

DOI: 10.5846/stxb201504300891

龚明昊, 刘刚, 官天培, 李惠鑫, 岳建兵, 周天元. 秦岭大熊猫种群扩散格局及研究方法. 生态学报, 2016, 36(18): - .

Gong M H, Liu G, Guan T P, Li H X, Yue J B, Zhou T Y. An exploration of giant panda population dispersal patterns and methodology in the Qinling Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): - .

秦岭大熊猫种群扩散格局及研究方法

龚明昊¹, 刘刚¹, 官天培², 李惠鑫¹, 岳建兵³, 周天元^{3,*}

1 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091

2 绵阳师范学院生态安全与保护四川省重点实验室, 绵阳 621000

3 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714

摘要: 种群扩散格局是研究种群扩散规律和机制的关键信息, 也是制定物种保护对策的重要基础。大型动物种群扩散格局研究方法为扩散生态研究的薄弱领域, 并制约扩散生态学的发展。以秦岭大熊猫为研究对象, 根据 2000 年以来的种群调查数据, 基于大熊猫领域的特性, 利用 GIS 的扩展区分析功能和景观分析方法研究了大熊猫种群分布区及动态; 基于聚集的特性, 利用 GIS 的核密度分析功能对大熊猫种群多度和聚集状况及空间变化进行了分析。发现 2012 年的秦岭大熊猫种群分布区较 2000 年增加了 15307.8 hm², 高密度种群聚集区从 2 处变成 1 处, 种群聚集程度进一步增加、聚集格局的完整性大大提升, 尤以中密度聚集区增长最显著, 种群格局呈明显的分布区扩张、聚集度增加的态势。表明基于物种的生物学特性, 立足于种群分布和多度格局变化, 通过长期调查和监测可以有效掌握物种的种群扩散格局; 大型动物可根据其生物学特性探索可行的方法与量化种群扩散的参数来研究其扩散格局, 从而促进大型动物种群扩散研究的开展。

关键词: 扩散生态学; 扩散格局; 种群分布; 种群聚集; 大熊猫

An exploration of giant panda population dispersal patterns and methodology in the Qinling Mountains

GONG Minghao¹, LIU Gang¹, GUAN Tianpei², LI Huixin¹, YUE Jianbing³, ZHOU Tianyuan^{3,*}

1 Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Ecological security and protection key lab of Sichuan Province, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China

3 Academy of Forestry Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

Abstract: Population dispersal is an important life history trait that is influenced by environmental change, and it can alter the distribution, structure, and abundance of a population. In addition, population dispersal allows a species to actively adapt and ensure long-term survival. Patterns of population dispersal can provide key information about the rules and mechanisms of how populations disperse, and they are an important basis for conservation management. Methods for studying population dispersal in large animals are lacking, which therefore restricts the development and application of dispersal ecology. Two crucial issues that need to be taken into account when considering dispersal patterns are population distribution and abundance. Based on the factors of dispersal pattern and the giant panda characteristics of population and home range, this study intends to (1) reveal the dispersal patterns of giant pandas in the Qinling Mountains by comparing the change in their population distribution and aggregation from 2000 to 2012, and (2) explore methods for studying large animal population dispersal. Based on signs of giant pandas obtained from the third and fourth national surveys conducted by the Chinese Forestry Administration (completed in 2000 and 2012, respectively), a circular extension region with a giant

基金项目: 国家林业局大熊猫国际合作项目 (CM1423)

