

DOI: 10.5846/stxb201012201815

丁晶晶, 刘定震, 李春旺, 蒋志刚. 中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异. 生态学报 2012, 32(2): 0343-0350.

Ding J J, Liu D Z, Li C W, Jiang Z G. Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China. Acta Ecologica Sinica 2012, 32(2): 0343-0350.

## 中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异

丁晶晶<sup>1,3</sup>, 刘定震<sup>1</sup>, 李春旺<sup>2</sup>, 蒋志刚<sup>2,\*</sup>

(1. 北京师范大学生态研究所生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京 100875

2. 中国科学院动物研究所动物生态与保护生物学院重点实验室, 北京 100101; 3. 江苏省林业科学研究院, 南京 211153)

**摘要:** 生物多样性科学的研究重心之一是大尺度生物多样性空间分布规律及其形成机制。中国是世界上物种特丰富国家之一, 了解我国物种多样性在空间上的变异情况, 对于进一步认识大尺度上的生物多样性有重要意义。收集了全国 205 个自然保护区的鸟类和兽类物种分布信息, 以 G-F 指数作为物种多样性的测度指标, 利用地统计学方法分析了大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异特征。G-F 指数是一种基于香农-威纳指数的信息测度, 测度了研究地区环境分化程度和实际利用这种生态环境分化的生物类群多样性, 是一种对共同起源、相似生境需求的物种类群多样性的标准化多样性测度。结果发现, 在东部季风区、西北干旱区和青藏高原区内, 我国大陆鸟类多样性变异大部分都是由随机因素所引起的。兽类多样性的分布, 在东部季风区和西北干旱区内是由随机因素所产生的, 而在青藏高原区, 兽类多样性的总变异中 99.9% 是由空间依赖性所引起的, 主要表现在 71492—1020000 m 空间尺度上, 其分布表现出了强空间相关性。据此, 大尺度上的物种多样性空间分布具有特定的规律, 在生物多样性的保护行动中应加以考虑。

**关键词:** 物种多样性; G-F 指数; 地统计学; 空间变异; 鸟类; 兽类

## Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China

DING Jingjing<sup>1,3</sup>, LIU Dingzhen<sup>1</sup>, LI Chunwang<sup>2</sup>, JIANG Zhigang<sup>2,\*</sup>

1 MOE Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Jiangsu Academy of forestry, Nanjing 211153, China

**Abstract:** Macroecology is concerned with changes in biodiversity as well as the causes of these changes on large scales. Biodiversity can show changes over time and over space. Species diversity, as the determinant of biodiversity, shows spatial heterogeneity.

China has high biodiversity. An increasing number of scientists are interested in the large-scale spatial variation in biodiversity within China. The natural environments in China have clear boundaries, which have influence the distributions of animals and ecosystems. According to climate type, China can be divided into three natural regions: the eastern monsoon region, the northwest arid region and the Qinghai-Tibetan Plateau region. Study of the spatial pattern of the biodiversity found in China may contribute to the understanding of large-scale patterns in biodiversity.

The fauna information database (FID), founded by the Wildlife and Behavioral Ecology Research Group, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, contains information on the distribution of amphibians, reptiles, birds and mammals in China. The FID was compiled with data on species checklists of amphibians, reptiles, birds and mammals from 205 nature reserves across mainland China. They covered most parts of the country except Jiangsu Province, Taiwan, Hong

基金项目: 科技支撑计划项目(2008BAC39B04)

收稿日期: 2010-12-20; 修订日期: 2011-06-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangzg@ioz.ac.cn

Kong and Macau.

In this study, we explored the spatial variation in the G-F indices of birds and mammals with geostatistical techniques. As a measure of species diversity, we computed the G-F index using data on birds and mammals in the FID. The G-F index, based on the Shannon-Wiener index, provides a standardized measure of the diversity of species of common origin and similar environmental requirements. We treated the G-F index as a regional variable and obtained semivariance models and parameters of birds and mammals individually for each of the three natural regions. Semivariograms were produced using semivariance analysis methods of GS-plus software. Using the semivariograms and model parameters, we analyzed the characteristics of the spatial variation in bird and mammal diversity in each natural region.

The semivariance of the G-F index of birds was fitted with a linear model in the eastern monsoon region and the northwest arid region of China. The parameters demonstrated that species diversity of birds had a weak spatial dependence in the eastern monsoon region and the northwest arid region of China. There was no spatial correlation with pure nugget effects on the Qinghai-Tibetan Plateau, indicating that the spatial variation in bird species diversity was caused by random factors. This may be due to the high dispersal abilities of birds.

