.2.1 城市绿色廊道设计研究

城市景观具有人类主导性、生态脆弱性和景观破碎性三大特点,城市存在着高密度的人口、物质、资源和污染,廊道对城市的经济、文化、环境质量及城市美观起着重要作用。巴黎1965 年的城市规划中设立了一系列连接塞纳河两侧平行新城的较短廊道,这些廊道为城市居民提供了绿地和空气清新的休憩场所^[20]。20 世纪80 年代末,从美国开始,决策部门、规划界及学术领域展开了一场城市“绿色廊道运动”^[21]。Taffe 等1992 年对美国俄亥俄州进行的研究表明,大都市的人口集散主要沿交通干线进行,廊道效应的强度随廊道等级的高低变化,廊道决定城市

景观结构和人口空间分布模式^[22]。Forman 于1993 年提出,城市规划中要在城市建成区保留一些小的自然斑块和廊道,同时在人类活动的外部环境中沿着自然廊道分布一些小的人为斑块^[23]。英国1994 年的“大伦敦规划”把从市中心起半径48 km 内的地区划分为4 个同心圆,包括:城市内环、郊区环带、一条宽约16 km 的绿化带和农村环带。环城的绿色廊道限制了城市的扩张,有效地保护城市周边的环境^[24]。我国也开展了城市景观方面的研究工作,主要有:宗跃光把城市廊道分为两大类,即以交通干线为主的人工廊道和以河流、植被带为主的自然廊道或称城市绿色廊道,提出人工廊道与自然廊道效益曲线的交点即效益最优点,进而提出和谐的城市景观结构应既保持发达的人工廊道又保留合理的自然廊道^[25];肖笃宁等提出在城市发展规划中引入自然廊道体系,使自然廊道与人工廊道相间分布,通过这种星状分散的集团式景观格局可有效地阻止城市因摊大饼式的空间扩展所造成的生态恶化^[26]。

2.2.2 生物多样性保护与廊道研究

廊道在很大程度上影响着斑块间的物种、营养物质和能量的交流,在栖息地间建立合理的生物廊道对于生物多样性保护将起到积极作用。Marlam 等在农业区进行的研究表明,一些小哺乳动物确实利用廊道来进行散布^[27]。Kupfer 等发现通过廊道连接的斑块有利于树种的扩散,尤其是对于借助重力扩散的种^[28]。Ferenc Jordan 认为,廊道能够将当地的小种群连接起来并使之在斑块间迁移,增加种群间的基因和物种交流,降低种群的灭绝风险^[29]。Joshua 等在美国萨凡纳河附近开辟了8 块50 hm² 的研究区,试验结果表明,通过廊道连接的斑块,蝴蝶迁移、授粉与结实率及被鸟类携带的种子的迁移率都分别高于无廊道连接的斑块,证明了廊道对于生物的迁移、繁殖有关键性的作用^[30]。有些学者认为廊道对物种生存也有不利的影响,Simberloff 等认为廊道为一些疾病和有害生物的传播提供途径,不利于目标种的生存或散布^[31]。我国近些年才开始重视廊道建设在生物多样性保护中的重要作用。陈利顶等提出在建立生物廊道时要首先考虑目标物种的生态特性和最小生存能力,要在进行景观适宜性评价的基础上,对廊道进行合理设计^[32]。

2.2.3 河流廊道研究

河流廊道是指沿河流分布而不同于周围基质的植被带,河流廊道是一种宽带廊道,分布在河道两侧,可包括河道边缘、河漫滩、堤坝和部分高地^[3]。河流廊道主要通过过滤拦截、土壤吸附、植物吸收和促进氮的反硝化来去除过境的养分、农药和泥沙等污染物^[33]。一些发达国家对河流的管理强调“化学、物理、生物过程的协调管理”,主要围绕河流的污染控制;修建水利工程时,采取河流保护措施;采用“近自然”法设计河道3 个方面展开^[34]。在我国,河流廊道的研究主要集中在过滤污染物、保护水质的生态功能上。近年来,我国对河流廊道日益重视,建成了水质评估监测体系,形成了整套的评价方法,除了关注河流廊道控制非点源污染的功能外,也已经开始关注维持河流廊道生态系统的生态基础^[35]。另外,三峡水利工程等大型水利工程对环境的影响日益受到重视,形成了大型水利工程的环境评估系统,启动了一些大河的流域综合治理工程^[36]。