收稿日期: 2015-04-30; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoutianyuan@126.com

panda sign as the center was produced using the buffer function in ArcGIS10.0. The average diameter of the home range of giant pandas was defined as 3 km. Subsequently, using the dissolve function in ArcGIS, we created polygons based on these circles, and established the primary population distribution area around the outer boundary of the polygons. We identified the population dispersal area based on the change in distribution range. Additionally, we mapped population aggregation densities in 2000 and 2012, and divided the population distribution range into areas with different aggregation densities by employing the kernel density analysis function of ArcGIS. We also revealed the population abundance and direction of population dispersal based on the variation in population aggregation. We found that the population distribution area of giant pandas increased by 15307.8 ha in the Qinling Mountains since 2000, with an obvious expanding trend in the northwestern and southwestern regions of the study area. However, the population distribution decreased in the eastern and southern regions. Furthermore, the degree of population aggregation increased, especially for areas with medium aggregation density, and two patches of high-density aggregation became one. In addition, the integrity of the population aggregation pattern also greatly improved. In this way, the population pattern showed a detectable trend of expansion and an increase in population aggregation. This study revealed the area and direction of giant pandas dispersal in the Qinling Mountains since 2000, which has important implications for current population safety and conservation. Our study also showed that the population dispersal patterns of giant pandas could be effectively determined with the spatial variation in population distribution and abundance that is based on biological characteristics and long-term monitoring. The methodology developed in this study, combined with ongoing monitoring programs in Chinese nature reserves, can facilitate the study of population dispersal in large animals.

Key Words: dispersal ecology; dispersal pattern; distribution range; population aggregation; giant panda

种群扩散(population dispersal)是指物种个体从一个地点向另一个地点移动的过程和行为,是物种对种群内、外环境变化的响应和生活史的重要特征^[1-2]。种群扩散影响种群分布、结构和动态,增加局域种群和种群多度,还与群落和生态系统的多样性和稳定性有密切联系,是种群调节和持续生存的重要对策^[3-4]。扩散格局指物种分布和多度格局的空间变化^[5],是研究种群扩散规律和机制的关键信息。

种群扩散属于扩散生态学的研究范畴,但研究方法进展缓慢^[6-7]。已有种群扩散格局的研究大多通过标志重捕法收集与释放地或扩散源不同距离的动物数量来估计种群密度^[8-9],在此基础上通过扩散率(disperse rate)、扩散密度(disperse density)和扩散距离(disperse distance)来分析扩散格局^[10];大型动物则主要利用无线电遥测、卫星追踪(GPS)和分子生物学技术通过长期观测来研究其扩散规律和格局^[11-16];随着景观生态学和GIS技术的兴起,俞孔坚将景观分析方法引入了扩散格局研究,可更直观地认识扩散格局的变化^[17]。扩散生态学作为一门新的分支学科^[18],已有扩散格局研究方法主要针对小型动物,扩散率、扩散密度等参数均不适合大型动物扩散格局的研究;研究方法缺失还导致现有种群扩散理论和假说也主要基于小型动物的研究,大型动物扩散理论研究成为扩散生态学长期滞后的领域。出现这一现象的原因在于大型动物体型较大、分布区广、种群密度较小,种群扩散研究需要收集大量的物种分布和空间利用信息,耗费大量的人力、物力和时间成本,使研究较难开展。如带GPS接收器的项圈可全天候、全时段地收集动物大量高质量的位点信息,但项圈使用的行政许可、购置和使用成本以及佩戴困难使实际应用面临诸多不便^[18-19]。

因此,本研究拟基于物种生物学特征,以调查和监测数据为基础探索更为便捷、可行的大型动物种群扩散格局的研究方法,以促进大型动物种群扩散研究的开展。秦岭是我国大熊猫的重要分布山系,也是我国大熊猫研究基础较好、监测时间较长,数据积累丰富的区域,近年来该山系大熊猫种群呈现显著的扩散态势,较适合开展种群扩散研究。本研究有助于认识秦岭大熊猫种群的扩散机制,对提高其种群安全水平和保护成效具有重要的现实意义。