The semivariance of the G-F index of mammals showed no relationship in the eastern monsoon region and had pure nugget effects in the northwest arid region. However, data of the Qinghai-Tibetan Plateau was best explained by a spherical model. The parameters revealed that spatial pattern of mammalian species diversity was random in the eastern monsoon region and in the northwest arid region but had a strong spatial dependence with a correlation spatial range of 71492—1020000 m on the Qinghai-Tibetan Plateau. This spatial pattern of avian and mammalian species diversity is likely attributable to the interaction between the particular physical environment and life history of birds and mammals. The macroscale spatial pattern of species diversity should be taken into account in the formation of conservation action plans.

**Key Words:** species richness; G-F index; geostatistics; spatial variation; birds; mammals

几乎所有的宏生态学数据都显示出了很强的空间结构,在空间上常常是自相关的<sup>[1]</sup>,生物多样性也不例外。生物多样性是时空中连续的变异体,具有高度的空间异质性。而物种作为生物多样性的基本层次,不论在大空间尺度上还是在小空间尺度上观察,物种多样性的空间变异均存在。Gibson 等研究了澳大利亚西南海岸一些当地小型哺乳动物种群的适宜生境,利用物种多样性模型模拟其适宜生境的空间结构,结果表明研究区中的物种多样性是随着海拔高度的增加而降低、随植被垂直结构的变化而变化<sup>[2]</sup>。Rahbek and Graves 系统揭示了美国南部鸟类物种多样性在不同尺度上梯度分布与相关环境因子之间的关系<sup>[3]</sup>。Rex 等研究了北大西洋 500—4000 m 深海底的海洋生物多样性,发现北大西洋深海的等足动物、腹足动物和双壳动物物种多样性呈向极地减少的趋势<sup>[4]</sup>。

国内研究者开展了从局地尺度到区域尺度上的物种多样性研究。蒋志刚等检验了关于物种丰度的气候假说,发现 1 月平均最低气温、年均日照时数、年均湿度和年均气压是决定中国陆生脊椎动物分布的环境因子。相对而言,两栖类、爬行类更多地受到气候因子的作用,其次是陆生哺乳动物,鸟类物种多样性受到气象环境的影响最小<sup>[5]</sup>。Zhao 等收集了我国 186 个自然保护区的维管束植物、陆生脊椎动物以及相关的气候地形数据,研究其相互之间的关系以及其形成机制<sup>[6]</sup>。刘丙万等利用样带法调查了达赉湖自然保护区的 5 种主要生境类型中的冬春季鸟类的生物多样性、区系、鸟类的群落组成、群落间的相似性和均匀度<sup>[7]</sup>。方精云对我国热带和亚热带山地植物多样性、暖温带山地植物群落多样性及结构特征、东北地区若干山地的群落结构和多样性特征随海拔的变化趋势以及青藏高原高寒植物群落的物种多样性及其与环境因子的关系进行系统地研究,并初步归纳出山地植物物种多样性分布的基本特点<sup>[8]</sup>。夏霖等对青海祁连山及周边地区考察,并结合历史资料对其兽类分布格局及动物地理分布等问题进行了讨论<sup>[9]</sup>。胡慧建等收集了中国动物地理亚区、行政区和保护区的鸟兽名录,分析了行政区与保护区、动物地理区和经纬度带中鸟兽物种数比值及其相

关性<sup>[10]</sup>。

近年来,以采矿学为基础发展起来的地统计学在解决空间分布特征和空间分布格局上表现出了很大的优势,特别是变异函数,已经在空间生态学上得到了越来越多的应用。Nesslage 和 Porter 用地统计学方法研究了 1954—1997 年 Adirondack Park 中白尾鹿(*Odocoileus virginianus*)的空间格局,并利用克里格插值建立了空间自相关模型以及 Adirondack Park 中鹿角拾获量的等值线图<sup>[11]</sup>。Pearson 和 Carroll 利用地统计学分析,比较了美国西北部不同尺度上的蝶类和鸟类物种多样性格局,发现这两类分类不同的物种多样性的空间格局是相关的<sup>[12]</sup>。左小安等采用地统计学方法揭示了科尔沁沙地沙质草场土壤含水量对干旱和降雨响应的空间变异规律<sup>[13]</sup>。刘世梁等采用地统计学的理论和方法研究了青藏高原东缘高原面土壤性质的空间异质性,结果表明土壤水分与养分元素具有明显的空间异质性<sup>[14]</sup>。

