

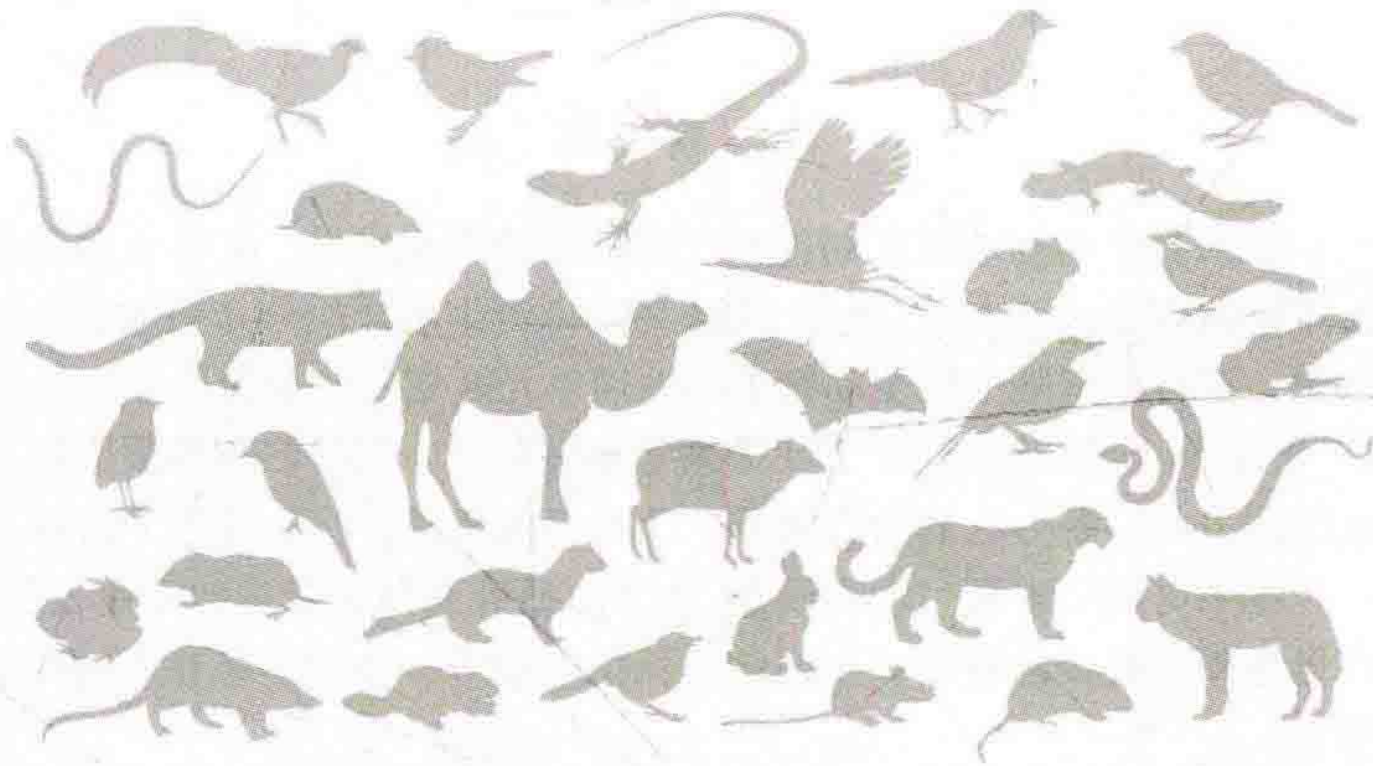
全国第二次陆生野生动物资源调查成果

中国陆生野生动物生态地理 区划研究

何杰坤 郜二虎 等 著

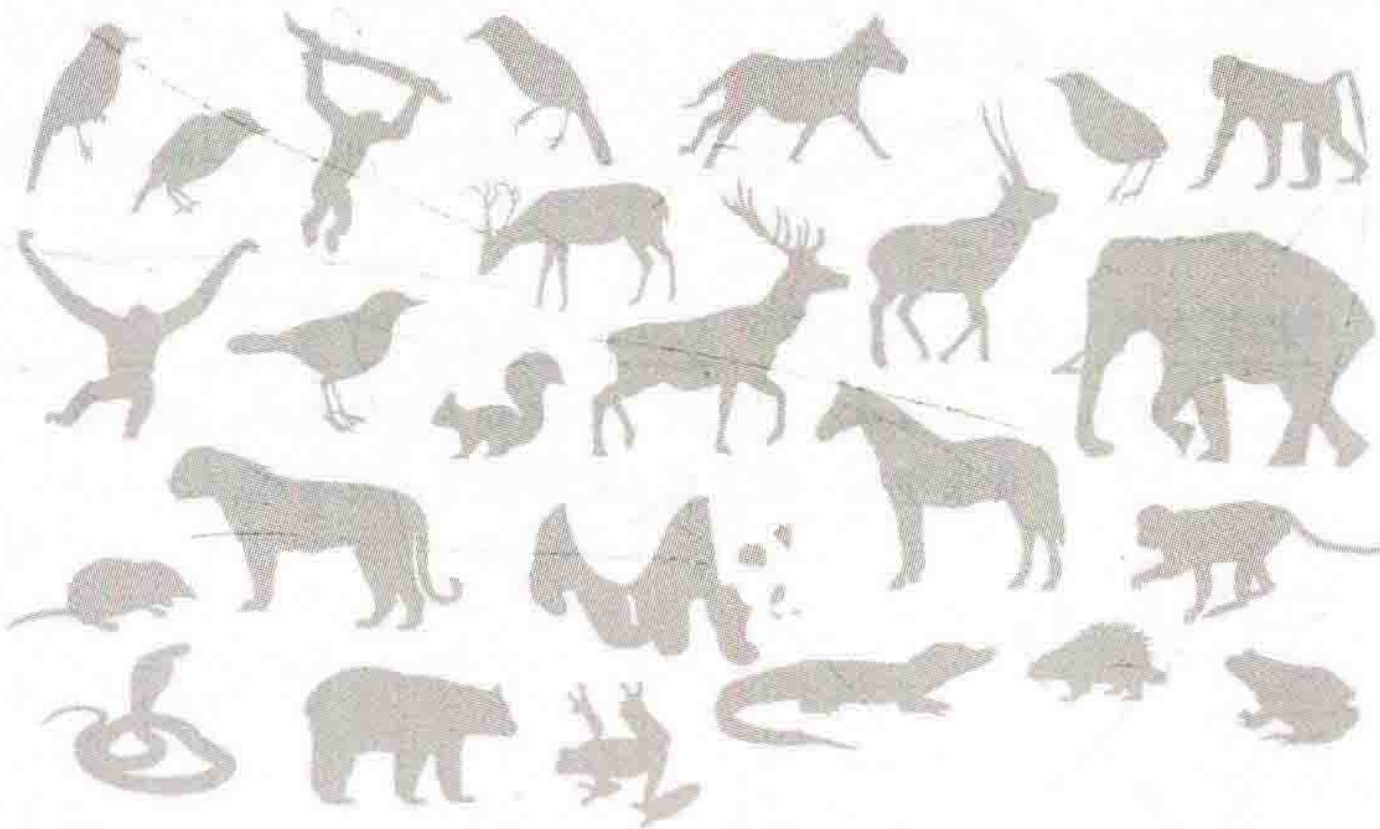
 科学出版社

全国第二次陆生野生动物资源调查成果



中国陆生野生动物生态地理 区划研究

何杰坤 郜二虎 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书基于动物地理区划理论、动物资源调查成果,结合地理信息系统及生物地理学统计方法,根据 1784 种陆生野生动物的分布信息和自然环境数据,进行全国陆生野生动物生态地理单元区划,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,对各区划界限进行了精细化制图,并对各分区的生态因子、动物组成及保护状况进行了描述。

本书可供从事野生动物调查、监测、研究和保护管理的专业人员使用,也可为高等院校动物学、生态学、保护生物学、地理学等专业的师生提供参考。

审图号: GS (2018) 2908 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国陆生野生动物生态地理区划研究 / 何杰坤等著. —北京: 科学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-03-051775-3

I. ①中… II. ①何… III. ①野生动物-自然区划-研究-中国
IV. ①Q958.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 077993 号

责任编辑: 郭勇斌 彭婧煜 欧晓娟 / 责任校对: 彭 涛
责任印制: 张克忠 / 封面设计: 黄华斌

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天津市新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行



2018 年 7 月第 一 版

2018 年 7 月第一次印刷

印张: 1
字数: 448 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书编写组

何杰坤	郜二虎	徐 扬
王志臣	林思亮	唐小平
尹茂国	马广智	江海声

序 一