1 研究区域及秦岭大熊猫概况

秦岭是我国大熊猫分布的最北界,主要分布于中段主脊两侧的中山和亚高山地区,涉及陕西省的留坝、太白、洋县、佛坪、周至、宁陕等区域。通过长期的保护,已形成了相互连接的 11 个大熊猫保护区群,使整个秦岭大熊猫的核心种群及栖息地得到了有效保护。全国四次大熊猫调查结果表明秦岭现有大熊猫栖息地 360587 hm^2 ,种群数量 345 只;与 2000 年比较,栖息地和种群数量分别增长 3.7% 和 26.4%,种群呈稳定增长趋势,分布区不断扩展,种群密度始终为大熊猫分布 6 大山系之首^[20-21]。

秦岭大熊猫与其它山系缺乏交流通道,面对种群的持续增长,在局域环境容量受限和社群压力增长的影响下,大熊猫不得不通过扩散来调节种群数量和结构。由于缺乏对扩散格局的认识,已有大熊猫保护工作中没有开展促进扩散的相关工程措施,导致一些区域大熊猫在向外扩散过程中频频出现大熊猫迷失、病患、死亡的报道^[22]。

2 研究方法

由于缺乏大型动物种群扩散格局的研究方法,已有大熊猫研究成果中也没有扩散格局的研究方法,因此需要探索大熊猫扩散格局的研究方法。扩散格局的核心是种群格局中分布区和多度的空间变化,本研究拟比较秦岭大熊猫 2000 年至 2012 年之间的种群格局,通过以上两时段大熊猫种群分布区和种群多度的空间变化来认识扩散格局。大熊猫是独栖动物,有明显的领域行为^[23],可根据其对领域的特性划定种群分布区。同时,大熊猫还具有聚集的特性,按照其聚集的程度,每个大熊猫种群都有一个或多个聚集中心和不同密度聚集区^[24-25];根据全国第三、四次大熊猫调查结果,大熊猫聚集度高的区域也是种群密度较高的区域,基于其聚集度可了解种群相对多度的空间格局。因此,本研究拟通过分布区、聚集格局的变化来探索大型动物的扩散格局研究方法,并认识秦岭大熊猫的种群扩散格局。

2.1 数据

本研究主要根据种群分布区及聚集度分析 2000 年以来秦岭大熊猫种群格局的变化,种群分布区及聚集度基于不同时段下大熊猫在栖息地利用中行为留下的痕迹信息开展研究,如实体、足迹、粪便、卧迹、洞穴等。2000 年和 2012 年国家林业局开展的全国第三、四次大熊猫调查按 1 样线/100 hm^2 收集了秦岭大熊猫的实体和痕迹信息,由于两次调查采用的方法和抽样强度一致,数据具有较强的可比性,基于这些痕迹信息可开展种群扩散格局研究。通过申请,本研究获许使用秦岭大熊猫分布区两次调查的大熊猫痕迹数据。

2.2 方法

根据大熊猫独栖和领域行为的习性,基于获取的 2000 年和 2012 年大熊猫痕迹点,通过 Arcgis 的空间分析功能,沿各痕迹点形成半径为 3 km 的圆形扩展区(3 km 为秦岭大熊猫的家域直径,扩展区为大熊猫沿该痕迹点最可能到达的区域^[25]),然后将各痕迹点的扩展区进行融合,去除一些大熊猫偶发性扩散出去的区域(仅 1—2 个痕迹点、且与周边最近扩展区距离大于 3 km),融合后的扩展区所形成的多边形即为不同时期的大熊猫种群分布区。

基于两次调查的痕迹点数据,通过 Arcgis 的 Kernel density analysis 功能分别生成了 2000 年、2012 年秦岭大熊猫分布区的聚集密度分布图^[26],并在对聚集密度平均划分后将整个分布区分为高、中、低 3 类密度聚集区域,聚集密度最高的区域为种群聚集中心,通过不同时期聚集中心和不同密度聚集区的空间变化可识别种群扩散的趋势和方向。

