

•研究报告•

全国陆生野生动物调查单元区划方案

郜二虎^{1*} 何杰坤² 王志臣¹ 徐扬² 唐小平¹ 江海声²

1 (国家林业局调查规划设计院, 北京 100714)

2 (华南师范大学生命科学学院, 广州 510631)

摘要: 我国早期的动物地理区划主要依靠专家知识和经验, 缺乏系统的定量分析, 而且部分基本区划单元内的动物生态成分差异仍然较大, 使其在野生动物保护管理应用中受到一定限制。为满足野生动物保护管理的需要, 尤其为满足全国第二次陆生野生动物资源调查的需要, 我们在张荣祖“中国动物地理区划”的基础上, 进行了全国野生动物调查单元区划。将全国陆地区域划分为5 km × 5 km的网格, 基于1,784种陆栖脊椎动物(262种两栖动物、358种爬行动物、814种鸟类、350种兽类)的分布数据, 对各网格内的动物分布型比例及自然环境因子进行聚类分析。根据聚类结果, 并结合指示物种的分布情况以及省级行政区划界线, 将全国划分为2界7区19亚区54个动物地理省239个生态地理单元310个调查单元。与张荣祖“中国动物地理区划”方案相比, 界、区、亚区、动物地理省的数量一致, 边界走向基本一致, 但也有一些界线不同, 而且增加了“生态地理单元”和“调查单元”2级区划单元。

关键词: 野生动物; 区划; 聚类分析; 动物地理; 生态地理单元; 调查单元

China's zoogeographical regionalization based on terrestrial vertebrates

Erhu Gao^{1*}, Jiekun He², Zhichen Wang¹, Yang Xu², Xiaoping Tang¹, Haisheng Jiang²

1 Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714

2 School of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631

Abstract: China's previous zoogeographical regionalization designations were delineated according to expert knowledge and experience. However, these previous designations have limited application in wildlife conservation and management because of a lack of quantitative footing. Additionally, there are still significant differences in the ecological components of some of the basic units. In order to meet the needs of wildlife protection and management, especially the needs of the Second National Survey on Terrestrial Wildlife Resources in China, we carried out national wildlife survey unit zoning, based on Zhang Rongzu's "Zoogeographical Regions of China". In this study, hierarchical clustering was applied to a 5 km × 5 km grid of faunistic and environmental components, based on a comprehensive species distribution dataset, consisting of 262 amphibians, 358 reptiles, 814 birds, and 350 mammals. Our results delineated China into 2 realms, 7 regions, 19 sub-regions, 54 zoogeographical provinces, 239 eco-geographical units, and 310 survey units. Compared to Zhang's scheme, the number of realms, regions, sub-regions, and zoogeographical provinces are the same and most of the boundaries are broadly consistent, however, some discrepancies also emerge. To meet the needs of wildlife conservation and management, two hierarchical levels of zoogeographical units were added, namely eco-geographical units and survey units.

Key words: wildlife; regionalization; clustering; zoogeography; eco-geographical unit; survey unit

动物地理区划表明了动物分布的区域差异(张荣祖, 2011), 反映了各地动物对地质历史过程及现今生态环境适应的结果。它不仅为历史生物地理学、生态生物地理学、进化生物学和系统分类学的

许多问题提供了清晰的空间框架(Kreft & Jetz, 2010), 而且在保护生物学方面得到了广泛应用(De Klerk et al, 2002; Kreft & Jetz, 2010; Holt et al, 2013)。

收稿日期: 2017-05-03; 接受日期: 2017-10-09

基金项目: 全国第二次陆生野生动物资源调查项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: 805482272@qq.com

早在 20 世纪 50 年代,我国就开始了动物地理区划工作。寿振黄(1955)将我国毛皮兽的分布划分为 8 个区;郑作新和张荣祖(1959)将我国陆地区域划分为 7 区 16 亚区,后经张荣祖多次修改,将“中国动物地理区划”修订为 2 界 7 区 19 亚区 54 动物地理省(张荣祖, 2011)。该区划方案得到广泛认可,目前仍是我国野生动物方面最重要的全国区划。但是,由于受历史条件和技术手段的限制,我国早期的动物地理区划主要依靠专家知识和经验,缺乏系统的定量分析。随着统计模型的发展和地理信息系统的应用,我国学者逐步探索采用定量研究方法进行动物地理区划或生物地理区划(李晓晨, 2000; 解焱等, 2002; Xiang et al, 2004; He et al, 2017)。例如,解焱等根据 171 种兽类和 509 种植物的分布信息,利用 GIS 技术和定量方法把全国划分为 4 个区域(8 个亚区域)、27 个生物地理区和 124 个生物地理单元(解焱, 2000; 解焱等, 2002; Xie et al, 2004)。He 等(2017)根据 2,102 种陆栖脊椎动物的分布信息,将全国划分为 10 个动物地理区。但是,由于各类区划的研究目的、类群、尺度及方法的差异,不同区划结果的差异较大,而且在这些区划中,部分基本区划单元内动物生态成分差异仍然较大,在全国野生动物资源调查及保护管理实践中受到一定程度的限制。

因此,为满足现阶段我国野生动物保护管理需要,尤其为满足全国第二次陆生野生动物资源调查技术方案(郜二虎等, 2014)的要求,我们在张荣祖(2011)“中国动物地理区划”的基础上,根据 1,784 种兽类、鸟类、爬行类和两栖类动物的分布信息及自然环境数据,进行了全国动物地理区划,划定了全国陆生野生动物调查单元,以便为我国野生动物资源调查和保护管理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 物种分布数据