动物地理学历史悠久，是一个既古老又具有强大生命力的学科。英国博物学家华莱士发表于 1876 年的《动物地理分布》标志着动物地理学走向成熟。我国动物地理研究起步于 20 世纪中期，50 年代我与郑作新先生将中国动物地理划分为 7 区 16 亚区，70 年代末修订为 7 区 19 亚区。到 20 世纪末，我总结了当时动物地理研究的最新成果，将我国动物地理区划分为 2 界 7 区 19 亚区和 54 个动物地理省。

动物地理研究从动物与地史事件的时空关系探讨动物的发生及演化，从动物与生态环境的关联把握动物对环境的响应。动物地理学研究为进化论思想的形成做出了极大贡献，它推动了现代动物学的发展，是生态学的重要基础之一。动物地理研究成果广泛应用于农业、林业和流行病学等方面，也是当今保护生物学的重要基础。

我国以往的动物地理区划成果较好地反映了我国动物的时空分布格局，反映了它们与我国地史事件的关系。但是，由于相关资料的不足及技术手段的限制，在动物对生态环境的响应方面难以深入分析。在我研究动物地理数十载已过耄耋之年的今天，看到《中国陆生野生动物生态地理区划研究》即将出版，甚是欣慰。该书基于我国已有的动物地理区划研究和近年来动物资源调查成果，结合迅猛发展的地理信息系统、现代统计学和数学建模技术，分析我国动物分布与各生态要素的关系，探讨动物对生态环境的响应，对区划单元进行了进一步划分，并获得了数字化的边界，对我国动物地理区划研究是一个极大的促进。

动物地理区划是动物保护管理的重要基础，对野生动物资源调查、珍稀濒危物种保护、生态红线划定和社会经济发展具有重要意义。此区划既遵循了动物地理区划“历史发展”“生态适应”“生产实践”的基本原则，衔接了现有的动物地理区划系统，又有许多创新和发展，是对“中国动物地理区划”的继承和发扬。区划成果的应用，必将促进我国野生动物保护管理水平的提高。

随着野生动物资源调查的不断深入和现代化科学技术的发展，期待我国生物地理学研究在新时代有更大的发展，取得更多世界瞩目的科学成果。

张荣祖

2018 年 4 月

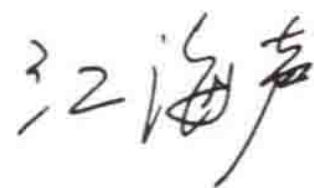
序 二

动物地理学作为一个经典学科，主要探讨动物在地球历史发展过程和生态响应作用下形成的时空分布规律。

中国位于欧亚板块的东侧，独特的地质演变过程和多样的环境梯度使中国拥有丰富的物种多样性和复杂的动物区系成分。新生代以来，青藏高原的隆起和东亚季风的形成极大地改变了欧亚大陆的地形格局和大气环流，导致中国自然环境的地域分异。在第四纪冰期，中国受气候变化的影响远比北美和欧洲等地区要小，使中国成为许多古老孑遗种的避难所。中国在纬度上跨越热带和温带，在经度上从湿润的森林过渡到干旱的戈壁沙漠，在海拔上从太平洋沿岸到珠穆朗玛峰，形成多样的环境梯度并孕育着各异的生态系统。时间和空间上的环境异质性，使中国成为验证大尺度物种分布格局假说的天然实验室，也使得这里成为全球动物地理区划中最受关注的地区之一。

