

BIODIVERSITY SCIENCE

生物多样性

 第28卷 第5期
 2020年5月

 Vol. 28 No. 5
 May 2020

野生动物与公共健康专辑


 主 办
 中国科学院生物多样性委员会
 中国生态学学会
 中国科学院植物研究所
 中国科学院动物研究所
 中国科学院微生物研究所

 Biodiversity Committee, CAS
 Botanical Society of China
 Institute of Botany, CAS
 Institute of Zoology, CAS
 Institute of Microbiology, CAS

<http://www.biodiversity-science.net>

生物多样性

SHENGWU DUOYANGXING

第28卷 第5期 2020年5月

目次

编者按

- 539 重新审视野生动物与公共健康的关系
吕植

论坛

- 541 “野生动物”的概念框架和术语定义
曾岩 平晓鸽 魏辅文
- 550 《野生动物保护法》再修订: 背景、争点与建议
吕忠梅 陈真亮
- 558 国家濒危物种红色名录的生物多样性保护意义
蒋志刚 江建平 王跃招 张 鸮 张雁云
蔡波

综述

- 566 以兽类为例探讨我国陆生野生动物疫病监管中面临的问题与对策
肖治术 张礼标 许磊 周岐海 孟秀祥
严川 常 罡
- 579 生态位模型在流行病学中的应用
王 然 乔慧捷

- 587 基因组学技术在病毒鉴定与宿主溯源中的应用
韩本凤 周欣 张雪
- 596 推进生物多样性保护与人类健康的共同发展——One Health
李彬彬
- 606 多学科视角下的野生动物消费需求和消费行为研究进展
梁智健 胡佳贝 胡思帆 赵晶晶 周凯文
焦运波 黄程 何霞 温嘉恩 李立姝
华方圆 李添明
- 621 全球中华鲟资源保护现状及对策建议
朱俊华 吴宙 冯炳斌 邓帅帅 甄文全
廖永岩 颀晓勇 Kit Yue Kwan

研究报告

- 630 新冠肺炎时期公众对野生动物消费和贸易意愿的调查
史湘莹 张晓川 肖凌云 李彬彬 刘金梅
杨方义 赵翔 程琛 吕植
- 644 我国网络平台外来宠物贸易调查
姬云瑞 李叶 刘芳 李迪强

封面: 野生动物是重要的生物多样性保护和管理对象。但人们对野生动物的定义存在不同理解。曾岩等(见本期541–549页)提出了野生动物的二维概念框架,梳理了动物从野生到驯化的12个连续状态,通过人类控制管理干预由弱到强和人工选择时间由短到长两个维度的连续变化描述野生动物。

BIODIVERSITY SCIENCE

Vol. 28 No. 5 May 2020

CONTENTS

Editorial

- 539 **Reassess wildlife conservation in the context of public health**

Zhi Lü

Forum

- 541 **A conceptual framework and definitions for the term “wild animal”**

Yan Zeng, Xiaoge Ping and Fuwen Wei

- 550 **Revision of the Law of the People’s Republic of China on the Protection of Wildlife: Background, issues and suggestions**

Zhongmei Lü and Zhenliang Chen

- 558 **Significance of country red lists of endangered species for biodiversity conservation**

Zhigang Jiang, Jianping Jiang, Yuezhao Wang, E Zhang, Yanyun Zhang and Bo Cai

Reviews

- 566 **Problems and countermeasures in the surveillance and research of wildlife epidemics based on mammals in China**

Zhishu Xiao, Libiao Zhang, Lei Xu, Qihai Zhou, Xiuxiang Meng, Chuan Yan and Gang Chang

- 579 **Matters needing attention about invoking ecological niche model in epidemiology**

Ran Wang and Huijie Qiao

- 587 **Verification of virus identity and host association using genomics technology**

Benfeng Han, Xin Zhou and Xue Zhang

- 596 **Creating synergy between biodiversity conservation and human health — One Health**

Binbin V Li

- 606 **Understanding and changing wildlife consumption behavior from a multidisciplinary perspective**

Zhijian Liang, Jiabei Hu, Sifan Hu, Jingjing Zhao, Kaiwen Zhou, Yunbo Jiao, Cheng Huang, Xia He, Anita Kar Yan Wan, Lishu Li, Fangyuan Hua and Tien Ming Lee

- 621 **Global conservation of *Tachypleus tridentatus*: Present status and recommendations**

Junhua Zhu, Zhou Wu, Bingbin Feng, Shuai-shuai Deng, Wenquan Zhen, Yongyan Liao, Xiaoyong Xie and Kit Yue Kwan

Original Papers

- 630 **Public perception of wildlife consumption and trade during the COVID-19 outbreak**

Xiangying Shi, Xiaochuan Zhang, Lingyun Xiao, Binbin V Li, Jinmei Liu, Fangyi Yang, Xiang Zhao, Chen Cheng and Zhi Lü

- 644 **Assessment of current trade of exotic pets on the internet in China**

Yunrui Ji, Ye Li, Fang Liu and Diqiang Li

Cover Illustration: Wild animals are important objects of biodiversity conservation and management. However, people have different understandings of what is a wild animal. Zeng et al (for details see pages 541–549 of this issue) propose a new conceptual framework describing “wild animals” through two dimensions: the level of human control interventions and the time length of artificial selection, from “wild” to “domesticated”.



•编者按•

重新审视野生动物与公共健康的关系

吕植*

(北京大学生命科学院, 北京 100871)

Reassess wildlife conservation in the context of public health

Zhi Lü*

School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

新冠肺炎自2019年底暴发至今已经历时半年之久, 仍在全球蔓延, 每日新增感染人数居高不下。作为一个重大公共卫生事件, 此次新冠肺炎的流行给人类健康带来无限伤痛, 使全球的经济、贸易、外交、社会心理等各个层面受到前所未有的巨大影响。

尽管新冠病毒的来源和传播途径在科学上尚未确认, 但目前为止大多数研究都认为新冠病毒来自自然界, 由自然宿主(如被怀疑的蝙蝠等野生动物)传播到尚不明确的中间宿主, 历经突变, 然后感染了人类。统计表明, 近些年来世界各地出现的新发传染病, 例如亨德拉、尼帕病毒, H7N9禽流感、埃博拉、SARS、中东呼吸综合征等等, 都和动物有关。这些病毒存在于自然界, 与宿主野生动物长期协同演化, 已经达成某种平衡。然而, 人类对野生动物的非法贸易和消费, 或者对野生动物栖息地的开发, 有可能使得这些病毒与人类的接触大幅增加, 给病毒从野生动物传播到人类创造了条件, 危及公共卫生安全。加之全球化的趋势、交通的便利和人口的流动, 使得流行病暴发的几率大大增加。

生物多样性与公共卫生安全之间的联系从未像今天这样紧密, 并让人们有如此深刻的切肤之痛。为此, 全国人民代表大会常务委员会在2020年2月24日做出决定, 全面禁止和惩治非法野生动物交易行为, 革除滥食野生动物的陋习, 维护生物安全和生态安全, 有效防范重大公共卫生风险, 切实保障人民群众生命健康安全, 加强生态文明建设, 促进人与自然和谐共生。

在此背景下, 《生物多样性》周欣编委提议组织一期专刊, 探讨生物多样性与人类大规模传染病之间的关系, 比如: 从公共健康、生物多样性保护和相关产业发展等不同角度考虑如何禁用野生动物, 如何长期积累病毒和宿主等基础生物学数据, 如何应用系统学和基因组学确定病毒来源等等。提议得到马克平主编大力支持, 以及华方圆、蒋志刚、李彬彬、肖治术、朱朝东等编委的积极响应, 大家还认为数据开放共享、疫病溯源以及病毒分类、变异、进化等问题都值得深入探讨。随后, 我们分别进行约稿或亲自撰稿, 就相关学科领域的研究、调查进行快速整理, 形成文字, 在此结集发表, 期为读者和公众提供野生动物与公众健康以及与之相关的生物多样性方面的知识、观点和研究背景, 也希望为决策者提供科学依据。遗憾的是, 有的约稿没能按预定时间完成, 未收入专辑, 我们后面会尽快安排发表。

本专辑收录的论文涉及领域非常广泛。

从技术上, 韩本凤等(2020)以SARS-CoV-2为例, 总结了基因组学技术在病毒鉴定与溯源上的应用, 并针对当前动物病毒库完整性低的现状, 对构建野生和家养动物携带病毒的关联数据库的可行性提出依据与建议。王然和乔慧捷(2020)比较了疫病传播中常用的生态位建模方法的优势与不足, 指出SARS-CoV-2因人传人的特点, 不宜用生态位模型对其潜在传播范围进行预测, 使用生态位模型时需考虑建模对象是否满足生态学假设, 不可滥用。

曾岩等(2020)首次从科学和保护管理的角度对

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: luzhi@pku.edu.cn

“野生动物”的概念在中文语境下进行了梳理和澄清,提出“野生动物”与“驯化动物”之间渐进、多层次的二维框架,并对我国《野生动物保护法》中适用的野生动物概念给出建议。蒋志刚等(2020)强调了我国的濒危物种红色名录即濒危物种国别研究对中国的生物多样性保护和相关法律制定和修订的意义。