生物多样性的全球分布格局一直是生态学家和生物地理学家关注的中心问题之一,特别是物种多样性的空间异质性这一自然界很明显的特征<sup>[15]</sup>。中国是世界物种多样性的重要组成部分,了解我国物种多样性在空间上的变异情况,对于进一步认识大尺度上的生物多样性有重要意义。基于此,本研究利用地统计学方法对我国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异进行分析,以探讨物种多样性空间变异特征与空间尺度的关系。

## 1 研究区域概况

中国地域辽阔(73°25′—135°04′ E, 4°30′—123°17′ N),地处北半球欧亚大陆的东部,东临太平洋,总投影面积约 960 万 km<sup>2</sup>,约占世界陆地总投影面积的 6.5%。中国气候和地形复杂,拥有从热带至寒温带连续完整的气候带及从雨林到荒漠相应的植被带,具有适合众多生物种类生存和繁衍的生境条件。此外,特殊的地质历史和自然条件使中国成为许多古老物种的“避难所”或新生类群的起源地,从而孕育了丰富的生物物种,是全球 12 个“巨大多样性国家(Megadiversity nations)”之一<sup>[16-17]</sup>。

中国自然环境的地域分异明显,对动物地理分布和生态格局具有决定性的影响<sup>[18]</sup>。地域的分异首先表现在青藏高原的独特性,再次是全国气候的干湿分野,由此可将中国分为三大自然区,即东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区。各自然区湿润、干旱和高寒气候条件影响了动物分布,于是,中国动物形成了耐湿动物群、耐旱动物群和耐寒动物群三大生态地理群<sup>[18]</sup>。这三大动物生态地理群基本上以三大自然区分界线为界,但在分界处有明显的相互渗透带。

## 2 数据和方法

### 2.1 数据

数据来源:动物区系数据库(Fauna Information Database, FID)(由中国科学院动物研究所野生动物与行为生态研究组建立)中的两栖类、爬行类、鸟类和兽类物种分布数据。截至 2006 年,该数据库录入了全国 205 个自然保护区的两栖类、爬行类、鸟类和兽类物种分布信息,其中一些自然保护区没有两栖爬行动物分布或没有进行过两栖爬行动物考察。这些自然保护区覆盖了全国除江苏省、台湾省、香港和澳门以外的 30 个省区。该数据库具体包括两栖动物子数据库、爬行动物子数据库、鸟类子数据库以及兽类子数据库。

鸟类子数据库包含了 195 个自然保护区的鸟类分布数据。这些自然保护区总面积为 887972 km<sup>2</sup>,其中,国家级自然保护区 128 个,总面积 764652.2 km<sup>2</sup>。平均每个自然保护区有(160.42±4.87)种鸟类分布。其中,143 个自然保护区位于东部季风区内,39 个位于西部干旱区,13 个位于青藏高寒区。

兽类子数据库包含了 184 个自然保护区的兽类分布数据。这些自然保护区总面积为 883697.5 km<sup>2</sup>,其中,国家级自然保护区 118 个,总面积 760580.8 km<sup>2</sup>。平均每个自然保护区有(47.97±1.54)种兽类分布。其中,134 个自然保护区位于东部季风区内,37 个位于西部干旱区,13 个位于青藏高寒区。

### 2.2 方法

利用 FID 中的鸟类和兽类子数据库,计算各自然保护区的中心经纬度,分别计算出各自然保护区鸟类和兽类的 G-F 指数值<sup>[19]</sup>,作为各自然保护区鸟类兽类物种多样性的测度。以 G-F 指数作为区域化变量,计算出

各动物类群在各自然区的变异函数值 通过 GS-plus 软件中的 Semivariance Analysis 方法绘制出各自然区各动物类群 G-F 指数变异函数理论模型 ,并获得理论模型参数。

根据常用的几种变异函数理论模型 对所得结果进行最优拟合。最后 选取最优拟合模型。得到最优拟合模型后 根据该模型的块金值(  $C_0$  ,nugget)、基台值(  $C_0+C$  ,sill)、变程(  $\alpha$  ,range)、空间结构比率(  $C/C_0+C$ )等模型参数分别定量地分析鸟类及兽类物种多样性在东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区的空间变化规律。

### 3 结果

#### 3.1 鸟类

鸟类 G-F 指数的变异函数在东部季风区和西北干旱区均用线性模型来拟合(表 1)。在东部季风区和西北干旱区 鸟类 G-F 指数的变异函数 基台值均略大于块金值 表明 G-F 指数的空间变异大部分是由于随机因素所引起的(图 1)。同时 空间结构比率(0.086 和 0.059)很小 即总变异中有 91% 都是由随机性产生的。