中国动物地理研究发端于 20 世纪 30 年代，在 50 年代后引起大家的广泛关注并取得众多的研究成果。张荣祖先生 1999 年由科学出版社出版的《中国动物地理》是这些研究的集大成者，至今被广泛接受和沿用。本书在张荣祖先生区划方案的基础上，进一步细化“生态地理单元”，绘制了各单元的数字边界。本书的方案衔接了我国已有的动物地理区划系统，避免不同方案对同一客体描述的不一致，为全国野生动物调查、保护和管理提供了很好的空间框架和参考。本书的出版既是对前人相关研究的钻研学习，也是承接和发展。

动物地理区划反映了动物分布的空间格局，这种空间格局是动物受历史地质和生态过程影响的结果。当今，我国动物地理研究蓬勃发展，特别是分子生物学技术、生物地理统计方法和地理信息系统等新技术的运用，极大地推动了动物地理研究迈向定量的实证演绎阶段。何杰坤攻读博士期间开启了他的动物地理研究历程。他师从孙儒泳先生，近几年，虽然孙先生身体有恙，难以照顾，但他仍刻苦学习、认真钻研，不辱先生教诲。我有幸协助孙先生参与何杰坤的培养工作，看到他作为年轻人对相关工作的关注和坚持。本书出版之际，赘述几句，以表心意。



2018 年 4 月

前 言

动物地理区的划分,可以了解不同动物区系的起源及其关系,由此探讨物种的时空分布变化规律。动物地理区划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等的研究提供了空间框架,而且在保护生物学方面具有广泛的应用。动物地理区划是动物保护管理的重要基础,对野生动物资源监测、珍稀濒危物种保护、生态红线划定和经济社会发展具有重要意义。

我国陆生脊椎动物地理区划始于 20 世纪 50 年代,郑作新(1950, 1956)和寿振黄(1955)等根据鸟类和兽类的区系组成差异将中国划分为不同的动物地理区。后经张荣祖(1978, 1998)多次修改,将“中国动物地理区划(草案)”修订为 2 界 7 区 19 亚区 54 个动物地理省。该区划方案是我国生物地理学研究和野生动物保护管理的重要基础,得到了广泛应用。

张荣祖(1978, 1998)以我国地史过程和大尺度生态环境为基础开展“中国动物地理区划”的过程中,各省份也不同程度地开展了动物地理区划。但是由于区划方法和标准的不一致,各地的区划方案难以放进一个系统形成整体的全国动物地理区划方案。全国各地动物、植物(被)、土地利用等基础调查数据的不断完善,计算机技术和数理统计方法的发展,陆域生态监测信息精度的提高,使全国性中、小尺度的动物生态地理区划成为可能,并能更好地反映小区域内动物对生态环境的响应。建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计,野生动物保护管理、生态系统保护修复、生态廊道构建、生态红线划定、自然保护地体系建设等都急需既反映地史过程又反映生态差异的全国动物生态地理区划。

为满足现阶段陆生野生动物保护管理的需要,尤其是全国第二次陆生野生动物资源调查的要求,国家林业和草原局野生动植物保护与自然保护区管理司委托我们开展全国陆生野生动物生态地理单元区划。本区划遵循动物地理区划的基本原则及原理,根据张荣祖先生总结的中国陆生脊椎动物分布型系统,在“中国动物地理区划”的 2 界 7 区 19 亚区 54 个动物地理省的基础上,结合新的区划方法及技术,进一步细化为 239 个生态地理单元 310 个调查单元,绘制了各单元的数字化边界,并描述了各生态地理单元的生态因子、动物组成及保护现状。

本区划是对中国陆生脊椎动物定量化区划的一次尝试,也是结合历史生物地理学和生态生物地理学区划方法的一次尝试。国家林业和草原局调查规划设计院和华南师范大学作为区划的主持单位,在区划条件和基础资料等各方面给予了大力支持,有关领导进行了大量组织协调工作。张荣祖先生在开展区划前就对本区划思路、提纲和方法等给予无私的指导,并自始至终对区划工作给予大力支持,提出了许多中肯的意见,为本区划的完成提供了重要的保障。在区划方案初稿形成后,我们征求了部分省市野生动物主管部门及中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院动物研究所、中国林业科学研究院、东北林业大学、哈尔滨师范大学、黑龙江省野生动物研究所、陕西省动物研究所、西北大学、中国科学院昆明动物研究所、云南大学、中南林业科技大学、四川省林业科学研究院、西华师范

大学、广州大学和华南师范大学等科研院所、高校相关专家的意见，得到了张荣祖、胡锦涛、冯祚建、王应祥、杨大同、杨岚等老一辈先生及韩联宪、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、张明海、张泽均、赵文阁、钟立成等教授及专家学者的热情指导，有关单位和专家在充分肯定区划方案的基础上提出了中肯的修改意见并提供大量的第一手资料。我们在广泛听取意见后对区划方案进行了认真修改，最终形成全国陆生野生动物生态地理单元区划方案。

区划方案完成后，国家林业和草原局野生动植物保护与自然保护管理司在北京组织召开评审会，对区划方案及文本进行了评审。东北林业大学马建章院士、北京师范大学郑光美院士、中国科学院地理科学与资源研究所张荣祖先生、中国科学院动物研究所冯祚建先生和杨奇森研究员、中国科学院昆明动物研究所杨晓君研究员、西北大学李保国教授、安徽大学周立志教授、安徽师范大学吴孝兵教授、黑龙江省野生动物研究所钟立成研究员等参加了会议并提出许多宝贵的意见及建议，对本书的形成和完善发挥了重要作用。