3 结果

3.1 种群分布区及扩散格局

全国第三、四次调查在秦岭大熊猫分布区共收集到 1800 个和 1854 个大熊猫痕迹点,痕迹类型以粪便为

主。基于种群分布区研究方法,2000 年秦岭大熊猫种群分布区总面积 283746.1 hm^2 ,去除一些偶发性区域后实际分布区 280157.5 hm^2 ;2012 年分布区总面积 312199.3 hm^2 ,去除一些偶发性区域后实际分布区 295465.3 hm^2 (表 1、图 1);大熊猫种群分布区增加 15307.8 hm^2 。2000 年以来秦岭大熊猫种群分布区扩散趋势明显,扩散区域最大的是原分布区西北太白、牛尾河、黄柏塬保护区之间以大树坪为中心约 17000 hm^2 的区域,其次是原分布区西南摩天岭东坡约 12000 hm^2 的新扩散区;原牛尾河种群分布区跨太白河在王家楞形成了一新分布区、原兴隆岭种群分布区向东扩散初步实现了与天华山种群分布区的连接^[24];种群分布区减少的区域最显著的原分布区东部龙草坪北部有 11000 hm^2 ,其次是厚畛子东北有 9000 hm^2 的区域,另原分布区南部洋县、佛坪南部的分布区也出现了不同程度退缩的现象。

3.2 种群聚集及扩散格局

基于种群聚集密度的分析,2000 年以来秦岭高密度聚集区面积增加了 2834.2 hm^2 (表 1、图 1),高密度聚集区(聚集中心)由 2000 年位于佛坪和长青保护区内的 2 处变为 2012 年出现在佛坪、长青、老县城、黄柏塬 4 保护区之间的 1 处,面积和所占分布区的比例都有所提高,表明 2000 年以来秦岭大熊猫种群的聚集程度进一步增加。聚集格局变化以中密度种群聚集区变化最显著,原存在于长青与佛坪保护区中部之间、由低密度聚居区形成的约 6500 hm^2 隔离带至 2012 年已演替为中密度聚集区,使种群聚集格局的完整性大大提升;在黄柏塬保护区西南部有 11600 hm^2 的低密度聚集区也演替为中密度聚集区,为中密度聚集区增长最大的区域;2000 年以来种群中密度聚居区共增长 19147.2 hm^2 ,呈明显的聚集趋势。

表 1 2000—2012 年秦岭大熊猫种群聚集区变化

Table 1 The change of giant panda population aggregation between 2000 and 2012 in Qinling Mountains

种群聚集区 Population aggregation area	2000 年		2012 年	
	面积 Area/ hm^2	百分比 Percentage/%	面积 Area/ hm^2	百分比 Percentage/%
高密度聚集区 Area of high density of aggregation	7582.9	2.7	10417.1	3.5
中密度聚集区 Area of medium density of aggregation	29422.3	10.3	48569.5	16.5
低密度聚集区 Area of low density of aggregation	246740.9	87.0	236478.7	80.0
合计 Total	283746.1		295465.3	

4 讨论

4.1 种群分布区和聚集度对扩散格局研究的适宜性

本研究通过种群分布区和聚集度揭示了秦岭大熊猫的扩散区域和扩散方向,因此基于本方法可进行大型动物种群扩散格局的研究。种群分布区及变化是了解种群扩散格局最直观的信息,根据新分布区的变化可以确定扩散区域。本研究基于大熊猫的家域特征划定种群分布区,使种群分布区和扩散格局的确定既有理论依据,又具可操作性。已有研究大多用种群密度或数量来反映种群多度在空间上的分布,由于动物种群调查从方法到数量统计一直存在许多技术和理论方面的局限,特别是大型动物一般都在粪堆、痕迹等基础上进行数量估计,其准确性长期受到质疑^[27-28]。大熊猫具有聚集的特性,根据全国三、四次大熊猫调查结果,聚集度高的区域种群数量也较高,用聚集度反映种群多度的空间变化,没有数据估算和推断过程,回避了间接数据向绝对数量转换过程中所产生的误差,有助于提高扩散格局的准确性。同时,聚集度还反映了大熊猫对不同质量栖息地的利用程度,可作为栖息地质量和恢复评估的重要指标。