根据我国两栖动物(费梁等, 2006, 2009a, b)、爬行动物(张孟闻等, 1998; 赵尔宓等, 1998, 1999)、鸟类(郑光美, 2011)和兽类(王应祥, 2003)名录进行统计,我国已记录到陆栖脊椎动物 4 纲 41 目 178 科 2,668 种。我们根据《中国动物志》、各省动物志以及其他公开发表的文献(附录 1)中关于物种分布的记录,以县(指县级行政区划)为单位,建立了全

国物种分布数据库。由于兽类中的翼手目物种和迁徙鸟类不适合用于陆栖脊椎动物的区划(Wallace, 1876; Rueda et al, 2013),因此进行区划时,我们剔除了兽类中的翼手目物种(120 种)以及不在我国繁殖的迁徙鸟类(156 种)。此外,分布型(张荣祖, 2011)不明确的物种(240 种)和分布资料不详的物种(368 种)也不用于本区划(附录 2)。最终,实际用于本区划的物种数为 1,784 种,包括 262 种两栖动物、358 种爬行动物、814 种鸟类和 350 种兽类(附录 3),约占我国陆栖脊椎动物种数的 66.9%。

1.2 物种适生栖息地模型

由于我国各县面积差异较大,以各县记录作为物种的分布区域将会夸大某些物种的分布范围。因此,我们采用物种适生栖息地模型(Rondinini et al, 2011),将物种的县域记录转换为面积相等的 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 网格记录。首先,根据动物志及相关文献(附录 1),整理形成了各物种的适生栖息地信息库,主要包括物种适宜栖息的植被类型和海拔区间。然后,将全国陆地划分为面积相等的 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 网格,提取每个网格所处的县级行政区划名称、植被类型和海拔区间等基础信息。就各县有记录的每一物种,将各个网格的基础信息(植被类型、海拔)与每个物种的适生栖息地信息(植被类型、海拔)进行对比,确定各个网格的物种组成(附录 4)。

1.3 分布型

分布型是指具有相似空间分布的物种组群,指物种在全球范围内的分布,而不是在局部区域的分布。分布型反映了物种分布对历史压力和环境压力的响应结果(Passalacqua, 2015; Fattorini, 2015, 2016),其形成是动物适应环境历史变迁直至现阶段的结果,也是动物在分布上趋同演化的一组事件(张荣祖, 2011)。物种分布型的相似程度体现了不同地域的区系特征(张有瑜等, 2008),被广泛运用于动物和植物的地理区划中(例如: Xing et al, 2008; 张有瑜等, 2008; 冯建孟和朱有勇, 2010; 田怀珍等, 2013)。根据我国已有的陆栖脊椎动物分布型分类系统(张荣祖, 2011),我们整理了 1,784 个物种的分布型信息(附录 5, 6),并根据各区域物种分布型比例对高级单元(界、区、亚区)进行了地理区划。

1.4 环境指标

采用温度、降水、地形、地貌、植被和土壤等环境因子作为亚区以下单元(即地理省和生态地理

单元)的区划指标(附录 7)。其中温度和降水数据来源于 WorldClim 数据集(<http://www.worldclim.org>, Hijmans et al, 2005), 数字高程数据(90 m × 90 m)来源于国际农业研究磋商组织空间信息协会(the Consortium for Spatial Information of the Consultative Group for International Agricultural Research) (<http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>), 数字化的地貌图(1 : 400 万)和土壤图(1 : 100 万)来源于国家地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/>), 植被图来源于《中华人民共和国植被图(1 : 100 万)》(张新时, 2007)。

1.5 区划方法

首先, 以 5 km × 5 km 的网格为基本区划单位, 形成“网格号 × 动物分布型比例”的排列矩阵。然后, 采用欧氏距离计算网格与网格间的距离矩阵, 并用 Ward 方法对其进行系统聚类分析。根据动物地理区划“历史发展”、“生态适应”与“生产实践”的三项基本原则(张荣祖, 2011), 为满足全国第二次陆生野生动物资源调查和保护管理需要, 我们遵循现有的动物地理区划系统(张荣祖, 2011), 按照动物区系成分差异, 划分界、区和亚区; 在各个亚区内, 对各网格的自然环境因子进行聚类分析, 根据聚类结果, 并结合指示物种的分布情况, 划分动物地理省和生态地理单元。最后, 若一个生态地理单元跨不同的行政省, 则利用行政省边界进行切割, 划分成不同的调查单元; 不跨行政省的生态地理单元则为一个调查单元。

2 结果

2.1 地理区划

根据各网格动物分布型比例的系统聚类结果, 当聚类树划分为 7 类时, 全国可识别出 7 个区域(图 1a)。A 区包括我国热带和南亚热带地区; B 区包括秦岭-淮河以南、南岭以北、横断山区以东的区域; C 区和 D 区包括云贵高原和横断山区; E 区包括青藏高原; F 区包括内蒙古高原; G 区包括除内蒙古高原以外的广大北方地区(图 1a)。当聚类树划分为 19 类时, 各小区也得到了较好的划分(图 1b)。例如, A 区被划分为云南南部(Aa)、两广和福建南部(Ab)及台湾(Ab+Bc)3 个小区; E 区被划分为青藏高原腹地(Ea)和青海藏南地区(Eb) 2 个小区(图 1b)。

因此, 根据各网格动物分布型比例的系统聚类结果, 华南区、华中区、西南区、青藏区能被很好地识别出来, 东北区、华北区和蒙新区(除内蒙古高原)的分界并不十分明显, 但从我国主要动物分布型的分布格局(图 2)可以看出: 古北型物种广泛分布于我国北方地区; 东北型物种分布于我国东北及华北地区, 但以东北为主; 中亚型物种主要分布于我国内蒙古和新疆一带。据此并结合张荣祖(2011)的中国动物地理区划方案, 可以划分出东北区、华北区和蒙新区。此外, 根据各网格动物环境指标聚类结果, 我们在 19 个亚区以下进一步划分了 54 个动物地理省 239 个生态地理单元 310 个调查单元。最终, 我们将全国划分为 2 界 7 区 19 亚区 54 个动