在本书“生态地理单元”区划的基础上，为方便各省野生动物资源调查及管理，主要依据行政省边界进行切割划分，可形成全国陆生野生动物资源调查的调查单元。因此，本书主要讨论了“生态地理单元”，而没有对“调查单元”进行讨论。

动物地理区划工作十分复杂，涉及动物学、地理学、生态学、地理信息系统等学科，囿于我们水平有限、时间仓促，书中难免存在不足，敬请批评指正。

目 录

序一	
序二	
前言	
第一章 绪论	1
一、动物地理区划概述	1
二、动物地理区划研究历史	2
三、动物地理区划研究方法进展	6
第二章 原理及方法	10
一、区划原则	10
二、区划原理	10
三、区划指标	11
四、区划方法	15
五、区划系统及命名	17
第三章 区划结果	18
一、界、区总述	18
二、东北区 (I 1)	28
三、华北区 (I 2)	61
四、蒙新区 (I 3)	87
五、青藏区 (I 4)	130
六、西南区 (II 5)	160
七、华中区 (II 6)	185
八、华南区 (II 7)	222
结语	270
参考文献	272
附录 1 中国陆生野生动物生态地理单元区划表	279
附录 2 各生态地理单元环境特点及主要动物群	286
附录 3 中国陆生野生动物生态地理单元区划图	299

第一章 绪 论

一、动物地理区划概述

动物地理区是历史发展过程中形成并在现代生态条件下聚集在一定地域的动物集合 (Nelson, 1978; Morrone, 2015; Kreft et al., 2010), 是各地动物对地质历史过程及现今生态环境适应的结果。生物地理学之父阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士 (Alfred Russel Wallace) 在 1876 年提出了全球动物地理区划方案, 并在此基础上分析物种的时空分布规律, 探讨不同动物区系的起源、发生及分化机制。他根据生物地理学上的发现, 与达尔文共同创建了“进化论”。直到今天, 华莱士发表的全球动物地理区划图一直是人们理解全球动物地理分布格局及分异过程的基础之一。

中国现代动物区系的分布格局与新生代以来的自然环境变化密切相关 (Qiu et al., 2005)。中国位于欧亚板块的东侧, 由于青藏高原的抬升极大地改变了欧亚板块的地形格局和大气环流系统 (Zhang et al., 2000), 中国西北部地区逐渐变得干旱及荒漠化, 东南部和西南部受印度洋和太平洋季风的影响逐渐变得湿润, 青藏高原地区形成高寒干燥的环境, 动物的分布也随环境发生分异而逐渐形成现代动物区系 (邱铸鼎等, 2004)。第四纪冰期期间, 中国受气候变化的影响较小 (Sandel et al., 2011), 使中国广阔的东部地区形成冰川期动物的避难所 (Nogues-Bravo et al., 2010; 张荣祖, 2011), 保留了许多古老的特有种; 同时也存有多个物种分化中心 (Lei et al., 2003; Fritz et al., 2012), 分布着大量的特化物种。

在现代自然环境方面, 中国在纬度上跨越赤道热带到寒温带等 9 个温度带 (郑度, 2008), 经度上跨越湿润区到干旱区等 4 个干湿地区, 海拔上从太平洋西岸滨海到“世界屋脊”青藏高原及世界最高峰珠穆朗玛峰, 形成多样的环境梯度。受自然环境影响, 中国东南及西南部地区分布着喜湿、喜热的动物, 西北地区分布着耐旱动物, 青藏地区分布着耐寒动物。中国独特的自然环境演变历史和多样的环境梯度使区内形成了丰富的物种多样性和复杂的动物区系。

现代中国陆生脊椎动物的多样性分布呈现纬度梯度格局, 热带和亚热带是物种多样性最为丰富的热点地区 (雷富民等, 2002; 林鑫等, 2009), 如海南中南部、台湾中部、滇南地区、横断山区及秦岭地区等。不同类群间物种多样性的热点地区分布格局有所差异, 其分布大体受气候 (张荣祖, 1999)、植被 (林鑫等, 2009) 和地形 (Zhao et al., 2006) 等因素的影响。动物地理区划通过分析动物的现今分布格局以追溯及探讨动物起源发生及演变过程, 其对探索生物多样性的起源、发展及维持机制具有重要的意义, 对保护生物多样性的进化潜力具有重要的科学价值。

由于中国疆域辽阔, 横跨古北界和东洋界, 区内地形、气候条件复杂, 物种区系及多样性丰富, 因此中国被认为是验证大尺度物种分布格局假说的天然实验室 (Wang et al., 2012)。此外, 中国地质历史特殊、动物区系复杂, 使这里成为全球动物地理区划中最具

争议的地区之一 (Wallace, 1876; Smith, 1983a, 1983b; Cox, 2001; Kreft et al., 2010; Holt et al., 2013)。中国动物地理区划研究不仅可为以往研究的争论提供重要线索, 也可以为中国的野生动物保护提供系统保护规划的框架及思路。

我国的动物地理区划研究始于 20 世纪 50 年代。由于全国各地动物区系调查资料缺乏, 区域间调查强度不平衡等, 过去关于我国动物区系格局及其分布规律方面的研究有限, 动物地理区划的方案也主要依靠专家知识、经验或者是以特征种、指示种分布作为主要依据。此外, 区划方案的“动物地理省”内动物生态成分(如动物栖息地)差异仍较大, 区划界线精度不足, 给省级尺度的生产实践带来诸多困难(郜二虎等, 2017)。全国各地动物区系调查成果的不断补充和更新, 计算机技术和数理统计方法的发展, 陆域生态监测研究信息的完善、精度的提高, 全国及不同区域的动物区系格局及其分布规律研究的不断深入, 使利用定量化的数据分析结果进行全国性中、小尺度的动物生态地理区划成为可能(张荣祖, 2012)。本次动物地理区划, 是以全国第二次陆生野生动物调查作为契机, 在遵循自然规律、遵从动物分布规律的前提下, 在张荣祖先生区划方案的基础上, 对全国野生动物调查单元进行进一步的划分。