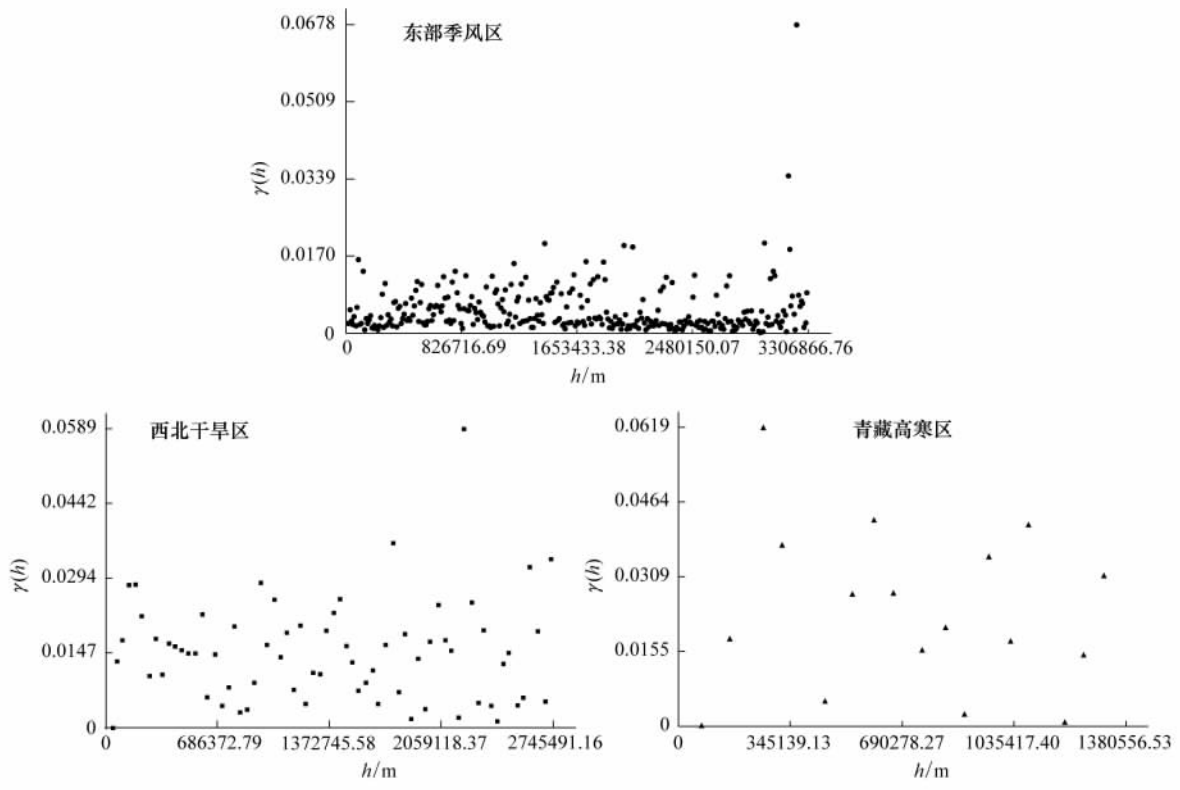


图 1 鸟类 G-F 指数变异函数理论模型

Fig.1 Semivariogram model of G-F index of bird

横坐标  $h$  是间隔距离;纵坐标  $\gamma(h)$  是变异函数值

表 1 中国自然区鸟类 G-F 指数变异函数理论模型参数

Table 1 Isotropic semivariogram of G-F indices of birds in selected nature reserves

理论模型 Semivariance model	块金值 Nugget $C_0$	基台值 Sill $C_0+C$	块金值/基台值 Ratio of structural variance to sill variance $C/C_0+C$	变程 Range $\alpha$	决定系数 $R^2$ Coefficient of determination	残差值 RSS Residual sum of squares
东部季风区 Eastern Monsoon Region	线性模型 0.00483	0.00528	0.086	3299072	0.001	$9.828 \times 10^{-3}$
西北干旱区 Northwest Arid Region	线性模型 0.01445	0.01536	0.059	2729203	0.001	$6.703 \times 10^{-3}$
青藏高寒区 Qinghai-Tibetan Plateau	块金模型 0.02359	0.02359	0.000		0.010	$4.631 \times 10^{-3}$