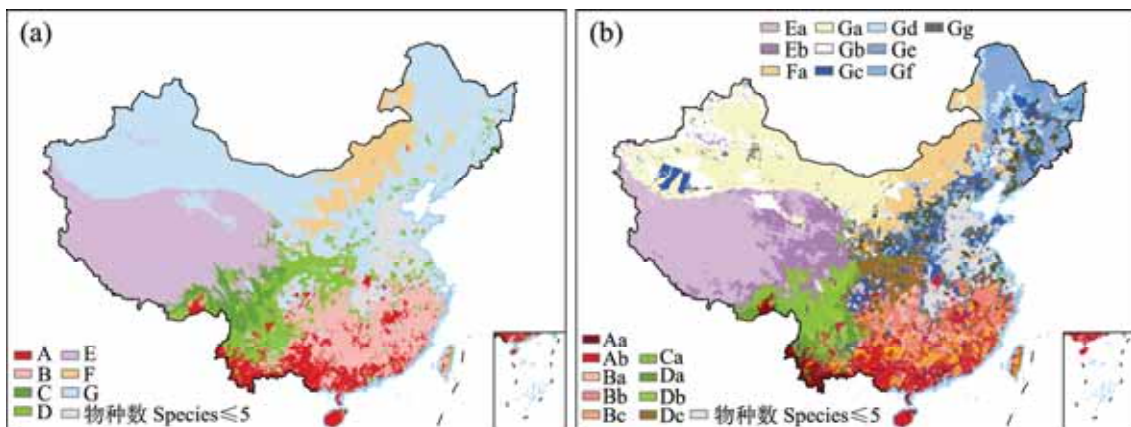


图 1 各网格动物分布型比例聚类结果示意图: (a) 7 类; (b) 19 类。其中 A-G 表示可识别出的 7 个不同区域; Aa、Ab 表示 A 区可进一步识别出 Aa、Ab 两个区域, 以此类推。

Fig. 1 Results from hierarchical clustering on chorotype proportion of each grids. (a) 7 clusters and (b) 19 clusters. Codes from A to G in the figures representing 7 zones that can be identified, while codes Aa and Ab representing 2 zones that can be further identified in zone A, and so on.

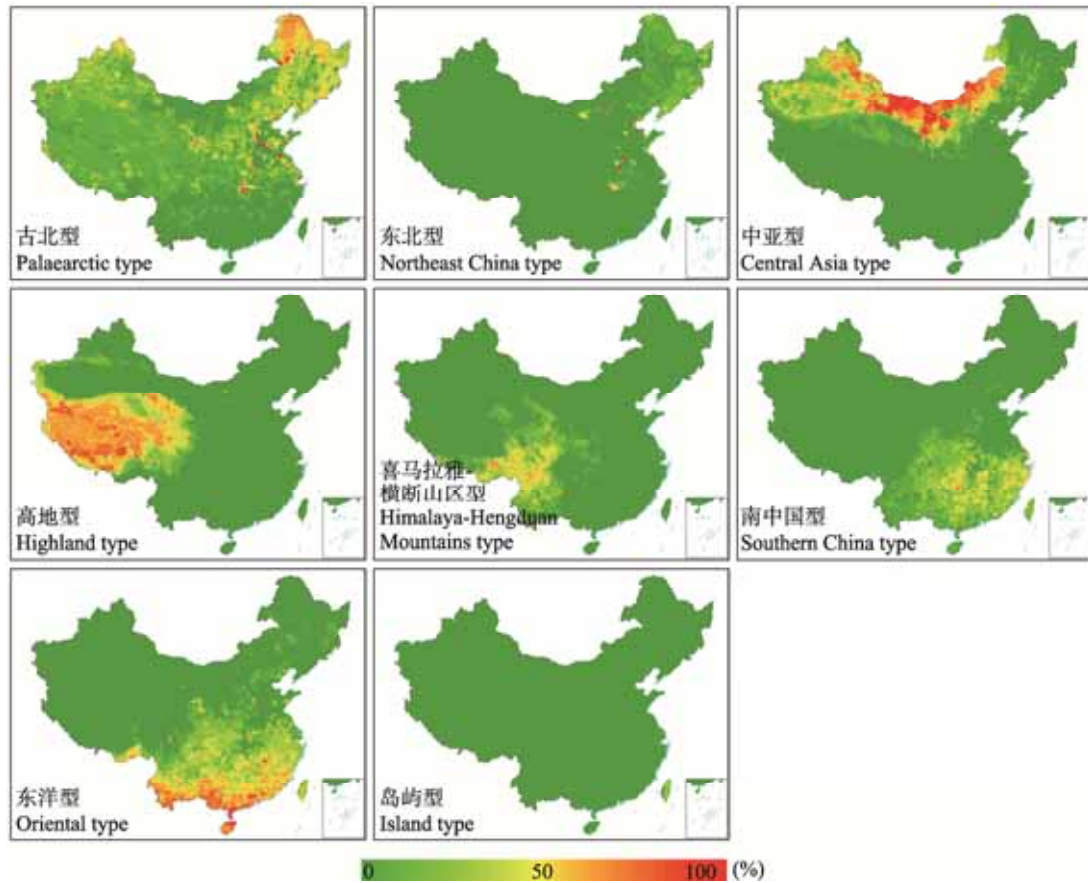


图 2 我国主要动物分布型的分布格局

Fig. 2 Distribution patterns of the main chorotypes in China

物地理省 239 个生态地理单元 310 个调查单元(图 3, 附录 8)。

2.2 各地理区动物区系差异

根据区划结果,我们对 7 个区中的动物区系成分进行了分析。结果显示:古北界与东洋界的区系差异主要是东洋型成分比例不同。在东洋界,东洋型成分大于 16.7%,而在古北界,东洋型成分小于 16.7% (图 4)。