4.2 基于物种生物学特性探索大型动物扩散格局的研究方法

大型动物的体型、栖息地需求、种群规模均不同于小型动物,必须探索新的方法和参数来研究其扩散格局。本研究根据大熊猫具有家域和聚集的生物学特性,通过 GIS 技术和景观分析方法确定了扩散的区域和多

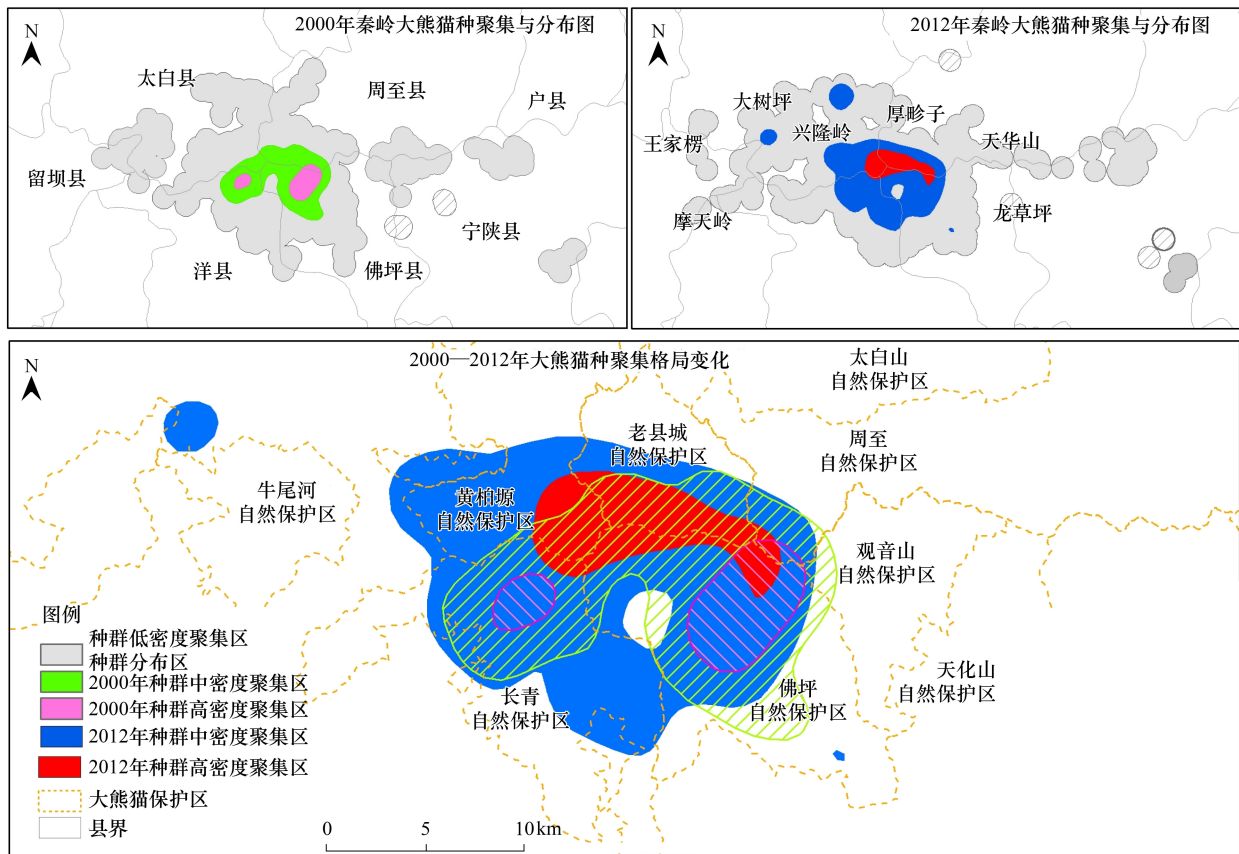


图1 2000年—2012年秦岭大熊猫种群分布区、不同密度聚集区及比较

Fig.1 The situation and comparing of giant panda population distribution, aggregation with different density between 2000 and 2012 in Qinling Mountains