肖治术等(2020)总结了我国24种重要兽类疫病的监管情况,对我国重要陆生兽类疫源疫病发生的新情况和新特点进行了全面分析,指出我国重要野生动物疫源疫病管理呈现多部门、多层监管的局面;存在非法猎杀、非法交易、违法违规养殖、滥食野生动物陋习、检疫环节失察等安全风险;而对新发再发传染病的认知不足,加之气候变化和自然灾害频发进一步使得从源头做好疫病防控面临困难,需要加强基础研究和监管来积极防范陆生野生动物疫病疫情。姬云瑞等(2020)对网络交易平台上外来宠物贸易的种类、规模、价格进行了调查。共记录到外来宠物111种,其中不乏IUCN红色名录中的受威胁物种和CITES公约附录的物种,说明对于网络平台动物贸易进行监管的重要性。此外,朱俊华等(2020)对被利用严重的古老海洋节肢动物中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)的状况和威胁及保护需求提出了观点。

梁智健等(2020)从社会学、心理学、行为科学等多学科的视角分析和理解我国野生动物消费的需求动因:功能性、社会性和体验性等非生活必需性需求凸显,提出了做出改变的可能和挑战。而史湘莹等(2020)则通过74,040份网络问卷调查,了解了疫情暴发后以城镇居民为主的公众对于野生动物消费和贸易的意愿,结果显示,绝大多数被调查

者对全面禁止野味消费持赞成态度,且多数现有野生动物消费群体在疫情后倾向于停止消费。这一调查表明,一些不良的行为习惯在重大灾害面前出现了改变的契机,全国人民代表大会常务委员会禁食野生动物的决定在受高等教育者和城镇居民中有良好的公众基础。

吕忠梅等(2020)讨论了现行《野生动物保护法》保护范围较窄、监管体制不顺、执法标准不科学、法律制度不完善等问题,建议《中华人民共和国野生动物保护法》的修订要在完善立法目的、合理界定保护范围、健全“黑白”名单制度和许可证制度、优化野生动物保护监管体制、完善激励机制和法律责任制度等方面认真加以研究,为促进环境治理体系和治理能力现代化“立良法”。李彬彬(2020)介绍了One Health的理念框架,即通过交叉学科的研究、行动和治理,来推动包括人、所有其他动物及环境的整体健康。One Health的理念在国际上被广泛接纳,《生物多样性公约》也对其进行推广。中国应将预警与干预措施前移,减少疾病暴发带来的社会经济成本。

此次疫情再次提醒我们,人类需要反思我们与其他生命的关系,重建对自然的敬畏,维护人与自然之间、人与野生动物及其病原体之间的生态平衡,最终受益的是人类自身的生存安全和长久利益。这也是我们出版这本专辑的初衷。

文中引用的文献均来自本期文章,参见附录(<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020288-1.pdf>)。

(责任编辑:周玉荣)

吕植. 重新审视野生动物与公共健康的关系. 生物多样性, 2020, 28(5): 539–540. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020288>

参考文献

- Han BF, Zhou X, Zhang X (2020) Verification of virus identity and host association using genomics technologies. *Biodiversity Science*, 28, 587–595. (in Chinese with English abstract) [韩本凤, 周欣, 张雪 (2020) 基因组学技术在病毒鉴定与宿主溯源中的应用. 生物多样性, 28, 587–595.]
- Ji YR, Li Y, Liu F, Li DQ (2020) Assessment of current trade of exotic pets on the internet in China. *Biodiversity Science*, 28, 644–650. (in Chinese with English abstract) [姬云瑞, 李叶, 刘芳, 李迪强 (2020) 我国网络平台外来宠物贸易调查. 生物多样性, 28, 644–650.]
- Jiang ZG, Jiang JP, Wang YZ, Zhang E, Zhang YY, Cai B (2020) Significance of country red lists of endangered species for biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 28, 558–565. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹞, 张雁云, 蔡波 (2020) 国家濒危物种红色名录的生物多样性保护意义. 生物多样性, 28, 558–565.]
- Li BBV (2020) Creating synergy between biodiversity conservation and human health—One Health. *Biodiversity Science*, 28, 596–605. (in Chinese with English abstract) [李彬彬 (2020) 推进生物多样性保护与人类健康的共同发展—One Health. 生物多样性, 28, 596–605.]
- Liang ZJ, Hu JB, Hu SF, Zhao JJ, Zhou KW, Jiao YB, Huang C, He X, Wan AKY, Li LS, Hua FY, Li TM (2020) Understanding and changing wildlife consumption behavior from a multidisciplinary perspective. *Biodiversity Science*, 28, 606–620. (in Chinese with English abstract) [梁智健, 胡佳贝, 胡思帆, 赵晶晶, 周凯文, 焦运波, 黄程, 何霞, 温嘉恩, 李立姝, 华方圆, 李添明 (2020) 多学科视角下的野生动物消费需求和行为研究进展. 生物多样性, 28, 606–620.]
- Lü ZM, Chen ZL (2020) Revision of the Law of the People's Republic of China on the Protection of Wildlife: Background, issues and suggestions. *Biodiversity Science*, 28, 550–557. (in Chinese with English abstract) [吕忠梅, 陈真亮 (2020) 野生动物保护法》再修订: 背景、争点与建议. 生物多样性, 28, 550–557.]
- Shi XY, Zhang XC, Xiao LY, Li BBV, Liu JM, Yang FY, Zhao X, Cheng C, Lü Z (2020) Public perception of wildlife consumption and trade during the COVID-19 outbreak. *Biodiversity Science*, 28, 630–643. (in Chinese with English abstract) [史湘莹, 张晓川, 肖凌云, 李彬彬, 刘金梅, 杨方义, 赵翔, 程琛, 吕植 (2020) 新冠肺炎时期公众对野生动物消费和贸易意愿的调查. 生物多样性, 28, 630–643.]
- Wang R, Qiao HJ (2020) Matters needing attention about invoking ecological niche model in epidemiology. *Biodiversity Science*, 28, 579–586. (in Chinese with English abstract) [王然, 乔慧捷 (2020) 生态位模型在流行病学中的应用. 生物多样性, 28, 579–586.]
- Xiao ZS, Zhang LB, Xu L, Zhou QH, Meng XX, Yan C, Chang G (2020) Problems and countermeasures in the surveillance and research of wildlife epidemics based on mammals in China. *Biodiversity Science*, 28, 566–578. (in Chinese with English abstract) [肖治术, 张礼标, 许磊, 周岐海, 孟秀祥, 严川, 常罡 (2020) 以兽类为例探讨我国陆生野生动物疫病监管中面临的问题与对策. 生物多样性, 28, 566–578.]
- Zeng Y, Ping XG, Wei FW (2020) A conceptual framework and definition for the term “wild animal”. *Biodiversity Science*, 28, 541–549. (in Chinese with English abstract) [曾岩, 平晓鸽, 魏辅文 (2020) “野生动物”的概念框架和术语定义. 生物多样性, 28, 541–549.]
- Zhu JH, Wu Z, Feng BB, Deng SS, Zhen WQ, Liao YY, Xie XY, Kwan KY (2020) Global conservation of *Tachypleus tridentatus*: Present status and recommendations. *Biodiversity Science*, 28, 621–629. (in Chinese with English abstract) [朱俊华, 吴宙, 冯炳斌, 邓帅帅, 甄文全, 廖永岩, 颜晓勇, Kit Yue Kwan (2020) 全球中华鲟资源保护现状及对策建议. 生物多样性, 28, 621–629.]



•论坛•

“野生动物”的概念框架和术语定义

曾 岩^{1,2} 平晓鸽^{1,2} 魏辅文^{1,2,3*}

1 (中华人民共和国濒危物种科学委员会, 北京 100101)

2 (中国科学院动物研究所, 北京 100101)

3 (中国科学院动物进化与遗传交叉卓越中心, 昆明 650223)

摘要: “野生动物”(wild animal)一词不止在我国, 在全球的英语使用者中也有不同的含义。通过梳理相关研究、国内法和国际法背景下的定义和适用范围, 结合人类对动物繁殖和生活条件的控制情况, 本文提出了“野生动物”的二维概念框架, 梳理了动物从“野生”到“驯化”的12个连续状态。以下状态即未经中长期人工选择的动物类群应被视为野生动物: (1)其在荒野自然或人工环境(如城市或乡村)中自由生存繁殖, 无论是否存在人工投喂、经救护或辅助生殖后被放归的个体; (2)被捕捉圈养在人工环境中生活, 或源自野外但在圈养条件下出生的个体; (3)直系血亲(《濒危野生动植物种国际贸易公约》解释为世系前四代)仍有野外来源的人工繁育后代; (4)放生、逃逸或引入到自然环境中的人工繁育个体。在野生动物物种保护的目标和语境之下, 经过长期人工选择的驯化动物, 无论其是否在人类控制下生活, 如家养猫狗、家禽家畜或模式实验动物, 以及流浪猫狗、放生禽畜和野化家养动物等都不是“野生动物”。但对于一些经过一定程度的人工选择, 所处人类控制情况和对野外种群的影响各异(如经过多代人人工繁育的驯养动物、因人类活动导致的外来动物等), 其是否需被作为野生动物管理, 则需要根据生态安全、物种管理、立法目标等特别设定监管范围。《中华人民共和国野生动物保护法》的保护对象可以考虑为: 受到人类威胁濒临灭绝的, 或者具有重要生态作用的野生动物物种, 其状态可不限于是在野外还是人工控制条件下。其他动物的管理, 可根据遗传资源保护、疫病防控、动物福利和生态安全等需要, 另外设立《动物福利法》《生物安全法》等, 并和已有的法律法规如《动物防疫法》《渔业法》等做好衔接。本文还就《野生动物保护法》可能采用的“野生动物”定义提出建议。