在古北界,青藏区以高地型成分占优(>29%),特别是在青藏高原腹地,高地型成分所占比例超过 50%。而蒙新区则含有较高比例的中亚型成分(>15%),并含有古北型和全北型成分,这 3 类区系成分在蒙新区各亚区间各有优势。其中,东部草原亚区以中亚型占优(>35%),天山山地亚区则以古北型为主(>27%)。东北区和华北区的分异主要表现为东北型成分所占比例不同。在东北区,东北型成分大于 7.5%,而在华北区,东北型成分则小于 7.5% (图 4)。

在东洋界,西南区具有独特的动物区系(喜马拉雅-横断山区型>19%),西南区的动物区系成分既有北方成分的高地型,也有南方成分的南中国型和东洋型,其自身也形成独特的喜马拉雅-横断山区型。华中区和华南区的分异主要表现为东洋型成分所占比例的不同(图 4),在华中区,动物区系成分较为简单,以南中国型和东洋型为主,东洋型成分不超过 56.5%;华南区则具有典型的热带性,东洋型成分超过 56.5%。

2.3 古北界与东洋界分界

古北界和东洋界的划分一直以来存在争议。根据聚类分析,我国古北界和东洋界的东段基本可沿秦岭-淮河一线划分(图 1a),在我国西部地区,古北界和东洋界的分界线穿过横断山区,但具体分界在水平方向上则难以确定。为此,我们分析了横断山区不同海拔区间各种动物分布型的比例,结果显示,南方类型的分布型比例随海拔升高而逐渐减少,北方类型的分布型比例随海拔升高而逐渐



图 3 全国陆生野生动物调查单元区划图
Fig. 3 Map of zoogeographical regions of China for terrestrial wildlife survey

增多, 海拔 3,500 m 以下南方类型动物成分占优, 海拔 4,000 m 以上北方类型的动物成分占优, 海拔 3,500–4,000 m 区间成为两大动物区系成分优势度转换的分界(图 5)。因此, 本方案根据两大动物区系成分优势度转换的分界, 将高原山脉向南延伸的区域划入古北界, 将河流山谷向北延伸的区域划入东洋界。

3 讨论

总体上, 根据各网格物种分布型比例进行聚类分析, 能较好地识别出我国已有动物地理区划的 2 界 7 区和 19 个亚区。此外, 为满足我国野生动物调查及管理需要, 我们在亚区以下进一步划分为 54

个地理省 239 个生态地理单元及 310 个调查单元。我们的结果支持古北界与东洋界分界的东段位于秦岭–淮河一线, 并表明其分界的西段大致在横断山地区海拔 3,500–4,000 m 之间。

3.1 动物地理区划

本方案的区、亚区、地理省的数量与张荣祖(2011)区划方案中的数量一致, 边界走向基本一致, 但一些界线有所差异。其中有 4 处界线差异较大:

(1)张荣祖(2011)方案中, 东北区和蒙新区的分界线大致在大兴安岭山脉主脊–白城–通辽–阜新一线; 本方案东北区和蒙新区的分界线则大致沿大兴安岭西部山麓–扎鲁特旗–巴林左旗–林西县一线, 即在阿尔山以南, 将二者的分界线向西移约 200 km,

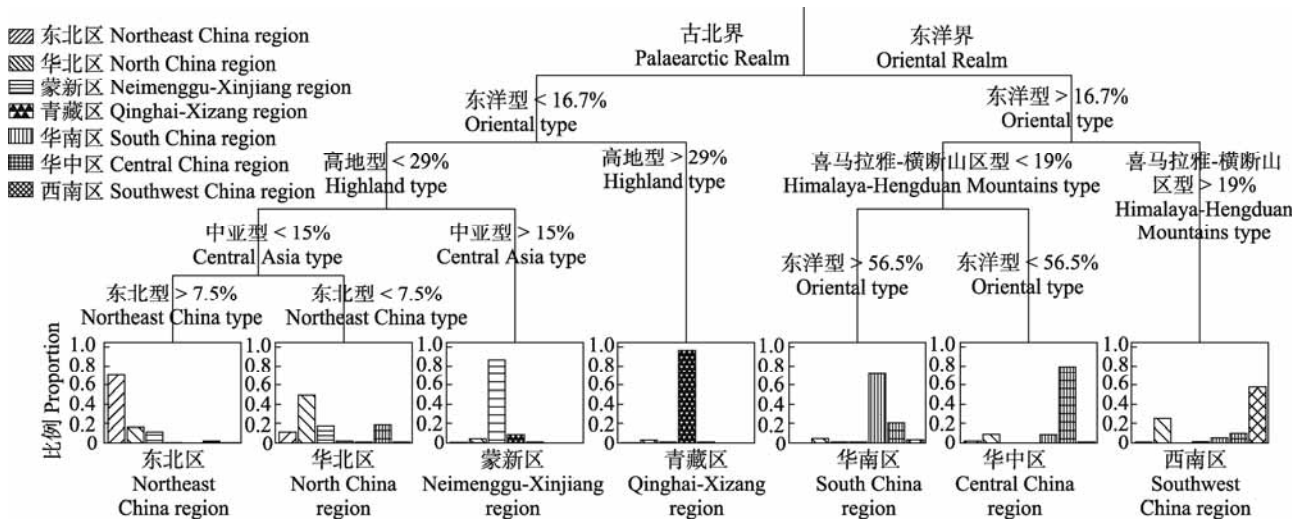


图 4 7 个地理区的动物区系成分分类树
 Fig. 4 Classification tree on the regional fauna of seven zoogeographical regions