度的空间变化,揭示了种群扩散格局。不同物种习性不同,其研究方法和参数也有所差异。本研究方法的基础是大熊猫的生物学习性,该方法适合与其习性相近的物种,如黑熊(*Selenarctos thibetanus*)^[29]、林麝(*Moschus berezovskii*)^[30]。羚牛(*Budorcas taxicolor*)尽管有聚集的特性、但独居的特点不显著,虎(*Panthera tigris*)、豹(*Panthera pardus*)等食肉动物尽管有独居和领域行为、但没有聚集的特性,均不适合该方法。因此,应充分总结各大型动物的研究成果,立足于通过种群格局变化分析扩散格局的原则,根据其生物学特性探索合适、可行的扩散格局研究方法和参数。例如对食肉动物除通过家域确定其分布区变化外,还可以从家域的重叠程度分析种群多度的空间变化。

4.3 监测数据可成为研究大型动物扩散格局的重要途径

我国对种群扩散的研究相对滞后,尤其缺乏大型动物种群扩散格局研究的方法和案例,制约我国扩散生态学研究的发展和珍稀、濒危物种的保护成效。随着生态学研究的不断深入,特别是一些新的分析方法创新和技术手段的引入为开展大型动物种群扩散格局研究创造了机遇,俞孔坚^[17]和本研究表明在对种群生物学特性研究基础上,通过GIS技术和景观分析方法不仅可以更直观地揭示扩散格局,还使扩散格局的研究更具科学性和可行性。本研究还从种群扩散的角度凸显了监测工作对物种保护和管理的重要性,尽管本研究基于间隔12年的数据开展研究,但各保护区可基于本研究方法、结合常规监测数据分析出各保护区主要保护物种适时的种群扩散格局。近年来,我国政府越来越重视生态文明和保护能力建设,大多保护区、湿地公园相继启动了物种和自然资源常态化的监测工作,长期的监测工作及数据积累为开展大型动物扩散格局研究创造了难得的机遇。

4.4 扩散格局研究切合当前大熊猫保护的需求

大熊猫是密度制约物种^[17],种群数量的持续增长势必加大社群压力,须通过扩散来降低种群密度;人为干扰造成栖息地破碎化和质量下降,环境容纳量不足也迫使大熊猫通过扩散来寻找新的生存空间。全国第四次大熊猫调查表明我国大熊猫一直处于增长状态,种群扩散现象明显,尤以秦岭、岷山、邛崃山等山系显著^[21];近年不断出现大熊猫下山、进村、进镇的报道也说明扩散逐渐成为大熊猫常态化的生存对策。通过研究扩散格局探索种群扩散机制,了解各山系大熊猫的扩散趋势和扩散状态下的保护需求,对提高其种群安全水平具有重要意义,应成为未来一段时间内大熊猫保护最重要的基础研究。

参考文献 (References):