因此, 本书研究的目的是在张荣祖(2011)区划方案的基础上, 对区划方案的边界进行细化并增加“生态地理单元”的区划单位, 使其服务全国第二次陆生野生动物资源调查及全国的动物保护管理(郜二虎等, 2017)。具体的内容包括: ①在前人区划方案(郑作新等, 1956; 张荣祖, 1999; 张荣祖, 2011)的基础上, 结合定量化的陆域生态数据集(气候、植被和动物等)对区划界线进行精细化制图; ②在前人区划方案的基础上, 从生态生物地理学的角度, 根据“动物地理省”内动物栖息地的差异, 增加“生态地理单元”的区划单位。

二、动物地理区划研究历史

动物地理区划, 可以了解不同动物区系的起源及其关系, 由此探讨物种的时空分布规律。其在生物地理学、进化生态学和保护生物学等领域得到广泛的研究和应用(Morrone, 2008; Kreft et al., 2010)。在过去几十年, 随着物种信息的完善、系统发育研究的深入及多元统计算法的革新(Kreft et al., 2010; Holt et al., 2013; Vilhena et al., 2015), 动物地理区划研究得到了快速的发展。目前, 动物地理区划的研究范围已从区域尺度覆盖到全球尺度, 研究对象由无脊椎动物到脊椎动物, 从物种水平延伸至分子水平(Rueda et al., 2010; Kreft et al., 2010; Linder et al., 2012; Procheş et al., 2012; Rueda et al., 2013; Holt et al., 2013; Ribeiro et al., 2014), 这都展示了这一学科持续的生命力(Beck, 2013)。

1. 世界动物地理区划

20 世纪以前, 是动物地理区划理论的创立时期及区划研究的初级阶段。基于物种分布的生物地理区划研究最早可追溯到 18 世纪, 博物学家开始描述全球的植被地带性及其与气候、植物和动物分布的关系(Buffon, 1761; von Humboldt, 1806; de Candolle, 1820; Engler, 1879)。第一次基于动物区系相似性的全球动物地理区划是 Sclater (1858)

关于鸟类的全球区划,他根据全球雀形目鸟类分布的研究,将全球分为6界,并为其赋予了动物地理区经典的名称(Sclater, 1858)。Günther (1858) 基于 Sclater 的区划方案,根据对全球爬行动物的整理及统计,提出全球爬行动物区划方案。Wallace 接受并修订了 Sclater 的区划方案及名称,并提出划分东洋界和澳洲界的“华莱士线”(Wallace's line)。他在 1876 年出版的《动物地理分布》(*The Geographic Distribution of Animals*) 被认为是动物地理学的奠基之作,他也被推崇为“生物地理学之父”。这个时期的动物地理研究主要受进化论思想及起源中心学说的影响。由于当时大家普遍认为地球表面是固定不动的,所以生物地理学家们认为,物种是在起源中心发生的,但一些个体在对外扩散过程中经历自然选择而发生变异,由此形成生物地理分布及地域分异格局。例如, Darwin (1859) 认为长距离扩散是物种间断分布的主要原因, Sclater (1858) 认为 6 个动物地理界是鸟类各自的起源中心。

20 世纪是经典动物地理区划的发展时期。随着物种分类及分布信息的不断完善和生物地理统计学的应用,动物地理区划研究逐渐走向定量研究。Smith (1983a, 1983b) 根据 Wallace (1876) 划分的 24 个动物地理亚区内 115 个科的哺乳动物的分布,通过建立相似性矩阵及非线性多维标度分析(non-metric multidimensional scaling, NMDS) 等量化分析手段,把 24 亚区归并为 4 区和 10 亚区,但是这个方案与 Wallace (1876) 原始的区划方案差异较大(Whittaker et al., 2013)。在这期间,动物地理界线或者过渡区的研究引起广泛的讨论,特别是东洋界和澳洲界的界线(Mayr, 1944; Simpson, 1977; Vane-wright, 1991)、新北界和新热带界的界线(Bennett, 1966; Halffter, 1987; Ortega et al., 1998)。此外,地区性的动物地理区划工作得到了飞速发展。其中,北美洲的动物地理区划工作最为全面,研究的类群涵盖了鱼类(Rostlund, 1952)、两栖类、爬行类(Savage, 1960)和兽类(Hagmeier et al., 1964)。这个时期另外一个显著的标志是大陆漂移学说(Wegener, 1912)和板块构造学说(Dietz, 1961; Hess, 1962; Wilson, 1965)被广泛地接受(Cox, 2001)。这些学说的发展动摇了达尔文-华莱士“大陆永恒”与起源中心学说的理论基础,促进了隔离分化生物地理学(vicariance biogeography) 学派的发展。1958 年, Croizat 提出泛生物地理学(panbiogeography) 的研究方法,并批评了传统的动物区系形成的“起源中心和扩散”模式。1965 年, Henning 提出了分支系统学说,并促进了这一学说在生物地理学上的应用。Nelson 等(1981) 发表生物地理著作 *Systematics and Biogeography*, 标志着分支生物地理学(cladistic biogeography) 理论的确立。至今,隔离分化生物地理学学派已经成为历史生物地理学研究中的热点和主体(应俊生等, 2011)。