关键词: 野生动物; 二维概念框架; 野生动物保护法

A conceptual framework and definitions for the term “wild animal”

Yan Zeng^{1,2}, Xiaoge Ping^{1,2}, Fuwen Wei^{1,2,3*}1 *Endangered Species Scientific Commission, P. R. C., Beijing 100101*2 *Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*3 *Center for Excellence in Animal Evolution and Genetics, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223*

Abstract: The term “wild animal” has different meanings not only in Chinese but in many languages all over the world. Here, we identify uses of the term “wild animal” through examining interpretations and applications in local, national, and international laws and language used in human controlled animal reproduction. We put forward a two-dimensional conceptual framework of “wild animals” that distinguishes 12 continuous states of animals from “wild” to “domesticated”. Animal groups that have not been artificially selected in the medium- and long-term were considered wild animals. Domesticated animals, whether or not they live under human control, such as domestic cats, dogs, poultry, livestock, and model animals or stray or feral were not considered “wild animals”. However, the management of some categories, such as tamed animals of wild species or exotic/invasive animals needs to base on ecological safety, species conservation, and legislative objectives. The Law of the People’s Republic of China on the Protection of Wildlife shall apply to endangered animal species threatened by humans, whether they were found in the wild or under human control condition. For the management of other states of “wild animals”, existing laws should be

收稿日期: 2020-02-25; 接受日期: 2020-04-27

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB31000000)和科技部重点研发专项(2016YFC0503200)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: weifw@ioz.ac.cn

strictly implemented, and new laws should be enacted with genetic resources, zoonotic diseases, animal welfare, and ecological safety in mind. We additionally make specific recommendations for the definition of “wild animal” for use under the Law on the Protection of Wildlife.

Key words: wild animal; two-dimensional conceptual framework; wildlife protection law

2003年,为应对严重急性呼吸道综合征(SARS)暴发,当时的国家林业局和国家工商总局联合发文,紧急通知立即停止野生动物市场经营活动。但是,《中华人民共和国野生动物保护法》(以下简称《野生动物保护法》)所适用的范围和林业部门所监管的目标与人们从字面上理解的野生动物即“生活在野外的非家养动物”具有很大差别。因此引发了公众对通知所涉及“野生动物”范围的讨论,建议必须在法律上给“野生动物”以明确的定义(蒋志刚,2003)。

2020年世界范围内暴发了新型冠状病毒肺炎疫情,由于其病毒可能源自野生动物,引发了人们对2016年修订的《野生动物保护法》适用范围的大讨论,再次引起对“野生动物”这个常用词汇做出准确定义呼吁。

定义“野”(wild)或“非野”(non-wild)不只是个理论问题,而且具有特别重要的现实意义。“野生生物”、“野生动植物”、“野生来源”这些概念存在着相对性,在定义时需要考虑多种因素(周志华和蒋志刚,2004)。很多国际自然保护协议、国家法律,包括世界自然保护联盟(IUCN)的受威胁物种红色名录(IUCN Red List)都没有对“野生”给出准确的定义(Mallon & Price, 2013)。

为确定“野生动物”概念的理论基础,本文梳理了部分英语国家、我国香港以及相关国际组织的文件、法律、法规,参考了其中与“野生动物”定义有关的术语,提取了“野生动物”定义的关键信息,并根据对动物人工选择和干预控制的强度,提出了“野生动物”的一个二维概念框架,解释现实中动物所处的不同状态,揭示这些状态之间的连续性和差异,提示不同法律规定适用背景,不同操控意图、规范和语境下应考虑的“野生动物”定义,并根据现实情况,就我国野生动物保护和管理的法律框架提出修订建议。

1 “野生动物”相关术语及其法律适用范围

在我国,“野生动物”曾对应翻译为“wildlife”(中华人民共和国国务院法制局,1991;马建章等,

2004),在概念上被认为有广义和狭义两类:广义的概念包括了自然界所有自由栖息的动物种类,狭义的概念因时间和地区而变化(宋延龄,1994)。

以下为一些国际组织、不同国家和我国香港特别行政区的英文法条中与“野生动物”(wild animal)相关的英文术语及其解释,包括wildlife、animal、wild fauna、wild population、domestic/domesticated和captive等(Box 1)。可以看出,相关术语的表述和适用范围因各自法律的立法目的而有所不同。

2 术语“野生动物”的限定条件

各个国家的野生动物管理和保护法规均从自身的传统需求和法律目标出发,覆盖动物界的不同类群,并有不同的限定条件(Box 1)。一般地,术语适用生物类群的确定方式分三种:(1)采用其他词汇做出描述或解释,即“定义法”;(2)举例该术语所涵盖的类群,即“列举法”;(3)列出该术语不涵盖的类群,即“排除法”。各个国家或国际组织对“野生”的表述具有不同的限定条件,主要涉及:是否属于或者存在于自然中,是否包括处在圈养和人类控制条件下的群体,是否包括驯化动物的野化群体等。

从联合国粮农组织(FAO)的定义看,驯化动物和野生动物并不直接对应。前者强调经过很多世代,繁殖和饲养受到人类控制;后者要求生活不受人类直接监管或控制,且表型未受到人工选择的影响。然而,新兴的宠物产业和动物特种养殖业,有可能只经过几个世代的遗传操作,就能得到表型、基因频率与野外种群不尽相同的群体。

《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)将动物和植物以物种(亚种或种群)的形式列入附录。对于一些特定动物物种,CITES附录在其拉丁名后添加注释来标明其家养型(domesticated form)除外,如狼(*Canis lupus*)的家养型即狗(*C. l. familiaris*)和澳洲野狗(*C. l. dingo*)除外;又如猫科动物所有种的家养型标本(如家猫或孟加拉系宠物猫)除外。此外,CITES公约在附录中还排除了家养大额牛(*Bos frontalis*)、家水牛(*Bubalus bubalis*)、家牦牛(*Bos*

Box 1 部分英语语境下“野生动物”相关词汇的解释和适用范围					
语境	野生	非野生			
政府间机构和国际组织	联合国粮农组织 FAO	野生生物 Wildlife	除人和被驯化生物外的所有生物(FAO, 2020)	家养动物 Domestic animal	繁殖和饲养受到人类控制, 以从中获得利益或服务的动物。其驯化过程可能需要许多代才能完成(FAO, 2020)。
		野生动物 Wild animal	表型未受到人类选择影响, 且生活不受人类直接监管或控制的动物(FAO, 2020)	圈养野生动物 Captive wild animal	表型未受到人类选择的显著影响, 在圈养或人类直接监管或控制下生活的动物, 包括动物园里的动物和宠物(FAO, 2020)。
	世界自然保护联盟 IUCN	野生动物 Wild fauna	在自然选择过程中自由发展的陆生动物, 包括受人类控制的较小种群, 以及被人类遗弃而野化的家养动物, 因此易受捕获和占有(IUCN, 1995)	驯化 Domestication	根据联合国粮农组织, “驯化是指将野生物种置于人类管理之下, 使从野外选择的植物、动物或微生物适应人类为其创造的特殊栖息地的过程”。遗传学上的定义是: 对种群施加的一组新的选择压力, 使基因频率和性能发生变化的过程(IUCN, 1995)。
	《濒危野生动植物种国际贸易公约》CITES	野外种群 Wild population	在分布区内所有自由生活个体的集合(CITES, 2020)	人工繁育 Bred in captivity	有性繁殖时, 亲本在控制环境下交配(或配子被转移到控制条件下); 无性繁殖后代, 其发育时亲本处于控制环境下; 不从野外捕获标本以维持圈养种群或遵循科学机构提出的建议获取不危害野生种群; 且已繁殖出子二代或后续代(CITES, 2020)。
美国	《濒危物种法案》 Endangered Species Act of 1973	鱼或野生生物 Fish or wildlife	指动物界的任一成员, 包括但不限于任何哺乳类、鱼类、鸟类(包括任何迁徙、非迁徙或濒危的鸟类, 它们也受到条约或其他国际协定的保护)、两栖类、爬行类、软体动物、甲壳类、节肢动物或其他无脊椎动物, 包括其任何部分、产品、卵或后代, 或其尸体或其部分。		
	《雷斯法案》 Lacey Act	野生动物和野生动物资源 Wildlife and wildlife resources	包括野生哺乳类、鸟类、鱼类(包括软体动物和甲壳类)以及所有其他种类的野生动物以及此类野生动物赖以生存的所有类型的水生和陆地植物。		
新加坡	《野生动物与鸟类法案》 Wild Animals and Birds Act	野生动物和鸟类 Wild animals and birds	包括野外自然的所有动物和鸟类物种, 但不包括家养的狗、猫、马、牛、绵羊、山羊、猪、鸡和鸭。		
澳大利亚	《野生动物法案》 Wildlife Act 1975	野生动物 Wildlife	(a)除人类以外, 无论是否出现在其他地方, 在澳大利亚全域或部分地域, 水域分布的土著脊椎动物类群的任何动物; (b)总督会同行政会议在政府公报上以命令宣布, 为实施本法令而宣布为野生生物的各种鹿, 非土著鹤鹑、雉鸡、鸬鹚以及其他动物类群; (ba)根据1988年《植物和动物保护法》列出的陆生无脊椎动物类群; (c)(a)和(b)款中任何种类的动物或类群的杂交个体, 除非该命令另有明文规定, 否则包括在圈养或限制环境下出生或生活的动物, 但本法第I至VI部分以及第IX和XI部分不包括第75条所指的鲸类。		