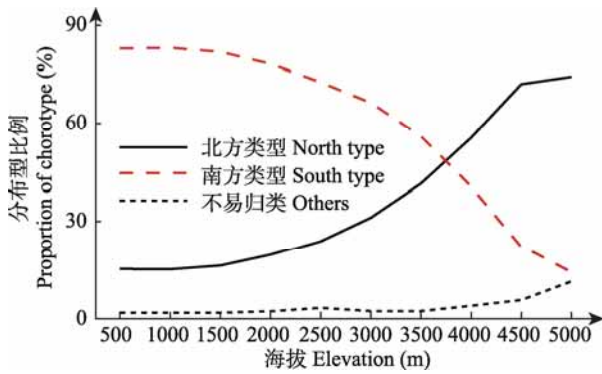


图 5 横断山区不同海拔区间各动物分布型比例
 Fig. 5 Proportion of chorotype along elevation gradients in the Hengduanshan Mountains

大致移到了森林与草原的分界线，将大兴安岭南部山前台地、辽河平原和科尔沁沙地划到了东北区。理由如下：①大兴安岭南部山前台地、辽河平原和科尔沁沙地动物区系成分以古北型为主，中亚型成分不足 20%；而蒙新区动物的中亚型成分可达 40%，甚至在部分地区可达 50%以上。②大兴安岭南部山前台地以农田类型的植被为主，且分布少量温带落叶阔叶林；辽河平原和科尔沁沙地由于近代受到人类干扰后出现土地退化，植被呈现温带落叶阔叶林、温带草原和中温带农田、经济作物三者交错的格局，而蒙新区的植被以温带典型草原为主。

(2)本区划西南区与华南区在云南的分界线为从高黎贡山南端-无量山南端-哀牢山南端，至蒙自-丘北-金钟山一线，比张荣祖(2011)方案界线偏南，主要是将无量山和哀牢山划到了西南区。西南区和

华南区动物成分的差异主要是喜马拉雅-横断山区型所占比例不同(图 4)，而偏移区域(无量山和哀牢山)动物区系成分中，喜马拉雅-横断山区型占到 29.1%，明显高于华南区，因此划为西南区。

(3)张荣祖(2011)方案中，蒙新区东部草原亚区和西部荒漠亚区的分界约在二连浩特-银川一线；而本方案东部草原亚区和西部荒漠亚区的分界约在贺兰山-乌海-狼山一线，比前者平均西移约 100 km。理由如下：贺兰山一线是我国 200 mm 等降水量线，也是我国温带草原和荒漠的分界线；典型荒漠物种如新疆漠虎(*Alsophylax przewalskii*)、白尾地鸦(*Podoces biddolphi*)、野双峰驼(*Camelus ferus*)只分布于贺兰山一线以西，而典型草原物种如布氏田鼠(*Lasiopodomys brandtii*)、草原鼯鼠(*Myospalax aspalax*)等主要分布于此线以东。

(4)张荣祖(2011)方案中，羌塘高原亚区与青海藏南亚区的分界约在布尔汗布达山-玛多-玉树-那曲-冈底斯山一线，而本方案则约在布尔汗布达山-扎陵湖-曲麻莱-巴青-冈底斯山一线。偏移区域主要是通天河河谷地区，该区域 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温较高，动物区系成分以高地型和喜马拉雅-横断山区型为主，且二者比重均衡，更接近于青海藏南亚区的动物区系成分，因此划为青海藏南亚区。

此外，已有的中国动物地理区划中(张荣祖, 2011)，最小的区划单元为“地理省”，其平均面积为 $175,800 \text{ km}^2$ (5%: $13,347 \text{ km}^2$; 95%: $383,323 \text{ km}^2$)，难以满足我国野生动物资源调查和保护管理的需

要。解焱等所提出的我国生物地理区划方案共划分了 124 个地理单元, 但是其区划选择的类群为 171 种兽类和 509 种植物(解焱, 2000; 解焱等, 2002; Xie et al, 2004), 且其区划系统与已被我国广泛接受的区划系统差异较大, 在生产实践中应用时容易产生困惑。本研究在已有的 2 界 7 区 19 亚区 54 个地理省的区划系统基础上, 增加了生态地理单元和调查单元的划分, 既能较好地衔接已有的区划成果, 也满足了我国野生动物保护实践的需要。

3.2 古北界与东洋界分界

按照现代陆栖脊椎动物的研究, 我国陆地动物区系分属于古北界和东洋界两界(Wallace, 1876; Hoffmann, 2001; Kreft & Jetz, 2010)。但关于两界的分界线尚存在许多争议。其中关于古北界和东洋界在我国东部地区的分界线有 19 种意见(Hoffmann, 2001; 张荣祖, 2011)。在这些意见中, 最北的界线超过 40° N, 最南的可至 20° N, 两者之间的距离超过 2,000 km (He et al, 2017)。张荣祖(2011)认为, 古北界和东洋界的分界在我国东部地区为一广泛的过渡地带, 并把秦岭—淮河一线作为其分界线。我们的结果也表明: 在秦岭—淮河以南, 动物以东洋型、南中国型区系成分为主; 在秦岭—淮河以北, 动物以古北型和东北型区系成分为主。这个结果与张荣祖(2011)区划方案一致。此外, 很多地理区划和生态区划都以秦岭—淮河一线作为南北分界(罗开富, 1954; 黄秉维, 1958; 赵松乔, 1983; 任美镠, 1999; 郑度, 2008), 体现了此界限作为地理屏障的阻隔作用。