可以看出,鸟类的 G-F 指数在取样范围(10493m)内,是没有空间相关性的。在青藏高寒区,块金值等于基台值,表明 G-F 指数的空间分布发生了纯块金效应,其空间变异是由随机因素所引起的。标准化变异函数结果显示鸟类 G-F 指数在全国三大自然区内的空间变异大部分是由随机因素所产生的。

3.2 兽类

在东部季风区,兽类 G-F 指数的变异函数相关系数  $R^2$  为 0(表 2),表明兽类 G-F 值不具有空间相关性。在西北干旱区,块金值等于基台值,表明兽类 G-F 指数的空间分布发生了纯块金效应,其空间变异是由随机因素所引起的(图 2)。在青藏高寒区,兽类 G-F 指数的变异函数用球状模型来拟合。基台值远远高于块金值,表明 G-F 指数具有很明显的空间结构。空间结构比率(0.999)表明,总变异中有 99.9% 的变异是由空间依赖性所引起的,主要表现在 71492—1020000 m 的尺度上,而由随机性所产生的变异只占 0.1%,主要表现在 71492 m 以下的尺度上。标准化变异函数结果显示兽类 G-F 指数在东部季风区和西北干旱区内的空间变异是由随机因素所产生的,而在青藏高寒区却表现了极强的空间相关性。

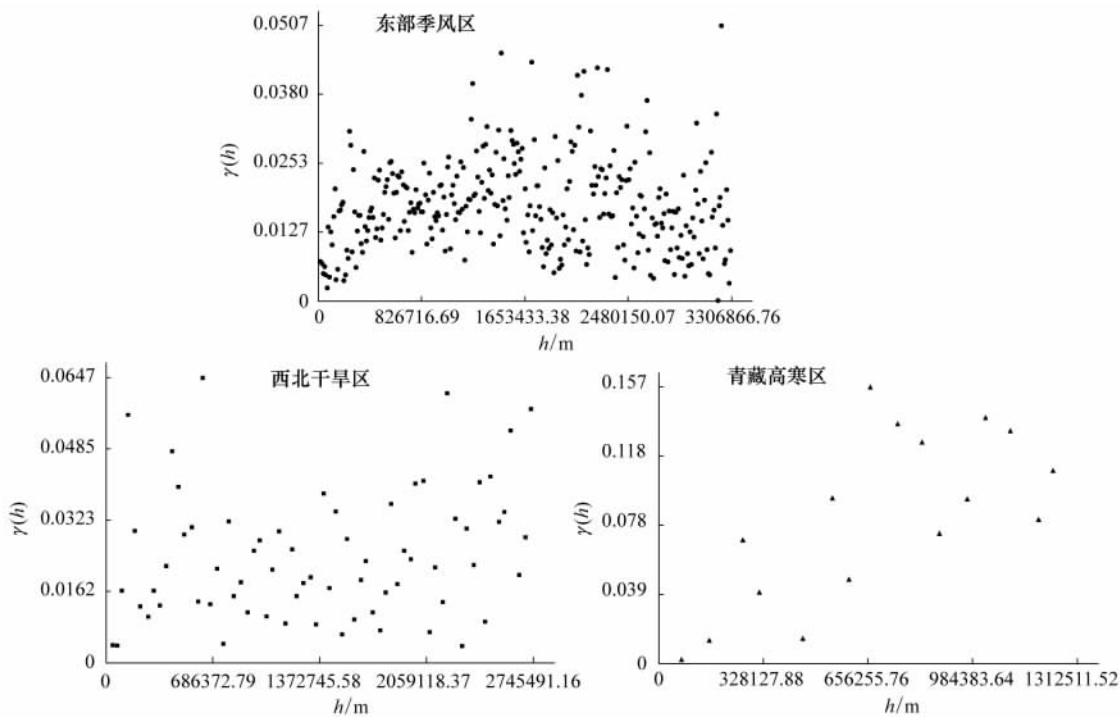


图 2 兽类 G-F 指数变异函数理论模型

Fig. 2 Semivariogram model of G-F index of mammal

横坐标  $h$  是间隔距离;纵坐标  $\gamma(h)$  是变异函数值

表 2 各自然区兽类 G-F 指数变异函数理论模型参数

Table 2 Isotropic semivariogram of G-F indices of mammals in selected nature reserves

	理论模型 Semivariance model	块金值 Nugget $C_0$	基台值 Sill $C_0+C$	块金值/基台值 Ratio of structural variance to sill variance $C/C_0+C$	变程 Range $\alpha$	决定系数 $R^2$ Coefficient of determination	残差值 RSS Residual sum of squares
东部季风区 Eastern Monsoon Region	线性模型	0.01747	0.01780	0.018	3298533	0.000	0.0220
西北干旱区 Northwest Arid Region	块金模型	0.02224	0.02224	0.000		0.003	$6.396 \times 10^{-3}$
青藏高寒区 Qinghai-Tibetan Plateau	球状模型	0.00010	0.11320	0.999	1020000	0.588	0.0150