20 世纪末至今,是动物地理区划的革新时期。随着大尺度物种分布信息的完善(如 IUCN、BirdLife、GBIF),物种基因信息数据的共享(如 GenBank),地理信息系统(如 ArcGIS、PostGIS)和多元数学运算工具(如 RStudio、SAS、SPSS)的广泛应用,动物地理区划研究得到了迅猛的发展。Kreft 等(2010) 提出了生物地理区划方法的框架,并以哺乳动物为例,基于全球 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 网格内哺乳动物的分布信息,以非加权组平均法(UPGMA) 进行聚类分析,划分了 6 个全球哺乳动物地理区。Procheş 等(2012) 运用陆生脊椎动物(两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类) 分别进行聚类分析,在比较 4 个结果的异同的基础上提出全球动物地理区划方案(11 个物种丰富地理区和 3 个物种匮乏地理区),并就其区划

结果讨论各地理区的脊椎动物多样性及特有性。随着物种系统进化树的构建日趋完善 (Bininda-Emonds et al., 2007; Fritz et al., 2012; Jetz et al., 2012), Holt 等 (2013) 利用全球 2 万多种两栖类、鸟类和兽类物种在全球范围的分布及其系统发育信息进行生物地理区划。该区划以 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 网格作为最小区划单元, 以网格内所有物种的亲缘关系做系统发育 β 多样性分析 (phylogenetic beta diversity), 得到 11 个全球动物地理区。与以往的分析方法不同, 他们用两个类群在系统发育树中共有的分支数作为依据, 克服了不同类群间种、属、科中分类等级差异的问题。但因其数据精度不足、不同类群之间系统发育时间差异的不确定及聚类方法的不完备, 该方案也存在一定的争议 (Kreft et al., 2013)。Mazel 等 (2017) 结合鸟类、哺乳类的系统发育树和分布数据, 追溯了现代动物地理分异的历史, 为探讨当今动物地理分异的过程提供了全新的视角。

此外, 随着人们对生态环境问题的关注及保护管理实践的开展, 动物地理区划的目标从纯粹的基础理论探索向生产实践发展。Udvardy (1969) 基于保护实践的开展, 根据植物、动物区系及生态系统类型的差异提出全球生物地理区划方案, 把全球陆地划分为 8 界和 193 个动物地理省。Olson (2001) 根据物种及群落的分布、生态因子 (降水量、温度)、植被结构、遥感光谱、地质事件 (冰期陆桥) 等因素的综合分析, 将全球划分为 8 个生物地理界 14 个生物群系及 867 个生态区。这个阶段的动物地理区划的理论基础是生态生物地理学, 区划的主要方法是类型区划, 即从地学出发, 以动物分布的环境要素及变化为依据, 按照不同地域动物群落所处的环境差异进行地理区划。

2. 中国动物地理区划

(1) 朴素认识阶段

中国古代对动植物分布的记载很早, 《晏子春秋·杂下之十》记载了春秋时期 (公元前 770~前 476 年), 齐国上大夫晏婴面对楚王的诘问, “婴闻之: 橘生淮南则为橘, 生于淮北则为枳, 叶徒相似, 其实味不同。所以然者何? 水土异也”。同一时期的《周礼·冬官考工记》也记载了“橘逾淮而北为枳, 鸛鹑不逾济, 貉逾汶则死, 此地气然也”的论述。根据现代分类学, 虽然“橘”为柑橘属 (*Citrus*), “枳”为枳属 (*Poncirus*), 二者不为同一个属, 但说明古人对淮南和淮北生物地理差异已经有了初步的认识。公元前 500~前 300 年, 《尚书·禹贡》依据中国的河流、山脉和大海等自然分界, 把中国当时的地理疆土分为冀、兖、青、徐、扬、荆、豫、梁和雍等九州, 并对各州的山川、湖泽、土壤、植被等自然条件和特产进行了描述。这些划分具有明显的地理学意义, 带有自然地理区划思想的萌芽。西汉年间, 《史记·货殖列传》记载“夫山西饶材、竹、谷、纁、旄、玉石; 山东多鱼、盐、漆、丝、声色; 江南出楠、梓、姜、桂、金、锡、连、丹沙、犀、玳瑁、珠玑、齿革; 龙门、碣石北多马、牛、羊、旃裘、筋角”, 概括地描述了中国动物地理分布的地区差异。此后, 包括汉代的《汉书·地理志》、北魏的《水经注》、唐代的《括地志》、明代的《徐霞客游记》《本草纲目》和清代的《读史方輿纪要》都有关于中国动物分布及地域差异的记载。虽然这些历史古籍的记载缺乏科学的动物分类学基础 (张荣祖, 2011), 但代表了我国古代人们对中国动物地理分布状况及地域差异的朴素认识。

(2) 经验定性阶段

我国具有现代科学意义的动物地理区划研究始于 20 世纪 50 年代, 郑作新 (1950) 根据鸟类的分布, 把我国划分为“蒙藏区”“华北区”和“华南区”3 个鸟类分布区, 并统计了各区内的鸟类分布状况及数量, 但是并没有绘出分区的边界。寿振黄 (1955) 整理分析了我国 71 种毛皮兽的地理分布, 依据各地区种类和毛皮质量将我国毛皮兽的分布划分为 8 个区, 并在地图上绘制了边界, 这是我国最早的一张陆生脊椎动物地理区划图。随后, 郑作新等 (1956) 按照各地鸟类和兽类区系组成差异将中国划分为 7 个动物地理区。后经张荣祖 (1978, 1998) 多次修改, 将“中国动物地理区划 (草案)”修订为 2 界 7 区 19 亚区和 54 个动物地理省。此区划方案至今得到广泛应用, 被认为对填补空白、推动我国生物地理学的研究起到重要的历史作用 (张荣祖, 2011)。自张荣祖 (1978) 对“中国动物地理区划 (草案)”进行修改后, 不少省份陆续讨论了各省区范围内各类动物的地理分布问题, 如山东 (林育真, 1995)、内蒙古 (杨贵生, 1998)、四川 (赵尔宓, 2002) 和黑龙江 (赵文阁, 2002) 等。特别在两栖动物方面, 《四川动物》在 1995 年专门增加特刊《中国两栖动物地理区划》, 对我国当时的两栖动物区系研究和省级区划进行了总结 (陈领, 2006)。