在我国西部地区, 古北界和东洋界的分界线穿过横断山区, 但由于横断山区南北纵列的山脉—峡谷地貌, 明显形成了两界动物区系相互交流的通道。在海拔较高的地方, 有不少古北界的种类沿山脊向南伸展, 而不少热带种类则沿河谷向北分布, 使该地区两界动物成分混杂。因此, 关于古北界和东洋界在我国西部地区的分界, 也有一些不同意见(Chen et al, 2008; 张荣祖, 2011)。张荣祖(2011)认为, 鉴于横断山区复杂的三维空间变化, 古北界和东洋界的确切界线不易确定, 因此, 在其区划方案中暂以虚线表示。我们的结果显示, 古北界和东洋界在横断山区的分界虽然难以用水平方向上的界线表达, 但在垂直方向上仍然可以找到其分界: 海拔 3,500–4,000 m 的区间是两大动物区系的分水岭。这个结果与龚正达等(1999)对云南苍山蚤类分布研

究(2,900–3,300 m), 孙治宇等(2007)对四川海子山大中型兽类分布研究(3,800–4,400 m), 以及涂飞云等(2012)对四川夹金山小型兽类分布研究(3,600 m)的结论相似。

3.3 不足

由于动物分布数据的不足以及区划方法的局限性, 采用定量化方法进行动物地理区划依然存在许多问题(He et al, 2017)。第一, 由于缺少调查等原因, 在物种分布数据库中, 部分地区的物种记录仍然偏少, 这可能引起区划过程中的随机误差和系统误差(Lennon et al, 2001; Kreft & Jetz, 2010)。第二, 随着物种系统发育研究不断深入, 在区划中融入物种系统发育信息成为可能(Holt et al, 2013), 但由于不同类群间物种系统发育信息的精度和分化时间的不足, 本区划尚未将其考虑在内。第三, 仅仅根据物种分布型比例的聚类结果, 没有明显识别出东北区、华北区和蒙新区(除内蒙古高原外), 可能是由于古北型物种在我国北方地区分布广泛, 且数量较多所致。第四, 由于我国地域广阔, 各地区动物组成差异大, 尤其热带(亚热带)及山地地区的动物组成差异大于温带及平原地区, 在统一系统聚类树里划定若干个群集(生态地理单元)显得尤为困难。因此, 在划分地理省及以下单元时, 我们采取在各个亚区之下进行聚类的方法划定生态地理单元, 但这可能造成各个亚区的生态地理单元层级差异不一致。

4 结论

该区划在前人动物地理区划的基础上, 将全国划分为 5 km × 5 km 的网格, 对各网格动物分布型比例及环境因子进行聚类分析, 根据聚类结果进行了动物地理区划, 并对各区划界线进行了精细化制图。与张荣祖(2011)区划方案相比, 该区划从生态生物地理学的角度, 根据各动物地理省内动物生态成分的差异, 划分了生态地理单元, 并结合野生动物调查及管理实际, 增加了调查单元, 以满足野生动物保护管理需要。

致谢: 国家林业局保护司、国家林业局调查规划设计院、华南师范大学对本次区划工作给予了大力支持; 张荣祖先生对区划思路、区划方案和具体方法均进行了悉心指导, 提供了大量资料, 并对区划方

案修改提出了建设性意见; 黑龙江省野生动物研究所、西北濒危动物研究所、中国科学院昆明动物研究所、四川省林业厅、云南省林业厅等单位专门组织专家会议, 对区划方案草案进行了研讨; 许多专家, 如: 胡锦矗、冯祚建、王应祥、杨大同、杨岚、韩联宪、江望高、蒋学龙、李保国、李迪强、李林、刘少英、刘洋、隆廷伦、庆宁、饶定齐、苏化龙、吴诗宝、吴毅、杨晓君、袁施彬、赵晓东、张明海、张泽均、赵文阁、钟立成等对区划方案提出了宝贵意见或提供了大量第一手资料; 各省、自治区、直辖市野生动物主管部门均结合当地实际, 提出修改意见或建议; 区划方案形成后, 马建章、郑光美、张荣祖、冯祚建、蒋志刚、张正旺、李保国、杨奇森、杨晓君、周立志、吴孝兵、钟立成等专家进行了评审, 并提出了宝贵的意见或建议。在此一并致以衷心感谢。