3 廊道的研究方法

3.1 廊道研究的实验方法 廊道研究的野外实验以野外观测比较为主,通过环境梯度上或某一生态过程中的不同点位来对实验对象进行观测比较,这种方法对自然状况有较好的代表性和普遍性^[37]。一些研究还可通过野外考察来验证方法的准确性及可行性。如 Joshua 等在美国南卡罗莱纳州 8 个 50 hm² 的研究区内人为开辟出斑块及廊道,研究蝴蝶、花粉和种子在有廊道联接和无廊道联接的斑块间的迁移情况,证明有廊道联接的斑块间物种及物质的迁移效率及速率都会高于无廊道联接的斑块^[38-40]。该方法适用于中小空间尺度的廊道研究。

3.2 基于遥感、地理信息系统的廊道研究方法 廊道格局研究的数据可通过遥感手段来获取。随着遥感技术的发展,卫星获取地面信息的空间和光谱分辨率越来越精细,对信息的把握越来越精确和丰富,拓展了研究的时间、空间范围。地理信息系统是数据贮存、分析、整理的强有力的工具,为研究廊道的空间结构和动态等提供了一个极为有效的研究工具。地理信息系统集成了多学科的最新技术,为空间分析提供了工具,使复杂、困难的问题简单化。廊道研究越来越借助于 3S 技术,尤其是大空间尺度的廊道提取、分析及模拟,跨时间段的廊道格局演替等,很大程度上都是通过 RS、GIS 手段来完成。如利用 DEM 数据建立研究区的河流廊道,在对山脉构架进行空间分析的同时,结合遥感影像上森林、草地等高生态服务功能生态系统的分布情况,构建有利于生物多样性保护、物种交流的山地生物廊道等,GIS 和遥感技术都发挥了重要作用。

3.3 廊道定量研究的景观格局方法 廊道是景观格局的要素之一,因此对于廊道的研究主要依靠借鉴景观格局的研究方法来完成。景观格局的定量分析建立了结构与功能之间的联系,使研究者可从景观结构推断其功能及动态变化。应用景观空间格局指数可定量地描述景观格局,对不同的景观进行比较,研究各景观的结构、功能及动态的异同。针对不同的研究目的,景观分析可以借鉴数学、物理、地理学及生态学等学科的分析模型,利用计算机作为手段,使之应用到景观分析之中。如空间自相关分析、空间局部插值法、景观空间动态模型等。景观格局研究的计算一般用统计学软件均能完成,在国际上有一些专门进行格局分析的软件包,利用这些软件对景观格局和生物廊道进行分析大大提高了工作效率和准确性^[1,37]。如通过对各种景观类型分形指数分析,利用 GIS 可以在整体景观中提取带状、线状和河流廊道,而通过景观连通性的分析,可帮助确定各类廊道的重要性,并根据生物保护与生态安全的需要指导生物廊道的布设。

3.4 生态安全研究方法在廊道建设中的应用 廊道的研究可借鉴生态安全研究方法,根据景观斑块、距离及基质特征,用最小累积阻力模型和地理信息系统中的费用距离来建立阻力面,相邻两斑块间有一条或多条阻力低谷,这种斑块间的低阻力谷线是物质、物种交流的高效通道,阻力表面上以斑块为中心向外扩散的低阻力通道是物种运动、迁移的有效途径,相邻两斑块的等阻力线的切线是景观中的战略点,起“踏脚石”的作用^[41-43]。这种廊道研究方法不同于对现存廊