	《生物多样性保护法案》 Biodiversity Conservation Act 2016	动物 Animal	动物界(人类除外)的任何活的或死亡个体, 并包括以下内容: (a)动物的任何有生命或无生命的后代, 幼体、胚胎、卵、卵子或精子; (b)可以从中生产另一动物的任何部分、产品或遗传材料; (c)动物的任何其他部分; (d)动物的尸体。		
英国	《展演野生动物法案》 Wild Animals in Circuses Act 2019	野生动物 Wild animal	除大不列颠常见驯化品种外的动物。 上一条的“动物”指除人之外的所有脊椎动物, 但个别情况下也可扩充至无脊椎动物。		
加拿大	《加拿大野生动物法案》 Canada Wildlife Act	野生生物 Wildlife	指隶属于某一野生物种或与该野生物种无法区分的任何动物、植物或其他生物。		
新西兰	《野生动物法案》 Wildlife Act 1953	野生动物 Wildlife	指生活在野外状态的动物, 也包括经本法或其他法案授权许可的人工饲养、孵化或繁育的此类动物、卵或其后代; 但不包括受1977年《野生动物控制法案》约束的野生动物。		
		非家畜	任何以野生状态生活的家畜类动物, 或家畜定义中未提及的任何其他动物, 即使该动物可能生活在家养状态。	家畜 Domestic animal	任何牛、绵羊、马、骡子、驴、狗、猫、猪或山羊; 定义了不包括的状态, 见左侧。
		非家禽	野外状态生活的家禽类动物, 以及家禽定义中未提及的其他鸟, 即使该鸟可能生活在家养状态; 释疑: (a)在某一土地或处所内饲养, 但未限制在围栏内的雏鸡应被视为生活在野外状态; (b)根据第23条, 第53条或第56条许可持有的, 作为狩猎物种而大量释放的雏鸡, 不应作为家禽; (c)任一可供狩猎的雏鸡都应被视为生活在野外状态。	家禽 Domestic bird	是指任何家鸡、鸭、鹅或火鸡, 或主要目的是出售肉或活体供人类消费, 而持有、饲养或繁殖的雏鸡; 定义了不包括的状态, 见左侧。
	《野生动物控制法案》 Wild Animal Control Act 1977	野生动物 Wild animal	马鹿、驼鹿、岩羚羊、塔尔羊; 不在有效围栏或限制环境中, 无识别装置的山羊; 生活在野外不作为牲畜饲养的猪; 可由理事会命令指定的陆生动物; 包括尸体的全部或部分。不包括合法圈养的鹿, 依照有效许可执照养殖的任何动物, 不包括属于根据2013年《狩猎动物理事会法》第16条指定为特殊关注兽群里的动物。		
		非家畜	以野生状态生活的“家畜”中提到的动物, 或本定义中未提及的任何其他动物, 即使该动物可能生活在家养状态。	家畜 Domestic animal	任何牛、绵羊、马、骡子、驴、狗或猫; 不属于本节(左侧)定义的野生动物的猪或山羊; 定义了不包括的状态, 见左侧。
印度	《野生生物保护法案》 The Wildlife (Protection) Act 1972	野生动物 Wild animal	在自然界发现的野生的动物, 包括该法案附表一、附表二、附表四或附表五的任何动物。 上一条的“动物”包括两栖类、鸟类、哺乳类和爬行类及其幼体, 还包括鸟类和爬行类的卵。		
中国香港	《野生动物保护条例》 Wild Animals Protection Ordinance (Cap. 170)	野生动物 Wild animal	除普通法归为家养动物(包括流浪或被遗弃家养动物)外的任一动物。		

grunniens)、家驴 (*Equus asinus*)、家山羊 (*Capra hircus aegagrus*) 和家养型毛丝鼠属的所有种 (*Chinchilla* spp.)。而对于新兴养殖产业的一些动物, 无论其表型或基因频率与野生个体如何不同, 都未排除其特定品系。但是, 对于整目列入的鸚鵡, 则通过注释排除了人工繁育动物早已成功占领市场的4个物种, 即桃脸牡丹鸚鵡 (*Agapornis roseicollis*)、虎皮鸚鵡 (*Melopsittacus undulates*)、鸡尾鸚鵡 (*Nymphicus hollandicus*) 和红领绿鸚鵡 (*Psittacula krameri*)。

由此可见, 在讨论野生动物保护相关条款适用范围时, 如何定义从“野生”到“驯化”的不同状态具有重要意义。

3 “野生”的连续性和概念框架

野生动物的定义和概念的适用性与人们对动物的“野性”判断有关。动物的“野性”可以从动物所处的位置、是否驯服、是否发生了本质性改变三个方面来描述 (Palmer, 2011)。其中的本质性改变即遗传组成发生了变化, 可以理解为驯化。定义驯化时还要考虑到动物群体的连续变化过程, 如在人类控制下野生动物经历了圈养、驯养再到驯化, 而驯化动物在逃离人类控制下, 又可以从流浪变为野化 (Décorry, 2019)。无论是以食用为目的的还是对如猫和狗的驯化, 数千代的人工选择提高了动物对人类存在的耐受力 (Driscoll et al, 2009)。俄罗斯 (原苏联) 科学家通过银狐 (*Vulpes vulpes*) 驯化实验发现, 人工选择超过50多代后, 可以得到驯化动物 (Belyaev et al, 1985; Kukekova et al, 2018)。

人工选择是人类有意识地对种群的性状或性状组合进行筛选。与自然选择不同, 人工选择是以生存和繁殖为筛选标准, 而非由整个基因型的适应度所决定 (Futuyma, 2016)。在野生动物物种的管理和保护方面, 除进行人工选择外, 人类的干预水平也是连续的。对动物不同水平的干预, 可使其种群实现自我维持, 或依赖保护、轻度管理、集中管理或圈养繁育, 并达到物种保护目标 (Redford et al, 2011)。人类对大型脊椎动物的管理干预措施可以从空间、疾病控制、被捕食风险、食物及水资源的获得以及繁殖等六个与脊椎动物的演化和生态动力学相关的属性来评估, 继而可用于评估种群的“野性” (Child et al, 2019)。

参照以上定义和研究, 从物种保护和管理的角

度出发, 我们考察了野生动物从野外种群到被捕捉、圈养再到成为驯化动物的一系列过程, 发现可能存在连续的12种状态:

(1) 狭义野生动物。即在海洋、河流、森林、荒野等自然环境中自由生活, 群体未经人工选择, 个体不受人类主动操控的动物, 也是最基本意义上的野生动物。

(2) 城市乡村野生动物。当地球进入人类世后, 自然环境或多或少受到人类活动改造。在城市和乡村的绿地、农田中, 也有很多自由生活的动物, 它们的生活史基本不受人类控制, 但可能会因人类建造的环境而容易获得食物、住所, 也可能受到农药、建筑、车辆等人造物品的直接或间接影响。

(3) 救护和辅助生殖放归/人工投喂的野生动物。对某些生活在自然中的动物, 人类会采取一定的管理控制措施, 作用于其生活史中的短暂阶段, 但不刻意采用人工选择筛选动物个体。如对一些动物的野外种群在其食物贫乏期为它们提供补充饲料或民众随意自发投喂, 救治受伤动物使其获得在野外生存的能力后放归, 以及卵、蛋或繁殖体 (配子) 源自野外、但在人工条件下出生或者野外出生的幼体饲养到亚成体阶段后释放回归野外。一些两栖爬行动物卵、蛋的自然孵化率与幼体的存活率相对很低, 辅助生殖回归的操作有助于恢复野外种群。

(4) 被捕捉圈养的野生动物。出生在野外, 因科学研究、育种、展示和宠物等各种人类需求被捕捉后饲养在人工环境下的野生动物, 其无论在人工环境下生活多久, 都源于野外。

(5) 圈养出生的动物。指卵、蛋或者繁殖体 (配子) 源于野外但在人工条件下出生, 或者亲本来自野外而在人工控制条件下交配产生后代。另有一些人工繁育群体会因长期近交, 其生存力、繁殖力下降, 需要从野外引入个体补充种源。这些动物即为子一代, 在本文概念中应属于野生动物。