参考文献

- Chen L, Song Y, Xu S (2008) The boundary of palaeartic and oriental realms in western China. *Progress in Natural Science*, 18, 833–841.
- De Klerk H, Crowe T, Fjeldså J, Burgess ND (2002) Biogeographical patterns of endemic terrestrial Afrotropical birds. *Diversity and Distributions*, 8, 147–162.
- Fattorini S (2015) On the concept of chorotype. *Journal of Biogeography*, 42, 2246–2251.
- Fattorini S (2016) A history of chorological categories. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 38, 12. <https://doi.org/10.1007/s40656-016-0114-1> (accessed on 2017-04-25)
- Fei L, Hu SQ, Ye CY, Huang YZ (2006) *Fauna Sinica (Amphibia 1): General Accounts of Amphibia, Gymnophiona and Urodela*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 黄永昭 (2006) 中国动物志·两栖纲·上卷: 总论, 蚓螈目, 有尾目. 科学出版社, 北京.]
- Fei L, Hu SQ, Ye CY, Huang YZ (2009a) *Fauna Sinica (Amphibia 2): Anura*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 黄永昭 (2009a) 中国动物志·两栖纲·中卷: 无尾目. 科学出版社, 北京.]
- Fei L, Hu SQ, Ye CY, Huang YZ (2009b) *Fauna Sinica (Amphibia 3): Anura, Ranidae*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 黄永昭 (2009b) 中国动物志·两栖纲·下卷: 无尾目, 蛙科. 科学出版社, 北京.]
- Feng JM, Zhu YY (2010) On the genera of seed plants endemic to China in Yunnan. *Ecology and Environmental Sciences*, 19, 621–625. (in Chinese with English abstract) [冯建孟, 朱有勇 (2010) 云南地区中国种子植物特有属的研究. 生态环境学报, 19, 621–625.]
- Gao EH, Wang ZC, Wang WS, Chen DF, Ma GQ, Tang XP (2014) Technical plan for the second national survey of terrestrial wildlife in China. *Chinese Journal of Wildlife*, 35, 238–240. (in Chinese with English abstract) [郜二虎, 王志臣, 王维胜, 陈涤非, 马国青, 唐小平 (2014) 全国第二次陆生野生动物资源调查总体思路. 野生动物学报, 35, 238–240.]
- Gong ZD, Duan XD, Feng XG, Wu HY, Liu Q (1999) The fauna and ecology of fleas in Cangshan Mountain and Erhai Lake Nature Reserve, Dali. *Zoological Research*, 20, 451–456. (in Chinese with English abstract) [龚正达, 段兴德, 冯锡光, 吴厚永, 刘泉 (1999) 大理苍山洱海自然保护区山地蚤类区系与生态的研究. 动物学研究, 20, 451–456.]
- He J, Kreft H, Gao E, Wang Z, Jiang H (2017) Patterns and drivers of zoogeographical regions of terrestrial vertebrates in China. *Journal of Biogeography*, 44, 1172–1184.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- Hoffmann RS (2001) The southern boundary of the Palaearctic realm in China and adjacent countries. *Acta Zoologica Sinica*, 47, 121–131.
- Holt BG, Lessard JP, Borregaard MK, Fritz SA, Araújo MB, Dimitrov D, Fabre PH, Graham CH, Graves GR, Jönsson KA, Nogués-Bravo D, Wang Z, Whittaker RJ, Fjeldså J, Rahbek C (2013) An update of Wallace's zoogeographic regions of the world. *Science*, 339, 74–78.
- Huang BW (1958) A preliminary draft of comprehensive physical regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 24, 348–365. (in Chinese) [黄秉维 (1958) 中国综合自然区划的初步草案. 地理学报, 24, 348–365.]
- Kreft H, Jetz W (2010) A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *Journal of Biogeography*, 37, 2029–2053.
- Lennon JJ, Koleff P, Greenwood J, Gaston KJ (2001) The geographical structure of British bird distributions: diversity, spatial turnover and scale. *Journal of Animal Ecology*, 70, 966–979.
- Li XC (2000) Multivariate analysis on zoogeographical division. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 30, 265–267. (in Chinese with English abstract) [李晓晨 (2000) 动物地理区划的聚类分析. 西北大学学报(自然科学版), 30, 265–267.]
- Luo KF (1954) Draft of natural geography regionalization of China. *Acta Geographica Sinica*, 20, 379–394. (in Chinese) [罗开富 (1954) 中国自然地理分区草案. 地理学报, 20, 379–394.]
- Passalacqua NG (2015) On the definition of element, chorotype and component in biogeography. *Journal of Biogeography*,