#### 4 讨论

季风区、蒙新高原区和青藏高原三大基本自然区对动物分布的影响,分布表现为湿润、干旱和高寒条件的作用,呈非地带性分布<sup>[18]</sup>。本文研究结果表明,在各自然区内,鸟类多样性的分布都是由随机因素所引起的,这可能与部分鸟类的扩散能力及迁徙的生活习性有关。在漫长的历史演化过程中,相当多的鸟类形成了迁徙的生活习性。这一习性大大扩展了它们的生活空间,增强了它们的生存能力,同时也大大丰富了中国鸟类的物种多样性<sup>[20]</sup>。在自然状态下,影响鸟类扩散与分布的因素有很多。种群密度的增加,偶然的天气影响和许多随机因素都可能导致鸟类出现在其从前没有分布过的地区,这种扩散与分布从理论上说应该是随机的<sup>[21]</sup>。鸟类的分布区呈动态变化,具有一定的伸缩性。在青藏高寒区,鸟类多样性的空间变异发生了纯块金效应,没有空间相关性。青藏高寒区,分布最广泛的景观是高山草原、高寒草甸和高寒荒漠。高山草原和高寒草甸地区气候严酷,寒冷而风大,高原内部和高海拔地区,植物生长期只有2—3个月。对鸟类的生活有较多的限制。高寒荒漠地带,气候寒冷,空气稀薄,栖居条件更是极端严酷,鸟类种类更少<sup>[18]</sup>。因而,在取样范围内,青藏高寒区鸟类多样性的空间分布不具有空间依赖性。

在东部季风区和西北干旱区内,兽类多样性的分布是由随机因素所产生的,而在青藏高寒区,兽类多样性的分布却表现出了极强的空间相关性。张荣祖的研究表明,我国大部分兽类分布与我国三大自然区(即季风区、干旱区和以青藏高原为中心的高地)相关,分布边界亦大体与三大自然区边界一致,但也有不少种类超过界线,而彼此交错<sup>[18]</sup>。兽类有较宽的生态适应性,比如说,属于热带、亚热带成分的猕猴(*Macaca mulatta*)和果子狸(*Paguma larvata*),其分布区可伸至华北;虎(*Panthera tigris*)、青鼬(*Martes flavigula*)可伸至黑龙江流域<sup>[18]</sup>。在青藏高寒区,由于该地域自然条件的影响,高原生态系统初级生产量的限制,出现了草食性动物群聚现象。据估计,西藏羌塘的野牦牛(*Bos grunniens*)约有15000头<sup>[22]</sup>,藏羚(*Pantholops hodgsoni*)约有5万多头,藏野驴(*Equus kiang*)约有5万多头,藏原羚(*Procapra picticaudata*)约有10万多头<sup>[23]</sup>。经过长时期的演化,该地域形成了特有的兽类类群<sup>[20]</sup>。典型代表有野牦牛、藏羚、藏原羚、鼠兔(*Ochotona* spp.)和藏野驴。这些原因都有可能导导致兽类多样性在青藏高寒区表现出极强的空间相关性。

与脊椎动物其他类群相比,鸟类和兽类一般需要消耗中大约80%—90%的代谢能量来主动维持其体温的恒定,因此它们对所处环境的气候条件依赖性并不高<sup>[24-25]</sup>。Zhao等对中国陆生脊椎动物多样性分布的研究表明,环境因素对于恒温动物多样性梯度格局方差的解释率明显低于变温动物多样性梯度格局方差的解释<sup>[6]</sup>。对于鸟类来说,年平均净初级生产力(Mean Annual NPP)是影响鸟类物种多样性梯度格局的第一重要因子;而对于兽类来说,不考虑维管束植物多样性的影响,地形因子是影响兽类物种多样性梯度格局的第一重要因子<sup>[25]</sup>。研究中并没有涉及环境因素对鸟类和兽类物种多样性分布的影响,但这些因素也可能影响着本文的研究结果。

G-F指数是一种基于香农-威纳指数的信息测度,利用生物普查得到的名录来计算一个地区物种多样性的方法。测度科与属两级分类阶元上的分布不均匀性。G-F指数方法首先计算属间的多样性(G指数)和科间的多样性(F指数),前者反映了研究地点属下种的生态位分化程度,后者反映了研究地点科下属的生态位分化程度。然后,再利用G指数与F指数的比值进行标准化,得出G-F指数<sup>[19]</sup>。这一指数反映了研究地区的生态环境分化程度和实际利用这种生态环境分化的生物类群多样性。