(6) 养殖与野生的自然杂交动物。释放或逃逸的人工繁育个体在野外与原产地分布的野外种群杂交产生的后代。已有研究表明, 诸如大西洋鲑 (*Salmo salar*)、加利福尼亚钝口螈 (*Ambystoma californiense*) 的人工繁育个体与野外种群的自然杂交影响了它们野外种群的保护 (Hindar et al, 2006; Fitzpatrick & Shaffer, 2007)。从物种保护的角度考虑, 为防止释放养殖大鲵 (*Andrias davidianus*) 与野外种

群杂交造成负面影响,应开展遗传评估(Yan et al, 2018)。

(7)放生/逃逸/引入动物。在人工控制条件下繁育的野生动物物种在种群增殖后开展原产地野外重引入的动物,如麋鹿(*Elaphurus davidianus*)和野马(*Equus ferus*);渔业部门放流到自然/半自然水域的人工繁育的水生动物;部分民间放生的人工繁育动物,及人工繁育逃逸到野外存活的动物。

(8)人工繁育子二代及其后代。在这一状态类别上,《野生动物保护法》(2016年修订版)和CITES公约对标本来源的要求类似,即在人类控制条件下已经繁育到子二代及以上。为区别驯养动物,其直系血亲可能还有野外来源。CITES公约将直系血亲解释为世系的前四代(CITES Conf. 10.17 (Rev. CoP14))。

(9)驯养动物。经过一定时期的人工繁育,已经形成稳定的人工种群,直系血亲中无野外来源,但人工选择的时间还不够长,不被认为是驯化动物。一些动物因人类对特定表型的需求(如宠物、皮张)可能快速选育出品种,但也有不少繁育群体在表型和基因频率与野外种群差异不显著,或者在行为上没有显著的变化(Kukekova et al, 2018)。如目前人工饲养的梅花鹿(*Cervus nippon*)、马鹿(*C. elaphus*)、貉(*Nyctereutes procyonoides*)等,及部分用于科学研究的实验动物,如食蟹猴(*Macaca fascicularis*)、雪貂(*Mustela putorius*)。这类状态相对复杂,虽然不是严格意义上的野生动物,但因存在对野外种群或相似物种的可能影响,宜参考CITES公约的物种列入相似性原则、预防性措施和合法来源判定操作,采用证书管理、注册机制和公开数据库等可追溯系统监管。

(10)外来动物。源自野外种群或人工种群,由人类有意或无意携带到一个新的生态系统中,在自然环境中建立了可自我维持种群的动物。如南欧的和尚鸚鵡(*Myiopsitta monachus*)种群已经开始从城市和乡村往自然保护区扩散(Postigo et al, 2019);我国南方一些自然水域已有牛蛙(*Lithobates catesbeianus*) (Bai et al, 2012)、红耳龟(*Trachemys scripta elegans*) (Xu et al, 2012)等外来物种建立入侵种群;新西兰引入的一些狩猎动物(如大型鹿类等草食哺乳动物, Latham et al, 2020)、欧亚大陆引入的美洲皮毛动物(如麝鼠(*Ondatra zibethicus*, Bos et al, 2019)等,它们在自然中也已建立种群,这些种群会对原

生物种和自然生态系统带来负面影响。但是,如曾被作为宠物进行贸易的濒危物种小葵花鸚鵡(*Cacatua sulphurea*),逃逸后在香港建立了野化种群,它们也可能成为濒危物种的异地保护种群(Gibson & Yong, 2017)。

(11)流浪猫狗/放生禽畜/野化家养动物。即离开人类控制、在自然中生存繁育不受人类控制的驯化动物。如高原地区被遗弃的流浪狗、自然水域放生的家鱼,或已经野化的澳洲野狗等,这些进入到自然的驯化动物可能对野生动物带来负面影响。

(12)驯化动物/模式动物。经过人类历史长期驯化但仍生活在人类控制条件之下的动物,最常见的如家猫、狗、马、家驴、家牛、山羊、绵羊、家猪、鸡、鸭、鹅、家鸽、家蚕等;在科学研究的强人工选择下,近代已经形成一些实验模式动物类群,用于对生物演化、遗传发育或人类疾病开展研究,如果蝇(*Drosophila melanogaster*)、斑马鱼(*Danio rerio*)、非洲爪蟾(*Xenopus laevis*)、大鼠(*Rattus norvegicus*)、小鼠(*Mus musculus*)等。

这12种类型如果从人类控制管理干预的强度和人工选择时间长短这两个维度的连续变化来描述,属于3种不同的人类管理控制强度,以及4个不同的人工选择阶段,可用下图来描绘动物的“野性”(图1)。

第1到第8类无论其是否处在自然环境中都被视为野生动物,第11和12类是经过强人工选择的动物,无论所处什么位置都不是野生动物。在第9到10类中,由于经过一定程度的人工选择,所处人类控制情况和对野外种群的影响各异,其是否应被作为野生动物管理则需要根据管理和保护的目标设定范围。

人类有意无意将动物置于一些特定的状态中,有些人类活动有一定负面影响,如从野外捕捉个体、捡拾卵蛋、随意放生或造成外来动物入侵;有些被认为有助于野外种群恢复,如将人工孵化育幼后的亚成体放归、将人工繁育后代放归野外的重引入项目或增殖放流;还有一些对野外种群的影响以间接为主,如近百年来兴起的特种养殖等,其中绝大多数都应该被纳入法律监管和保护的范围。

4 我国《野生动物保护法》因“野生动物”术语定义而产生的问题

《野生动物保护法》(2016年修订版)在第一章

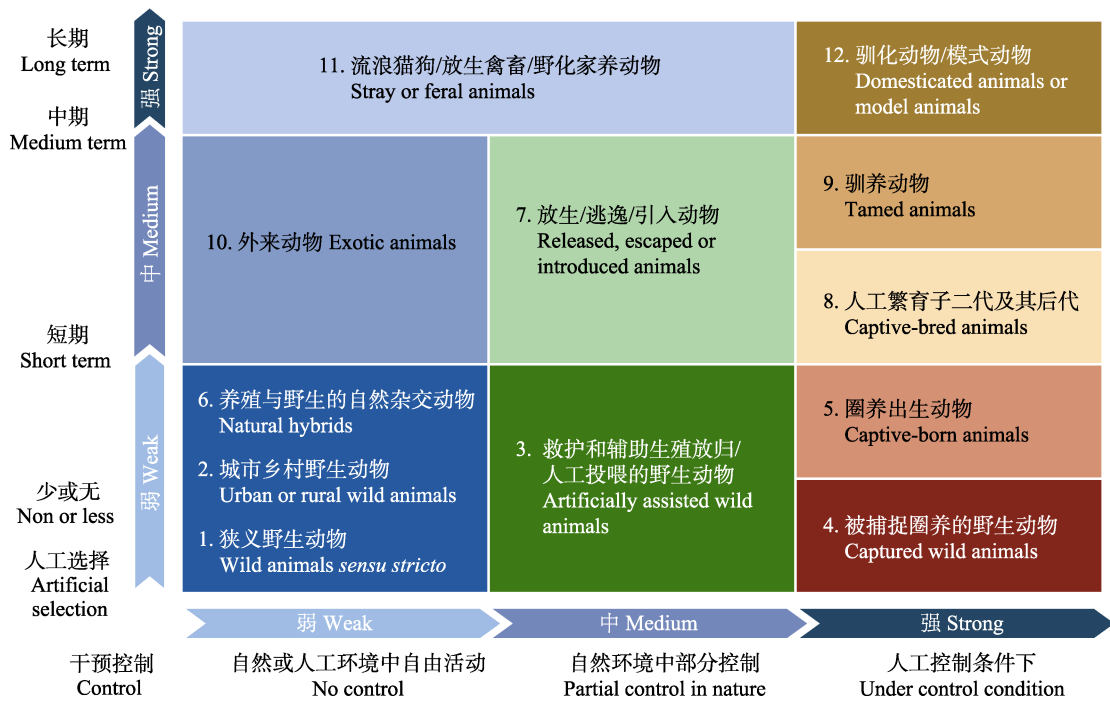


图1 “野生动物”概念二维框架
Fig. 1 The two-dimensional conceptual framework for the “wild animal”

“总则”的第二条第一款中阐述了法律适用的地域范围是“在中华人民共和国领域及管辖的其他海域”;第二款规定保护的物种对象是“珍贵、濒危的陆生、水生野生动物和有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物(陆生三有)”;物质属性是“本法规定的野生动物及其制品,是指野生动物的整体(含卵、蛋)、部分及其衍生物”;但没有对“野生动物”做出规定。

这与1988年《野生动物保护法》第一版的描述具有一定差别。第一版第一章“总则”第二条第三款标明了“本法各条款所提野生动物,均系指前款规定的受保护的野生动物”,即明确了野生动物就是两个名录:“珍贵、濒危的陆生、水生野生动物”和“有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物(原陆生三有)”中的动物。

比较而言,反而是《野生动物保护法》(2016年修订版)在修订时删除了“野生动物”一词的术语限定。这一删除直接影响了《野生动物保护法》(2016年修订版)后续一些条款的适用范围。如:第一章第三条第一款“野生动物资源属于国家所有”、第三章野生动物管理相关条款中所有涉及非国家重点保护动物的活动,包括妨碍野生动物生息繁衍、猎捕及其工具、出售、利用、运输、从境外引进、释放活体和检疫证明等。