道分析,而是通过建立斑块间的最小阻力谷线,即根据物种、物质迁移的最小成本路径来建设合理的生物廊道网络体系。

3.5 城市廊道的效益梯度分析及预测 宗跃光在研究城市廊道时提出城市的廊道效应源于围绕廊道一定范围内存在的效益梯度场,廊道效应遵循距离衰减率,将对数衰减函数和半立方抛物线模型引入廊道效应研究,生成了城市廊道距离衰减函数曲线、人工与自然廊道两种效益曲线和自然廊道锋面形变过程曲线,进而确定了城市廊道效益最佳分界点即人工廊道和自然廊道效益曲线的交点,通过这些方法可分析城市廊道扩展的特征并对城市廊道的扩展做出预测^[44]。

4 结论与讨论

廊道作为景观格局不可缺失的要素之一,正同景观格局一样成为当今生态学、特别是生物保护研究的热点问题,为生态学界所重视。廊道是线性景观单元,是各种流的通道,又是造成景观破碎的主要原因,具有通道和阻隔的双重作用。廊道的格局分布往往引导着整个景观系统格局分布,廊道的连通性、质量、形状等结构特征影响着景观系统的连接度,廊道的数目、宽度等控制着景观内生物迁移的效率,廊道建设在生态安全、生物多样性保护等方面有着重要的生态学意义,但关于宽度、连通性等廊道格局的关键性问题,国内外研究仍很少。目前学者对廊道功能的研究大多限于廊道的通道功能,对其他功能尤其是廊道的阻隔作用较少理会。廊道理论的应用性研究所涉及的领域较少,涉及功能较单一。

景观生态学尚处于理论和应用的探索和完善之中,关于生物廊道的理论研究可丰富景观生态学的理论体系,廊道的研究在生态学及景观生态学领域中都有着广阔的发展空间与应用前景。通过建立、恢复或改造廊道实现生物多样性保护、流域污染控制、防治生物入侵等多种生态功能,减少人类活动对生态环境的影响和景观破碎化程度,同时满足人类日益增长的亲近自然的需要,已成为现代景观研究领域的共识。廊道的相关理论及实践研究与数学、地理、生物、农林业及基于计算机平台的 3S 技术等多学科相交叉,并随着研究区的时空尺度及等级系统得到扩展,有丰富的研究、探索空间。研究廊道格局的结构、功能和动态变化,对廊道的关键性问题如连通性、宽度及其所涉及的生态过程进行研究,推及至景观异质性和稳定性的研究将成为生物廊道理论研究的热点;在未来对生物廊道的应用研究中,以廊道理论为基础进行建设性或恢复性的规划,基于廊道理论的生态预警及生态安全格局,对区域生态系统功能进行评估、核算,对全球生态变化进行影响及预测等方面将占有重要地位。

参考文献

- [1] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [2] FORMAN R T T, GODRON M. Landscape ecology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [3] 傅伯杰, 陈立顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 周华锋, 傅伯杰. 景观生态结构与生物多样性保护[J]. 地理科学, 1998, 18(5): 472-478.
- [5] 俞孔坚, 李迪华, 段铁武. 生物多样性保护的景观规划途径[J]. 生物多样性, 1998, 6(3): 205-212.
- [6] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 399-407.