属是一群有共同祖先,然而占有不同生态位的物种,种之间存在生殖隔离<sup>[26]</sup>。属通常在一个或数个大陆分布的,而科的分布则通常是全球的<sup>[26]</sup>。G-F指数越高,则在科多样性(F指数)一定的前提下,研究地区的生态环境分化程度高,种生态位愈多,在研究地区会发现更多的种;换一句话说,研究地区的生态环境与全球其他地区的相似性越高。G-F指数越低,研究地区的生态环境特化程度高,与全球其他地区的相似性越低,种的生态位少,则研究地区的种数目少。极端情形是,当一个地区环境特化,仅有几种单种属时,G-F指数可能为负数。当一个研究区域较小时,如小于100km<sup>2</sup>时,在一些数目相对较少的动物类群中,这种情形也可能发生。G-F指数与直接利用香农-威纳指数的信息测度计算种的多样性不一样,G-F指数是一种对相似起源、相似生

境需求的物种类群多样性的标准化多样性测度。

本研究中自然保护区是研究取样单元。中国的自然保护区是自然环境和生物区系保存相对完整的区域, 面积一般在 100 km<sup>2</sup> 以上, 生活在自然保护区内的鸟类与哺乳类是自然保护区所在生物地理带的鸟类与哺乳类的组成部分。在建立自然保护区前, 一般组织专业技术人员进行过生物多样性本地调查, 有较为完整的野生动物与野生植物名录。此外, 自然保护区是一个功能完整的生态系统, 保存了野生动物的栖息地。因此, 我们利用自然保护区作为本研究的取样单元是可行的。

全球生物多样性格局的空间变异, 是当前生物多样性的 4 个重要研究领域之一<sup>[15]</sup>。我国拥有丰富的生物物种, 是世界物种多样性的重要组成部分, 因此, 研究我国鸟类和兽类物种多样性空间变异特征, 对于认识大尺度上的生物多样性空间分布具有重要意义, 从而为我国乃至全球生物多样性的保护提供了理论依据。

#### References:

- [ 1 ] Rangel T F L V B , Diniz-Filho J A F , Bini L M. Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecology and Biogeography* , 2006 , 15( 4) : 321-327.
- [ 2 ] Gibson L A , Wilson B A , Aberton J G. Landscape characteristics associated with species richness and occurrence of small native mammals inhabiting a coastal heathland: a spatial modelling approach. *Biological Conservation* , 2004 , 120( 1) : 75-89.
- [ 3 ] Rahbek C , Graves G R. Multiscale assessment of patterns of avian species richness. *Proceedings of the National Academy of Sciences* , 2001 , 98( 8) : 4534-4539.
- [ 4 ] Rex A M , Stuart C T , Coyne G. Latitudinal gradients of species richness in the deep-sea benthos of the North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences* , 2000 , 97( 8) : 4082-4085.
- [ 5 ] Jiang Z G , Li Y K , Li C W , Fang H X. Species abundances of vertebrate in China: a test of the climate hypothesis // Wu J , ed. *International Symposium on Modern Ecology Serial No 4*. 2008.
- [ 6 ] Zhao S Q , Fang J Y , Peng C H , Tang Z Y. Relationships between species richness of vascular plants and terrestrial vertebrates in China: analyses based on data of nature reserves. *Diversity and Distributions* , 2006 , 12( 2) : 189-194.
- [ 7 ] Liu B W , Zhang C A , Li M , Li G H. Analysis of bird diversity from different habitats in Dalai Lake natural reserve during winter and spring. *Ecologic Science* , 2005 , 24( 3) : 197-201.
- [ 8 ] Fang J Y. Exploring altitudinal patterns of plant diversity of China's mountains. *Biodiversity Science* , 2004 , 12( 1) : 1-4.
- [ 9 ] Xia L , Yang Q S , Xiang Y , Feng Z J. Distribution pattern and zoogeographical analysis of mammals in Qilian Mountain areas , Qinghai , China. *Acta Theriologica Sinica* , 2003 , 23( 4) : 295-303.
- [ 10 ] Hu H J , Jiang Z G , Wang Z W. Correlation between avian and mammalian species richness in different geographic regions in China. *Biodiversity Science* , 2001 , 9( 2) : 95-101.
- [ 11 ] Nesslage G M , Porter W F. A geostatistical analysis of deer harvest in the Adirondack Park , 1954-1997. *Wildlife Society Bulletin* , 2001 , 29: 787-794.
- [ 12 ] Pearson D L , Carroll S S. The influence of spatial scale on cross-taxon congruence patterns and prediction accuracy of species richness. *Journal of Biogeography* , 1999 , 26( 5) : 1079-1090.
- [ 13 ] Zuo X A , Zhao X Y , Zhao H L , Li Y L , Yi X Y , Huang G. Spatial variability of soil moisture Responding to drought and rainfall in sandy grassland of Horqin. *Journal of Soil and Water Conservation* , 2005 , 19( 1) : 140-144.
- [ 14 ] Liu S L , Fu B J , Ma K P , Liu G H. Effects of vegetation types and landscape features on soil properties at the plateau in the upper reaches of Minjiang River. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2004 , 15( 1) : 26-30.
- [ 15 ] Gaston K J. Global patterns in biodiversity. *Nature* , 2000 , 405( 6783) : 220-227.
- [ 16 ] Mittermerier R A , Gil P R , Mittermerier C G. *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. Mexico City: CEMEX , 1997.
- [ 17 ] Report on Biodiversity in China. Report on Biodiversity in China. Beijing: China Environmental Science Press , 1998.
- [ 18 ] Zhang R Z. *Zoogeography of China*. Beijing: Science Press , 1999.
- [ 19 ] Jiang Z G , Ji L Q. Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China. *Chinese Biodiversity* , 1999 , 7( 3) : 220-225.
- [ 20 ] Song Y L , Yang Q E , Huang Y Q. *Research and conservation on species diversity*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press , 1998.
- [ 21 ] Sun Q H , Zhang Z W. The impact of climate warming on the distribution of Chinese birds. *Chinese Journal of Zoology* , 2000 , 35( 6) : 45-48.
- [ 22 ] Schaller G B. *Wildlife of the Tibetan Steppe*. Chicago: University of Chicago Press , 1998.
- [ 23 ] Yin B G , Liu W L. *Rare Wildlife Conservation in Tibet*. Beijing: China Forestry Press , 1993.