没有“野生动物”术语限定的《野生动物保护法》(2016年修订版)中,从字面意义上来看,理应将这些条款适用于动物界的所有动物。从资源的归属和从境外引进两个条款角度观察,将法律适用于所有“野生动物”看似具有合理性,比如对未列入任何名录的新物种和新发现,其资源归属也明确应属于国家。而且各主管部门也在依法审批非国家重点保护名录和非公约附录所列的境外引进野生动物。

但涉及妨碍野生动物生息繁衍和猎捕等人类活动时,如果根据以上条款,则相关管理活动将无限扩大适用范围,波及所有“非国家重点保护野生动物”,包括苍蝇、蚊子等。当然人们从未据此实施过。反之,如果《野生动物保护法》中的“野生动物”只限定国家重点、陆生三有和地方重点,则其他非保护野生动物的归属以及管理则存在不确定性。

综上,模糊不加限定的术语,必然造成人们对法律条款理解上的分歧和执行上的困难。

5 “野生动物”术语在我国法律体系下的定义

我国现行《野生动物保护法》承担着“保护野生动物,拯救珍贵、濒危野生动物,维护生物多样性和生态平衡,推进生态文明建设”的立法目标。参照前述“野生动物”的概念框架,第1到第10类的动

物状态与野外种群的存续相关,应作为《野生动物保护法》完成立法目标需要保护和监管的动物。在此目标之下,现行《野生动物保护法》通过设置分级的名录,将保护和管理限定在部分物种,而不是所有动物类群。

在此框架和立法目标下,必须在法条中明确被监管动物的状态,并限定条款的适用范围。因此,结合1988年的表述,参考前述汇总的术语和概念框架,我们建议将《野生动物保护法》第一章“总则”第二条第三款“本法规定的野生动物及其制品,是指野生动物的整体(含卵、蛋)、部分及其衍生物。”修订为:“**本法各条款所提野生动物,均系指前款规定中所列物种在自然、半自然和人工控制条件下孵化、生长或繁殖的所有活的或死的个体和卵,且包括其任何部分、产品及衍生物**”,明确概括现有法条的适用范围。

在此定义下,第三款的前款需排除被归为第11-12类的动物,但对第9类“人工繁育已成熟,无需依赖野生血缘的受保护物种的人工种群”,可考虑采用证书、标记和注册开展溯源管理。为避免第10类动物的影响,涉及从境外引进非原产动物物种,以及向自然释放非原产动物活体的,应在《野生动物保护法》中考虑监管,并适用其他相关法律加强监管,如《环境法》《动物检疫法》《生物安全法》等。

在2020年新型冠状病毒肺炎疫情暴发后,禁止食用野生动物,加强野生动物保护的呼声越来越高。一些专家学者建议尽快修订《野生动物保护法》,对所有野生动物物种实行普遍保护,并将已经成为《动物防疫法》《传染病防治法》《食品安全法》等法律立法目标的公共卫生安全写入《野生动物保护法》的立法目标。

但通过分析发现,现有法律条款难以通过简单的修订、添加定义和扩大保护范围来达到既要拯救珍贵、濒危野生动物,又要普遍保护野生动物,还要维护人类公共卫生安全的需求。在新的立法目标出现后,需要革新野生动物所涉法律的整体框架。

野生动物各类群在栖息地类型、生态功能、生活史以及动物与人的关系上截然不同。各类群的地理分布、物种丰富度、生物多样性丧失的程度和受威胁因素也各有差异。与此同时,考虑到我国的珍贵、濒危野生植物保护尚缺乏法律可遵照,本文建议可将现有《野生动物保护法》的保护目标/对象和

管理目标/对象拆分。设立《濒危物种保护法》,保护受到人类活动威胁而濒临灭绝的野生生物物种,包括动物界、植物界和大型真菌等,出台《国家重点保护濒危物种名录》,并及时更新。其法律可参考美国《濒危物种保护法案》《加拿大野生生物法案》或印度《野生生物保护法案》的管理目标和框架,并与一些国际协议如《濒危野生动植物种国际贸易公约》《生物多样性公约》《保护野生动物迁徙物种公约》《国际湿地公约》等相接轨。

对于未受到《濒危物种保护法》保护和管理,未列入《国家重点保护濒危物种名录》的1-10类的“野生动物”,及11、12类驯化动物的管理,可根据遗传资源管理、疫病防疫、动物福利和生态安全等需要,另外新设立《动物福利法》和《生物安全法》等,结合现有《渔业法》《动物防疫法》《传染病防治法》《食品安全法》等法律,做好相关条款的修订衔接,解决相关问题。

致谢:感谢审稿专家对概念二维框架提出的修改意见,帮助我们整理思路,指示我们参考更多与动物驯化相关的研究。

参考文献

- Bai C, Ke Z, Consuegra S, Liu X, Li Y (2012) The role of founder effects on the genetic structure of the invasive bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in China. *Biological Invasions*, 14, 1785-1796.
- Belyaev DK, Plyusnina IZ, Trut LN (1985) Domestication in the silver fox (*Vulpes fulvus* Desm): Changes in physiological boundaries of the sensitive period of primary socialization. *Applied Animal Behaviour Science*, 13, 359-370.
- Bos D, Kentie R, La Haye M, Ydenberg RC (2019) Evidence for the effectiveness of controlling muskrat (*Ondatra zibethicus* L.) populations by trapping. *European Journal of Wildlife Research*, 65, 45.
- Child MF, Selier SAJ, Radloff FGT, Taylor WA, Hoffmann M, Nel L, Power RJ, Birss C, Okes NC, Peel MJ, Mallon D, Davies-Mostert H (2019) A framework to measure the wildness of managed large vertebrate populations. *Conservation Biology*, 33, 1106-1119.
- CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (2020) CITES glossary. <https://cites.org/eng/resources/terms/glossary.php>. (accessed on 2020-02-13)
- Décory MSM (2019) A universal definition of 'Domestication' to unleash global animal welfare progress. *dA. Derecho Animal (Forum of Animal Law Studies)*, 10(2), 39-55.

- Driscoll CA, Macdonald DW, O'Brien SJ (2009) From wild animals to domestic pets, an evolutionary view of domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 106 (Suppl. 1), 9971–9978.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2020) FAO Term Portal. <http://www.fao.org/faoterm/en/>. (accessed on 2020-02-13)
- Fitzpatrick BM, Shaffer HB (2007) Hybrid vigor between native and introduced salamanders raises new challenges for conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 104, 15793–15798.
- Futuyma DJ (translated by Ge S, Gu HY, Rao GY, Zhang DX, Yang J, Kong HZ, Wang YF (2016) *Evolution*, 3rd edn. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [葛颂, 顾红雅, 饶广远, 张德兴, 杨继, 孔宏智, 王宇飞 主译 (2016) 生物进化, 第3版. 高等教育出版社, 北京.]
- Gibson L, Yong DL (2017) Saving two birds with one stone: Solving the quandary of introduced, threatened species. *Frontier in Ecology and the Environment*, 15, 35–41.
- Hindar K, Fleming IA, McGinnity P, Diserud O (2006) Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: Modelling from experimental results. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 1234–1247.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature) (1995) IUCN Definitions ENGLISH. https://www.iucn.org/sites/dev/files/iucn-glossary-of-definitions_march2018_en.pdf. (accessed on 2020-02-13)
- Jiang ZG (2003) The discussion on the definition of “Wild Animal”. *Chinese Journal of Wildlife*, 24(4), 2. (in Chinese) [蒋志刚 (2003) “野生动物”概念刍议. *野生动物*, 24(4), 2.]
- Kukekova AV, Johnson JL, Xiang X, Feng S, Liu S, Rando HM, Kharlamova AV, Herbeck Y, Serdyukova NA, Xiong Z, Beklemisheva V, Koepfli KP, Gulevich RG, Vladimirova AV, Hekman JP, Perelman PL, Graphodatsky AS, O'Brien SJ, Wang X, Clark AG, Acland GM, Trut LN, Zhang G (2018) Red fox genome assembly identifies genomic regions associated with tame and aggressive behaviours. *Nature Ecology & Evolution*, 2, 1479–1491.
- Latham ADM, Latham MC, Norbury GL, Forsyth DM, Warburton B (2020) A review of the damage caused by invasive wild mammalian herbivores to primary production in New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, 47, 20–52.
- Ma JZ, Zou HF, Jia JB (2004) *Wildlife Management*, 2nd edn. Northeast Forestry University Press, Harbin. (in Chinese) [马建章, 邹红菲, 贾竞波 (2004) 野生动物管理学 (第二版). 东北林业大学出版社, 哈尔滨.]
- Mallon DP, Price MRS (2013) The fall of the wild. *Oryx*, 47, 467–468.
- Palmer C (2011) The moral relevance of the distinction between domesticated and wild animals. In: *The Oxford Handbook of Animal Ethics* (eds Beauchamp TL, Frey RG). doi: 10.1093/oxfordhb/9780195371963.001.0001.
- Postigo JL, Strubbe D, Mori E, Ancillotto L, Carneiro I, Latsoudis P, Menchetti M, Pârâu LG, Parrott D, Reino L, Weiserbs A, Senar JC (2019) Mediterranean versus Atlantic monk parakeets *Myiopsitta monachus*: Towards differentiated management at the European scale. *Pest Management Science*, 75, 915–922.
- Redford DKH, Amato G, Baillie J, Beldomenico P, Bennett EL, Clum N, Cook R, Fonseca G, Hedges S, Launay F, Lieberman S, Mace GM, Murayama A, Putnam A, Robinson JG, Rosenbaum H, Sanderson EW, Stuart SN, Thomas P, Thorbjarnarson J (2011) What does it mean to successfully conserve a (vertebrate) species? *BioScience*, 61, 39–48.
- Song YL (1994) The management and sustainable utilization of wildlife. In: *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (ed. Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences), pp. 225–258. China Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese) [宋延龄 (1994) 野生动物管理与持续利用. 见: 生物多样性研究的原理与方法 (中国生物多样性委员会), 225–258页. 中国科学技术出版社, 北京.]
- The Bureau of Legislative Affairs of the State Council of the People's Republic of China (1991) *Laws and Regulations of the People's Republic of China Governing Foreign-Related Matters*. China Legal System Publishing House, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国国务院法制局 (1991) 中华人民共和国涉外法规汇编(1949–1990). 中国法制出版社, 北京.]
- Xu H, Qiang S, Genovesi P, Ding H, Wu J, Meng L, Han Z, Miao J, Hu B, Guo J, Sun H, Huang C, Lei J, Le Z, Zhang X, He S, Wu Y, Zheng Z, Chen L, Jarošík V, Pyšek P (2012) An inventory of invasive alien species in China. *NeoBiota*, 15, 1.
- Yan F, Lü J, Zhang B, Yuan Z, Zhao H, Huang S, Wei G, Mi X, Zou D, Xu W, Chen S, Wang J, Xie F, Wu M, Xiao H, Liang Z, Jin J, Wu S, Xu C, Tapley B, Turvey ST, Papenfuss TJ, Cunningham AA, Murphy RW, Zhang Y, Che J (2018) The Chinese giant salamander exemplifies the hidden extinction of cryptic species. *Current Biology*, 28, R590–R592.
- Zhou ZH, Jiang ZG (2004) Definition and extension of the concepts: “Wildlife”, “wild fauna and flora” and “wild origin”. *Acta Ecologica Sinica*, 24, 302–307. (in Chinese with English abstract) [周志华, 蒋志刚 (2004) 野生生物、野生动植物和野生来源的定义及范畴. *生态学报*, 24, 302–307.]