- [1] Bauer S, Hoyer B J. Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. *Science*, 2014, 344(6179): 54-60.
- [2] Clobert J, Baguette M, Benton T G, Bullock J M. *Dispersal Ecology and Evolution*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- [3] McKinnon L, Smith P A, Nol E, Martin J L, Doyle F I, Abraham K F, Gilchrist H G, Morrison R I G, Bêty J. Lower predation risk for migratory birds at high latitudes. *Science*, 2010, 327(5963): 326-327.
- [4] Hanski I. Population dynamic consequences of dispersal in local populations and in metapopulations//Clobert J, Danchin E, Dhondt A A, Nichols J D, eds. *Dispersal*. Oxford: Oxford University Press, 2001: 283-298.
- [5] Bullock J M, Kenward R E, Hails R S. *Dispersal ecology*//The 42th Symposium of the British Ecological Society. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2002.
- [6] 肖治术, 张知彬. 扩散生态学及其意义. *生态学报*, 2004, 23(6): 107-110.
- [7] Nathan R. Seeking the secrets of dispersal. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(6): 275-276.
- [8] 杨月伟, 刘季科, 刘震. 东方田鼠种群扩散及活动对外部因子的反应格局. *生态学报*, 2005, 25(6): 1523-1528.
- [9] 李国宏, 高瑞桐, Michael T S, 孔令才. 光肩星天牛种群扩散规律的研究. *林业科学研究*, 2010, 23(5): 678-684.
- [10] Freeman G H. A model relating numbers of dispersing insects to distance and time. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 14(2): 477-487.
- [11] Lynn L L. Factors influencing dispersal in the black bear//Chepko-Sade BD, Halpin ZT, eds. *Mammalian Dispersal Patterns*. Chicago: University of Chicago Press, 1987.
- [12] Kojola L, Aspi J, Hakala A, Heikkinen S, Ilmoni C, Ronkainen S. Dispersal in an expanding wolf population in Finland. *Journal of Mammalogy*, 2006, 87(2): 281-286.
- [13] Pebworth P A, Morgan H R, Huffman M A. Evaluating home range techniques: use of Global Positioning System (GPS) collar data from chacma baboons. *Primates*, 2012, 53(4): 345-355, doi: 10.1007/s10329-012-0307-5.
- [14] Gese E M, Mech L D. Dispersal of Wolves (*Canis Lupus*) in northeastern Minnesota, 1969—1989. *Canadian Journal of Zoology*, 1991, 69: 2946-2955.
- [15] Broquet T, Petit E J. Molecular estimation of dispersal for ecology and population genetics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2009, 40: 193-216.
- [16] Hampton J O, Spencer P B S, Alpers D L, Twigg L E, Woolnough A P, Doust J, Higgs T, Pluske J. Molecular techniques, wildlife management and the importance of genetic population structure and dispersal: a case study with feral pigs. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(4): 735-743.
- [17] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. *生态学报*, 1999, 19(1): 8-15.
- [18] 刘阳, 张正旺. 鸟类的扩散行为研究进展. *生态学报*, 2008, 28(4): 1354-1365.
- [19] 葛宝明, 官天培, 谌利民, 马文虎, 宋延龄. GPS 项圈系统在野生动物管理与监测中的应用. *四川动物*, 2012, 31(2): 311-316.
- [20] 国家林业局. 全国第三次大熊猫调查报告. 北京: 科学出版社, 2006.
- [21] 国家林业局. 全国第四次大熊猫调查报告(已公布, 未出版). 2015.
- [22] Gong M H, Yang Z, Yang W, Song Y L. Giant panda habitat networks and conservation: is this species adequately protected?. *Wildlife Research*, 2010, 37(6): 531-538.
- [23] 胡锦涛. 大熊猫研究[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2001.
- [24] 孙承骞, 张哲邻, 金学林. 秦岭大熊猫局域种群的划分及数量分布. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(增刊): 163-167.
- [25] 潘文石, 高郑生, 吕植. 秦岭大熊猫的自然庇护所. 北京: 北京大学出版社, 1988.
- [26] 张晋东, Hull V, 欧阳志云. 家域研究进展. *生态学报*, 2013, 33(11): 3269-3279.
- [27] 唐继荣, 徐宏发, 徐正强. 鹿类动物数量调查方法探讨. *兽类学报*, 2001, 21(3): 221-230.
- [28] Harris R B. Insights into population dynamics of giant pandas gained from studies in North America. *Acta Zoologica Sinica*, 2004, 50(4): 662-668.
- [29] 胡锦涛. 唐家河自然保护区黑熊的觅食生态研究. *四川师范学院学报*, 1990, 11(3): 182-194.