- [24] Bennett A F, Ruben J A. Endothermy and activity in vertebrates. *Science*, 1979, 206(4419): 649-654.
- [25] Zhao S Q. Research on Large-scale Patterns of Diversity of Vascular Plants, Terrestrial Vertebrates and Lake Fishes in Nature Reserves of China. Beijing: Peking University, 2005.
- [26] Mayr E. Methods and principles on animal taxonomy//Zheng Z X trans. Beijing: Science Press, 1965.

#### 参考文献:

- [7] 刘丙万, 张成安, 黎明, 李国海. 达赉湖自然保护区冬春季鸟类生物多样性与生境的关系. *生态科学*, 2005, 24(3): 197-201.
- [8] 方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律. *生物多样性*, 2004, 12(1): 1-4.
- [9] 夏霖, 杨奇森, 相雨, 冯祚建. 青海祁连山地区兽类分布格局及动物地理学分析. *兽类学报*, 2003, 23(4): 295-303.
- [10] 胡慧建, 蒋志刚, 王祖望. 中国不同地理区域鸟兽物种丰富度的相关性. *生物多样性*, 2001, 9(2): 95-101.
- [13] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 李玉霖, 移小勇, 黄刚. 科尔沁沙地沙质草场土壤水分对干旱和降雨响应的空间变异性. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 140-144.
- [14] 刘世梁, 傅伯杰, 马克明, 刘国华. 岷江上游高原植被类型与景观特征对土壤性质的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 26-30.
- [17] 中国生物多样性国情研究报告. 中国生物多样性国情研究报告. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [18] 张荣祖. 中国动物地理. 北京: 科学出版社, 1999.
- [19] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法. *生物多样性*, 1999, 7(3): 220-225.
- [20] 宋延龄, 杨亲二, 黄永青. 物种多样性研究与保护. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1998.
- [21] 孙全辉, 张正旺. 气候变暖对我国鸟类分布的影响. *动物学杂志*, 2000, 35(6): 45-48.
- [23] 尹秉高, 刘务林. 西藏珍稀野生动物与保护. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [25] 赵淑清. 我国自然保护区维管束植物、陆生脊椎动物及湖泊鱼类多样性大尺度格局研究. 博士后出站报告. 北京: 北京大学, 2005.
- [26] Mayer E. 动物分类学的方法和原理//郑作新, 译. 北京: 科学出版社, 1965.