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 周玉荣)



•论坛•

《野生动物保护法》再修订：背景、争点与建议

吕忠梅^{1*} 陈真亮²

1 (清华大学法学院, 北京 100084)

2 (浙江农林大学文法学院, 杭州 311300)

摘要: 《野生动物保护法》的修订已纳入全国人大2020年年度立法计划。现行《野生动物保护法》虽然经过多次修改, 但仍存在野生动物保护范围较窄、监管体制不顺、执法标准不科学、法律制度不完善等问题, 不能适应新时代“健康中国”、“美丽中国”战略协同规制的新需求。全国人大常委会通过的《关于全面禁止非法野生动物交易、革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康的决定》, 为修订《野生动物保护法》带来了良好机遇。目前各方面对于修订《野生动物保护法》既有共识, 也有争议, 呈现出不同利益诉求与立法思维的差异性, 以及立法过程中利益选择、利益表达、利益协调的复杂性。为此, 建议《野生动物保护法》的修订在完善立法目的、合理界定保护范围、健全“黑白”名单制度和许可证制度、优化野生动物保护监管体制、完善激励机制和法律责任制度等方面认真加以研究, 为促进环境治理体系和治理能力现代化“立良法”。

关键词: 野生动物保护法; 再修订; 立法目的; 保护范围; 保护名录; 管理体制

Revision of the Law of the People's Republic of China on the Protection of Wildlife: Background, issues and suggestions

Zhongmei Lü^{1*}, Zhenliang Chen²

1 School of Law, Tsinghua University, Beijing 100084

2 School of Law, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300

Abstract: An amendment to the Law of the People's Republic of China on the Protection of Wildlife has been incorporated into the annual legislative plan for 2020. Although the current Law has been revised many times, its existing problems, such as a narrow scope of wildlife protection, outdated regulatory system, uninformed law enforcement, and imperfect legal system, do not meet the new requirements and regulations put forth in the “Healthy China” and “Beautiful China” era. The decision to ban illegal wildlife trade altogether, eliminate the abuse of wild animals, and ensure people's health and safety that was adopted by the Standing Committee of the National People's Congress provides a good opportunity for revising the Law. We suggest that the revision of the Law should be carefully studied and implemented in the legislative process by reasonably defining the scope of protection, improving the “black and white” directory and licensing system, optimizing wildlife protection supervision and responsibility, and properly handling coordination with other relevant laws. These steps will promote the modernization of the environmental management system and its capacity.

Key words: amendments of Law of the People's Republic of China on the Protection of Wildlife; re-revision; legislative purpose; protection scope; protected directory; management system

2020年2月24日, 全国人大常委会审议通过《关于全面禁止非法野生动物交易、革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康的决定》(以下简称《决定》), 并宣布已将《野生动物保护法》的修订纳入2020年年度立法计划, 意味着启动了该法的

再次修订程序。此次修法与上次修法(2016年)仅间隔四年, 可谓迅速; 但透过表象, 是人民群众对保障公众健康和公共安全的新期盼成为了修法的新动力。随着经济社会的发展和人民生活水平的不断提高, 全社会对生态环境保护与社会文明的新需求

收稿日期: 2020-03-27; 接受日期: 2020-05-18

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: 250269528@qq.com

日益增加，现行《野生动物保护法》明显暴露出与人民群众对公众健康和公共安全新期盼之间的差距，修订《野生动物保护法》成为加强生态文明法治建设的一个重要命题。但是，实现保护生物多样性、保障公众健康和公共安全的目标，绝非修订法律、更非修订一部《野生动物保护法》所能完成。因此，在立法过程中认真听取各种不同的利益诉求，慎重协调各种利益关系，妥善处理各种利益保护方式，是实现“生态善治”奠定“良法”基础的必要过程。

1 修法背景：《野生动物保护法》的实施现状及存在问题

现行《野生动物保护法》于1988年颁布，迄今做过3次小的修正和1次大的修订。该法确立了对野生动物“保护优先、规范利用、严格监管”的基本原则并建立了相关保护制度和措施。我国先后加入了《濒危野生动植物种国际贸易公约》《生物多样性公约》《跨界鱼类种群和高度洄游鱼类种群的养护与管理协定》《养护大西洋金枪鱼国际公约》《国际捕鲸管制公约》等有关野生动物保护的公约或条约以及联合国大会通过的《世界自然宪章》，承担大国责任并积极参与野生动物保护的国际合作。

客观地看，经过多年努力，我国已经初步建立了野生动物保护的法律制度体系，通过名录管理和行政执法，野生动物保护和生物多样性保护都取得了积极进展。但是，随着人民群众对美好生活的新期待和“美丽中国”建设步伐的加快，野生动物保护法律制度的一些不足也逐渐暴露。近年来，人畜共患疾病多发乃至致人死亡的事件在世界范围内屡屡发生。我国环境与健康风险管理工作面临巨大压力，环境与健康风险管理基础数据缺乏、技术支撑不足等问题依然突出；环境与健康风险管理制度建设、公民环境与健康素养水平与经济社会发展的协调性亟待增强。尤其是近年来发生的一些突发公共卫生事件，凸显一个法律“短板”：已经基本形成的中国特色社会主义法律体系中，有效保障公众环境与健康权益的法律供给严重不足。其外在表现是：野生动物保护法律制度缺乏对于公众健康保障的目的性考量，多头立法、单项立法导致不同法律间的矛盾与冲突，法律的系统性、协调性、空间性不足，未能实现对“健康中国”和“美丽中国”战略的协同规制。

1.1 “只保护重点野生动物”的取向难以实现保护生物多样性的立法目标

现行《野生动物保护法》规定了“保护野生动物，拯救珍贵、濒危野生动物，维护生物多样性和生态平衡，推进生态文明建设”的立法目标，明确了本法规定保护的野生动物“是指珍贵、濒危的陆生、水生野生动物和有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物”。这将法律保护的野生动物限定在较小范围内，体现的是以鼓励开发利用野生动物为主的立法取向；同时，该法第38条规定可以自由、自主地放生野生动物，未提出风险评估和审核许可要求。这也在一定程度上弱化了该法所确立的生物多样性保护目标，对可能造成的生物入侵、公共安全及公众健康风险等潜在威胁缺乏严格规制与风险预防措施。

为实施《野生动物保护法》，《陆生野生动物保护实施条例》《水生野生动物保护实施条例》《濒危野生动植物进出口管理条例》《国家重点保护野生动物驯养繁殖许可证管理办法》等行政法规规章先后发布。根据威科法律数据库(<https://law.wkinfo.com.cn>, 检索时间2020年2月1日)的检索结果，全国约有20个省(自治区、直辖市)颁布了实施性地方法规、规章并进行过相应的修订或修正。浙江、云南、河北等还颁布了省级陆生野生动物保护条例。这些国家和地方立法基本上按照保护“珍贵、濒危的陆生、水生野生动物和有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物”的思路，将有重要生态、科学、社会价值的“水生”野生动物，以及非“重点”保护的一般动物(比如实验动物、畜禽、宠物、娱乐动物、流浪动物等)排除在外。