在鱼类区系方面, 张春霖 (1954) 认为我国淡水鱼类的分布主要受气候、地形位置等的影响, 并划分了黑龙江区、西北高原区、江河平原区、东洋区和怒江区 5 个淡水鱼类分布区。李思忠 (1981) 对中国淡水鱼类的地理分布格局进行了系统研究, 将中国淡水鱼类划分为北方区、华西区、宁蒙区、华东区和华南区 5 个区, 并提出古北界和东洋界的分界线位于喜马拉雅山脉和南岭山脉。但陈宜瑜等 (1986) 通过对珠江淡水鱼类区系组成的调查研究, 否定了南岭山脉作为东洋界和古北界在东亚的分界线的观点, 认为该界线应位于秦岭山脉。陈宜瑜等 (1996) 从历史时空的角度分析了青藏高原地区发生的鱼类区系的变化过程, 以及高原鱼类区系演化的相对独立性, 并提出将青藏高原作为一个与古北区和东洋区等具有同等地位的独立区划单元。

在昆虫区系方面, 马世骏 (1959) 将我国划分为中国-喜马拉雅山亚区、中亚细亚亚区和中国缅甸亚区 3 个一级区, 下分 9 个二级区和 32 个三级区。他认为, 我国昆虫区系有 4 处起源, 包括中国-喜马拉雅区系、中亚细亚区系、欧洲-西伯利亚区系和印度马来区系, 但由于受冰期-间冰期的影响, 我国原有的昆虫区系被打乱, 造成了南北穿插、东西交混的昆虫地理分布格局。在生产实践方面, 章士美 (1998) 根据农林业生产布局及主要害虫的种类组成等对全国各省区进行了农林昆虫区划。

现代动物分布的地域差异是历史变迁至今的产物 (张荣祖, 2011)。随着考古学的发展, 在古脊椎动物方面, 裴文中 (1957)、周明镇 (1964)、薛祥煦等 (1994) 等探讨了我国第四纪动物区系的地理分异及演变。Du 等 (1992) 提出我国古近纪哺乳类化石区系 6 个区的划分方案。Qiu 等 (2005) 分析了中国新生代以来 (65Ma) 哺乳动物区系及环境变化的关系, 指出青藏高原的隆起和东亚季风的形成深刻地影响着我国动物区系的演变, 而中国的现生动物分布及地域差异可能起源于中渐新世 (16Ma~11.6Ma)。

这个阶段动物地理研究最重要的发展是引入了动物“分布型”的概念。与植物地理中“分布区类型” (吴征镒, 1991) 的概念相似, 张荣祖 (1999) 指出, 动物“分布型”是指不同的类群具有相似的分布区, 反映了不同动物类群因为历史起源、环境条件和扩散能力

形成的地理分布上的趋同演化。在物种“分布型”系统建立的基础上，“动物区系的地区差异构成了动物地理分区”（张荣祖，2011）。动物“分布型”的划分系统主要基于专家知识归纳的，仍有待进一步整理和完善（张荣祖，2011）。此外，这个时期的动物地理区划也主要依据物种分布边缘、特有种的分布和具有明显阻隔作用的地理界线，定量分析手段不足，区划结果的可重复性较低。

（3）数值定量阶段

随着计算机数理统计模型的发展和地理信息系统的应用，我国学者在逐步探索定量的研究与分析方法在生物地理区划和生态地理区划等方面的应用。解焱等（2002）根据 171 种哺乳类和 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 个亚区 27 个生物地理区和 124 个生物地理单元。Xiang 等（2004）根据 557 种哺乳类在中国及中南半岛 12 个地理单元的物种相似性，运用聚类分析重新厘定了这些地理单元的相互关系。陈领（2006）利用 Sørensen 相似性系数对中国两栖类进行动物地理区划，并对部分省区进行了三级地理区划。黄薇等（2008）结合青藏高原的地貌、植被和气候等环境因素，以自然地理条件分异和主要的地理阻隔为依据，将青藏高原划分为 24 个自然地理单元，统计单元内 250 种兽类的分布信息，根据单元内物种相似性进行聚类分析，将青藏高原划分为 2 个 I 级区、4 个 II 级区、7 个 III 级区和 16 个 IV 级区。Chen（2008）基于两栖类的物种相似性探讨了古北界和东洋界在我国西段的走向，认为两界的界线并不是一条明显的分界，而是一条渐变的过渡带。此外，在中国一些省区，如海南（陈盼，2011）等也开始利用数值分类的方法进行动物地理区划。在昆虫地理方面，申效诚等（2015）在对各省区昆虫分布生态小区划分的基础上，将生态条件相同的生态小区组成全国 64 个昆虫分布基础地理单元。他用 64 个地理单元为基础，基于多元相似性聚类分析（multivariate similarity clustering analysis, MSCA）方法进行全国昆虫地理区划，共确定 3 界（东古北界、西古北界和东洋界）和 9 区的区划系统。Meng 等（2008）基于 958 种蜘蛛在 $2^\circ \times 2^\circ$ 的网格分布，利用特有性简约性分析（parsimony analysis of endemism, PAE）的方法将我国划分了 7 个区域：西北区，东北区，华北区，华中区，东南区，西南区和中南区。