- [7] 李团胜, 石铁矛. 试论城市景观生态规划[J]. 生态学杂志, 1998, 17(5): 63-67.
- [8] 王云, 崔鹏, 李海峰. 道路景观生态学研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(2): 90-95.
- [9] 王薇, 李传奇. 河流廊道与生态修复[J]. 水利水电技术, 2003, 34(9): 56-58.
- [10] 何晓蓉, 李辉霞, 范建容, 等. 青藏高原流域廊道体系对生态环境的影响——以尼洋河流域为例[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 97-99.
- [11] NOSS R F. Corridors in real landscape: a reply to sinclair and cox[J]. Conservation Biology, 1987, 1: 159-164.
- [12] NEWBOLD J D, ERMANN C, ROBY K B. Effects of logging on macroinvertebrates in streams with and without buffer strips[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 1980, 37: 1076-1085.
- [13] LARGE A R G, PETTS G E. Rehabilitation of river margins[J]. River Restoration, 1996, 7: 106-123.
- [14] ROHLING J. Corridors of Green[J]. Wildlife in North Carolina, 1998, 5: 22-27.
- [15] 曹君. 景观异质性与多样性在城市景观规划中的应用[J]. 高等函授学报: 自然科学版, 2004, 17(3): 45-48.
- [16] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [17] MERRIAM G. Corridors and connectivity: animal population in heterogeneous environments[C]// SAUNDERS D A, HOBBS R J EDS. Nature Conservation 2: The role of corridors. Chipping Norton: Surrey Beatty & Sons, 1991: 133-142.
- [18] SCHREIBER K F. Connectivity in landscape ecology[C]// Proceedings of the 2nd international seminar of the international association for landscape ecology. Munster: Munstersche Geographische Arbeiten, 1988, 29: 255.
- [19] WU J G. Effects of patch connectivity and arrangement on animal metapopulation dynamics: a simulation study[J]. Ecological Modelling, 1993, 65: 221-254.
- [20] 孟钧, 李绍纯. 北欧、西欧国家行政区划及政府运行机制[J]. 北京规划建设, 2004(6): 129-131.
- [21] FABOS J G. Introduction and overview: the greenway movement, uses and potentials of greenways[J]. Landscape and Urban Planning, 1995, 33: 1-13.
- [22] TAAFFE E J, KRAKOVER S, GAUTHIER H L. Interactions between spread and backwash, population turnaround, and corridor effects in the intermetropolitan periphery: a case study[J]. Urban Geography, 1992, 13(6): 503-533.
- [23] FORMAN R T T. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions[M]. England: Cambridge University Press, 1995.
- [24] 车生泉. 城市绿色廊道研究[J]. 城市生态研究, 2001, 25(11): 44-48.
- [25] 宗跃光. 廊道效应与城市景观结构[J]. 城市环境与城市生态, 1996, 9(3): 21-25.
- [26] 肖笃宁, 高峻, 石铁矛. 景观生态学在城市规划和管理中的应用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 813-820.
- [27] MERRIAM G, LANOUÉ A. Corridors use by small mammals: field measurement for three experimental types of *Peromyscus leucopus*[J]. Landscape Ecology, 1990, 4: 123-131.
- [28] KUPFER J A, MALANSON G P. Structure and composition of a riparian forest edge[J]. Physical Geography, 1993, 14: 154-170.
- [29] FERENC J. A reliability-theory approach to corridor design[J]. Ecological Modelling, 2000, 128: 211-220.
- [30] JOSHUA J T, DOUGLAS J L, NICK M H, et al. Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes[J]. Ecology, 2002, 83(10): 12923-12926.
- [31] SIMBERLOFF D, COX J. Consequences and costs of conservation corridors[J]. Conservation Biology, 1987, 1: 63-71.
- [32] 陈利顶, 傅伯杰, 刘雪华. 自然保护区景观结构与物种保护——以卧龙自然保护区为例[J]. 自然资源学报, 2000, 15(2): 164-169.
- [33] 岳隽, 王仰麟, 彭建. 城市河流的景观生态学研究: 概念框架[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1422-1429.
- [34] BERNARD J, TURILE R. Streamcorridor restoration: principles, processes, and practices[M]. USDA: Natural Resources Conservation Service, 1998.
- [35] 沈国舫, 王礼先. 中国生态环境建设与水资源保护利用[M]. 北京: 水利水电出版社, 2001: 20-22.
- [36] 王薇, 李传奇. 河流廊道与生态修复[J]. 水利水电技术, 2003, 34(9): 56-58.
- [37] 沈泽昊. 景观生态学的实验研究方法综述[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 769-774.
- [38] DOUGLAS J L, BENJAMIN M B, JOSHUA J T, et al. Effects of landscape corridors on seed dispersal by birds[J]. Science, 2005, 309(7): 146-148.
- [39] JOANNA H F, DOUGLAS J L, JEROME A H. Habitat corridors function as both drift fences and movement conduits for dispersing flies[J]. Oecologia, 2005, 143(4): 645-651.
- [40] FERENC JORDAN. A reliability-theory approach to corridor design[J]. Ecological Modelling, 2000, 128: 211-220.
- [41] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [42] KNAAPEN J P, SCHEFFER M, HARMS B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992, 23: 1-16.
- [43] 李纪宏, 刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2): 217-224.
- [44] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 145-150.