- 42, 611–618.
- Ren ME (1999) Outline of China's Physical Geography, 3rd edn. The Commercial Press, Beijing. (in Chinese) [任美镛 (1999) 中国自然地理纲要(第三版). 商务印书馆, 北京.]
- Rueda M, Rodríguez MÁ, Hawkins BA (2013) Identifying global zoogeographical regions: lessons from Wallace. *Journal of Biogeography*, 40, 2215–2225.
- Rondinini C, Di Marco M, Chiozza F, Santulli G, Baisero D, Visconti P, Hoffmann M, Schipper J, Stuart SN, Tognelli MF, Amori G, Falcucci A, Maiorano L, Boitani L (2011) Global habitat suitability models of terrestrial mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 2633–2641.
- Shou ZH (1955) The distribution of fur-bearing mammals in China. *Acta Geographica Sinica*, 21, 405–421. (in Chinese with English abstract) [寿振黄 (1955) 中国毛皮兽的分布. *地理学报*, 21, 405–421.]
- Sun ZY, Liu SY, Liu Y, Zhao J, Xu MY, Ni G, Yang ZH (2007) Diversity of large and medium sized mammals in the Haizishan Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Theriologica Sinica*, 27, 274–279. (in Chinese with English abstract) [孙治宇, 刘少英, 刘洋, 赵杰, 徐明友, 倪刚, 杨执衡 (2007) 四川海子山自然保护区大中型兽类多样性调查. *兽类学报*, 27, 274–279.]
- Tian HZ, Dong QY, Li HQ (2013) Comparison of Orchidaceae flora in 38 regions of China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 33, 808–823. (in Chinese with English abstract) [田怀珍, 董全英, 李宏庆 (2013) 中国38个地区兰科植物区系成分的比较分析. *西北植物学报*, 33, 808–823.]
- Tu FY, Tang MK, Liu Y, Sun ZY, Zhang XY, Yue BS, Liu SY (2012) Fauna and species diversity of small mammals in Jiajin Mountains, Sichuan Province, China. *Acta Theriologica Sinica*, 32, 287–296. (in Chinese with English abstract) [涂飞云, 唐明坤, 刘洋, 孙治宇, 张修月, 岳碧松, 刘少英 (2012) 四川夹金山小型兽类区系及多样性. *兽类学报*, 32, 287–296.]
- Wallace AR (1876) *The Geographical Distribution of Animals*. Harper & Brothers, New York.
- Wang YX (2003) *A Complete Checklist of Mammal Species and Subspecies in China: A Taxonomic and Geographic Reference*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [王应祥 (2003) 中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全. 中国林业出版社, 北京.]
- Xiang Z, Liang X, Huo S, Ma S (2004) Quantitative analysis of land mammal zoogeographical regions in China and adjacent regions. *Zoological Studies*, 43, 142–160.
- Xie Y (2000) Study on Bio-geographical Divisions of China. PhD dissertation, Institute of Animal, Chinese Academy of Sciences, Beijing. (in Chinese with English abstract) [解焱 (2000) 中国生物地理区划研究. 博士学位论文, 中国科学院动物研究所, 北京.]
- Xie Y, Li DM, MacKinnon J (2002) Preliminary researches on bio-geographical divisions of China. *Acta Ecologica Sinica*, 22, 1599–1615. (in Chinese with English abstract) [解焱, 李典谟, John MacKinnon (2002) 中国生物地理区划研究. *生态学报*, 22, 1599–1615.]
- Xie Y, MacKinnon J, Li DM (2004) Study on biogeographical divisions of China. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1391–1417.
- Xing Y, Zhou L, Zhang Y, Wang X (2008) Geographical patterns based on faunal types of breeding birds and mammals in China. *Integrative Zoology*, 3, 280–289.
- Zhang MW, Zong Y, Ma JF (1998) *Fauna Sinica (Reptilia 1): General Accounts of Reptilia, Testudiformes and Crocodyliformes*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张孟闻, 宗愉, 马积藩 (1998) 中国动物志·爬行纲·第一卷: 总论, 龟鳖目, 鳄形目. 科学出版社, 北京.]
- Zhang RZ (2011) *China Animal Geography*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张荣祖 (2011) 中国动物地理. 科学出版社, 北京.]
- Zhang XS (2007) *Vegetation Map of the People's Republic of China (1:1,000,000)*. Geological Publishing House, Beijing. (in Chinese) [张新时 (2007) 中华人民共和国植被图 (1:1,000,000). 地质出版社, 北京.]
- Zhang YY, Zhou LZ, Wang QS, Wang XJ, Xing YJ (2008) Distribution pattern and hotspot analysis of breeding birds in Anhui Province. *Biodiversity Science*, 16, 305–312. (in Chinese with English abstract) [张有瑜, 周立志, 王岐山, 王新建, 邢雅俊 (2008) 安徽省繁殖鸟类分布格局和热点区分析. *生物多样性*, 16, 305–312.]
- Zhao EM, Huang MH, Zong Y (1998) *Fauna Sinica (Reptilia 3): Squamata (Serpentes)*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [赵尔宓, 黄美华, 宗愉 (1998) 中国动物志·爬行纲·第三卷: 有鳞目, 蛇亚目. 科学出版社, 北京.]
- Zhao EM, Zhao KT, Zhou KY (1999) *Fauna Sinica (Reptilia 2): Squamata (Lacertilia)*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [赵尔宓, 赵肯堂, 周开亚 (1999) 中国动物志·爬行纲·第二卷: 有鳞目, 蜥蜴亚目. 科学出版社, 北京.]
- Zhao SQ (1983) A new scheme for comprehensive physical-geographical regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 38, 1–10. (in Chinese with English abstract) [赵松乔 (1983) 中国综合自然地理区划的一个新方案. *地理学报*, 38, 1–10.]
- Zheng D (2008) *China's Ecogeographical Regionalization Research*. The Commercial Press, Beijing. (in Chinese) [郑度 (2008) 中国生态地理区域系统研究. 商务印书馆, 北京.]
- Zheng GM (2011) *A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China, 2nd edn*. Science Press, Beijing. [郑光美 (2011) 中国鸟类分类与分布名录(第二版). 科学出版社, 北京.]
- Zheng ZX, Zhang RZ (1959) China animal geographical regionalization. In: *China Animal Geographical Regionalization and China Insects Geographical Regionalization (draft)* (ed.

Committee of Natural Regionalization of Chinese Academy of Sciences), pp. 1–66. Science Press, Beijing. (in Chinese)
[郑作新, 张荣祖 (1959) 中国动物地理区划. 见: 中国动物地理区划与中国昆虫地理区划(初稿) (中国科学院自然

区划工作委员会编), 1–66页. 科学出版社, 北京.]

(责任编辑: 江建平 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 用于区划的物种分布参考文献

Appendix 1 References about species distribution for regionalization
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-1.pdf>

附录2 未用于区划的物种数量

Appendix 2 Number of species not involved in the regionalization
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-2.pdf>

附录3 用于区划的物种数量

Appendix 3 Number of species involved in the regionalization
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-3.pdf>

附录4 物种适生栖息地模型示意图

Appendix 4 Framework of the habitat suitability models
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-4.pdf>

附录5 用于区划的物种名录及分布型

Appendix 5 Checklist of species involved in the regionalization and their chorotypes
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-5.pdf>

附录6 分布型代码

Appendix 6 Code of chorotype
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-6.pdf>

附录7 环境指标及数据来源

Appendix 7 Environmental index and data resources
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-7.pdf>

附录8 全国陆生野生动物调查单元区划表

Appendix 8 Table of zoogeographical regions of China for terrestrial wildlife survey
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017135-8.pdf>