这个阶段的量化研究发展较为迅速，为中国动物地理区划的量化研究做了很好的尝试。物种相似性指数的运用，可以克服对特征种、优势种等的加权影响；聚类方法的使用也使地理区内的动物组成差异最小化，地理区之间的差异最大化，符合动物地理区划的假设。但是，我国这时期的定量研究中主要采用预先设定的地理单元，由于地理单元的面积大小不一致，导致面积较大的单元拥有较多物种，对物种相似性指数的测算造成影响。此外，与国外动物地理区划研究相比，我国动物地理区划定量研究仍较为落后，量化的研究手段目前尚未在全国尺度上进行多类群融合的区划分析。

三、动物地理区划研究方法进展

目前生物地理区划的技术方法已经从基于经验的专家集成法转为基于计算机技术和计量统计学方法。对于区划的定量技术方法，主要体现在区划单位、相似性测度和分类方法 3 个方面（表 1-1）。

表 1-1 动物地理区划方法比较

区划方法	项目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	参考文献
区划单位	网格						√			√	√	√			√		√	√	√	
	地理单元	√	√	√	√				√				√	√						
	岛屿					√		√												
	其他															√				
相似性测度	Bray-Curtis									√				√		√				
	Euclidean														√					
	Jaccard	√	√													√				
	Simplified association measure			√																
	Simpson					√		√									√	√	√	
	Sørensen					√							√							
	None				√		√		√		√	√								
区划方法	Decorana 排序法						√													
	概率最大期望法														√					
	k-means 聚类法														√					
	非线性多维标度分析法			√													√	√		
	特有性俭约分析法				√				√		√	√								
	主成分分析法					√														
	双向指示种分析法						√													
	非加权组平均法					√		√						√		√	√	√		
	非加权配对算术平均法									√										
	Ward 聚类法												√							
	加权成对分组平均法	√	√																	
	网络分析法																			√

A: Hagmeier et al. (1964);
 B: Hagmeier (1966);
 C: Smith (1983a);
 D: da Silva et al. (1996);
 E: How et al. (1997);
 F: Williams et al. (1999);
 G: Peterson et al. (2000);
 H: Ron (2000);
 I: de Klerk et al. (2002);
 J: Morrone et al. (2002);
 K: Rojas-Soto et al. (2003);
 L: Xie et al. (2004);
 M: Procheş (2005);
 N: Heikinheimo et al. (2007);
 O: Patten et al. (2008);
 P: Kreft et al. (2010);
 Q: Holt et al. (2013);
 R: Vilhena et al. (2015)

1. 区划单位

根据区划目标、物种调查强度、数据精度和研究尺度的差异,前人研究的区划单位主要有网格 (grid cell)、地理单元 (geographical unit) 或岛屿 (island)。以网格作为区划单元越来越受重视,因为它可以避免不同面积单元之间的取样误差 (Kreft et al., 2010)。例如,张荣祖(1995)首次提出在“中国综合自然区划图”的基础上划分“景观系统网格”以探索我国动物分布与自然条件之间的关系。

2. β 相似性测度

β 相似性测度反映了不同群落间物种组成的相似性程度 (Whittaker, 1960), 表明了

时空尺度上物种组成的变化，近年来被广泛用于生物地理区划研究。区划单位（网格、生态地理单元等）之间物种组成的相似性测度方法很多（表 1-2），在生物地理学和生态学中，学者们提出不同的 β 相似性指数测度方法（Baroni-Urbani et al., 1976; Hubalek, 1982; Wilson et al., 1984; Koleff et al., 2003）。这些 β 相似性指数无论是统计方法还是物种成分变化测度的内涵都有所差异（Koleff et al., 2003）。这些指数测度方法可分为 3 类（Koleff et al., 2003）：测量物种镶嵌（nestedness）、物种周转（turnover）或二者的综合。过去的研究中使用最多的测度方法是 Sørensen/Bray-Curtis 指数测度和 Jaccard 指数测度等，但这些指数在很大程度上受不同地域物种丰度的影响（Lennon et al., 2001; Leprieur et al., 2014）。也就是说在物种匮乏的区域，这些指数得出来的物种组成变化会明显高于物种丰富的区域，这显然不符合动物地理区划的实际（Kreft et al., 2010）。因此，在动物地理区划中，不受物种丰富度影响的测度指数，例如，辛普森（Simpson）指数能更好地反映物种组成变化的真实情况（Lennon et al., 2001; Koleff et al., 2003; Baselga et al., 2007）。

表 1-2 常用的物种 β 相似性测度指数

β 相似性测度指数	符号	运算公式*	参考文献
Jaccard	β_{jac}	$\frac{b+c}{a+b+c}$	Jaccard (1912), Koleff et al. (2003)
Sørensen	β_{sor}	$\frac{b+c}{2a+b+c}$	Sørensen (1948), Koleff et al. (2003)
Simpson	β_{sim}	$\frac{\min(b,c)}{a+\min(b,c)}$	Simpson (1943), Lennon et al. (2001), Koleff et al. (2003)

*其中 a 是在两个区域共有的物种数量， b 和 c 分别是每个区域独有的物种数量

3. 分类方法

(1) 排序

排序（ordination）是一种常用的降维技术，在动物地理区划中可以将不同地区之间动物组成的相似性直观地在二维空间可视化，并以此分析各地理区之间的相互关系。排序法已经在大尺度的动物地理区划中得到广泛运用（Kreft et al., 2010），例如，Smith (1983a) 根据哺乳类分布信息分析了全球 24 个亚区（Wallace, 1876）之间的动物区系关系，Williams et al. (1999) 分析了非洲热带鸟类的生物地理过渡区，等等。

(2) 聚类

聚类（clustering）分析是探索性数据分析中非监督学习方法的一种，其核心目标是将相似的对象分为相应的集群。这样的一个集群（地理区）的命名是基于聚类结果而并非是预先设定的（Legendre et al., 1998）。

I. 非系统聚类

非系统聚类（non-hierarchical clustering）算法将数据集划分为若干个集群。常用的算法有 K-均值（K-mean）或围绕中心点的分割算法（partitioning around medoids algorithms,