从立法实践看，对一般动物的保护并非完全没有法律涉及，只是分散在《畜牧法》《动物防疫法》《渔业法》《食品安全法》《进出境动植物检疫法》等法律，以及《实验动物管理条例》《兽药管理条例》《动物源性饲料产品安全生产管理办法》等法规规章中。这些法律法规规章虽涉及动物及其保护，但立法宗旨各异、立法形式和效力层级不同。比如《畜牧法》是“为了规范畜牧业生产经营行为，保障畜禽产品质量安全，保护和合理利用畜禽遗传资源，维护畜牧业生产经营者的合法权益，促进畜牧业持续健康发展”；《动物防疫法》是“为了加强对动物防疫活动的管理，预防、控制和扑灭动物疫病，促

进养殖业发展,保护人体健康,维护公共卫生安全”;《实验动物管理条例》是“为了加强实验动物的管理工作,保证实验动物质量,适应科学研究、经济建设和社会发展的需要”。这些立法基本上未将野生动物保护纳入立法目的,更缺乏对生物安全和生物多样性保护的统筹考虑。

1.2 “集管理与监督于一体”的监管体制难以贯彻“保护优先、规范利用”的基本原则

《野生动物保护法》第7条规定:“国务院林业草原、渔业主管部门分别主管全国陆生、水生野生动物保护工作。县级以上地方人民政府林业草原、渔业主管部门分别主管本行政区域内陆生、水生野生动物保护工作。”据此,国务院林业草原、渔业主管部门既有权制定重点保护野生动物名录,也有权发放野生动物资源利用许可证,还有权对野生动物保护情况进行监督执法。这导致主管部门的监督与管理职能合一,一个部门“既作运动员、又作裁判员”,影响法律的有效实施,不利于“保护优先”原则的贯彻落实。

实际上,野生动物资源的开发利用和保护涉及多种行为,有监管职责的除林业草原、农业农村主管部门外,至少还与生态环境、市场监管、卫生健康、公安等部门的职责有关,但各部门执法的法律依据并不相同。由于多部法律法规之间缺乏协调,导致各部门的监管范围和职责存在一定交叉、重叠甚至冲突。同时,由于缺乏系统科学的溯源体系和监督检查方式,导致现实中难以区分野生动物个体或制品的合法/非法来源,出现许可证发放后的监管乏力、执法不严、执法怠惰等问题。比如,“捕猎—运输—贩卖—消费”野生动物的黑色利益链时隐时现,有的“野味”市场和网络交易平台商家利用驯养繁殖许可证、经营利用许可证、狩猎证、生产专用标识,专门从事名为养殖、狩猎实为贩卖的“洗白”交易。再如,野生动物被捕获后申报动物检疫的极少,持动物防疫合格证销售野生动物的极少,市场监管缺位现象十分严重。这也使得“规范利用”原则难以落实。

1.3 “分部门制定名录”模式不能提供“严格监管”的科学标准

《野生动物保护法》第10条规定:“国家对野生动物实行分类分级保护。国家对珍贵、濒危的野生动物实行重点保护。国家重点保护的野生动物分为一级保护野生动物和二级保护野生动物。国家重

点保护野生动物名录,由国务院野生动物保护主管部门组织科学评估后制定,并每五年根据评估情况确定对名录进行调整。国家重点保护野生动物名录报国务院批准公布。……有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录,由国务院野生动物保护主管部门组织科学评估后制定、调整并公布”。根据该法授权,相关名录由林业草原部门、农业渔业部门分别制定。

到目前为止,国家先后发布了8个相关名录,包括:(1) 1989年经国务院批准,原林业部和农业部发布的《国家重点保护野生动物名录》(2003年2月21日,原国家林业局对该名录进行了调整,将麝科麝属(*Moschus spp.*)所有种由国家二级保护野生动物调整为国家一级保护野生动物);(2) 2000年原国家林业局发布的《国家保护的有益的或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物名录》;(3) 2006年原农业部发布的《国家级畜禽遗传资源保护名录》(2014年,农业部对该名录进行了修订);(4) 2007年原农业部发布的《国家重点保护经济水生动植物资源名录》;(5) 2017年原国家林业局发布的《人工繁育国家重点保护陆生野生动物名录(第一批)》;(6) 2018年农业农村部发布的《〈濒危野生动植物种国际贸易公约〉附录水生动植物种核准为国家重点保护野生动物名录》;(7) 2017年原农业部发布的《人工繁育国家重点保护水生野生动物名录(第一批)》;(8) 2019年农业农村部发布的《人工繁育国家重点保护水生野生动物名录(第二批)》。

分析这些名录可以发现一些明显问题:一是《国家重点保护野生动物名录》的保护种类范围过窄、数量过少,且没有及时进行更新和拓展;二是《人工繁育国家重点保护野生动物名录》的种类数量扩张较快,并且已将许可权限下放到县级部门;三是对于家畜家禽和人工饲养、合法捕获的“其他动物”没有分类分级保护名录;四是名录分级分类的标准由不同部门确定,导致一些“两栖”动物归属不明。此外,国家级和地方级重点保护野生动物栖息地名录与国家级、地方级自然保护区、国家公园存在一定的交叉和重叠。这些问题的存在,使得名录制度不能起到为严格监管提供科学依据的作用。

现行《野生动物保护法》存在的问题,有的曾在过去的修法方案中被提出但修订难度很大,比如扩大野生动物保护范围、加大对养殖野生动物行为

的限制等，都在2016年的修法草案中提出过，却因各种原因未能完成修订(中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会，2016)。在国务院机构改革之后，中共中央、国务院《关于构建现代环境治理体系的指导意见》发布之际，《野生动物保护法》的再次修订迎来了最佳窗口期。经调研，各方面对解决野生动物保护的立法目标、体制机制、执法标准等问题呼声强烈、期望很高。

2 主要争点：《决定》对《野生动物保护法》修订的影响及对相关问题的不同解决方案

2020年2月24日，全国人大常委会审议通过的《决定》，是全国人大常委会履行宪法和法律规定的制定法令、解释法律、修改法律、补充法律、批准条约等职权的立法活动，具有解释法律和补充法律的双重作用。笔者认为，《决定》对《野生动物保护法》的修订在立法目的、“野生动物”的法律概念及保护范围、监管体制、监管方式、法律责任等方面都有直接的指导作用(曹俊，2020)。近一段时间，理论界与实务界围绕贯彻实施《决定》和对《野生动物保护法》的修订进行了热烈讨论，各种利益诉求表达非常充分。这些讨论所聚焦的问题和达成的基本共识能够为修法工作奠定良好的民意基础，立法机关可以分析后加以吸纳。为此，本文选取了两份相对完整并具有学科代表性的《野生动物保护法》修订建议作为分析样本，一份是中国法学会行政法学研究会提出的修法建议(以下简称“行政法学者建议稿”)(http://iolaw.cssn.cn/jyxc/202002/t20200214_5088725.shtml，获取时间2020年3月20日)，另一份是北京大学自然保护与社会发展研究中心等九家单位联合提出的修法建议(以下简称“联合建议稿”)(http://www.fon.org.cn/index.php?option=com_k2&view=item&id=14012:2020-02-20-14-05-51，获取时间2020年3月20日)，以观察法学界和环境保护界对同一问题的不同观点。同时，兼顾一些重要的学术观点和相关部门的执法实践，归纳出修订《野生动物保护法》的五个重点问题，以展示立法活动中不同利益诉求与不同利益表达方式须经过法定程序加以协调才能最终形成国家意志的过程。

2.1 《野生动物保护法》的立法目的是否应该以及如何修订？

《决定》明确了“维护生物安全和生态安全，有

效防范重大公共卫生风险，切实保障人民群众生命健康安全，加强生态文明建设，促进人与自然和谐共生”的目标要求。两个建议稿均认为应该对《野生动物保护法》的立法目的进行修订，但对如何修订有不同方案。

“行政法学者建议稿”的方案是：确立野生动物普遍保护的理念，同时引入公共卫生和健康的视角，在立法目的中增加有关尊重生命、倡导文明和维护人群健康和生物安全方面的内容；在立法原则上，增加生命伦理和生物安全的内容。

“联合建议稿”的方案是：在确立野生动物普遍保护理念的同时，引入公共卫生和健康的视角，强调从公共卫生的维度开展野生动物保护，建议将“保障生态安全与公共卫生安全”纳入立法目的。

也有个别学者认为：野生动物保护法立法目的的调整需要慎重考虑，“保障公众健康和公共卫生安全”、“尊重生命伦理”等内容不宜加入到立法目的中，这些内容不属于《野生动物保护法》的调整范围。为此，有学者建议分别立法，在执法过程中再根据不同场景适用适当的法律(蒲晓磊，2020)。

2.2 《野生动物保护法》中的“野生动物”应该如何界定？

《决定》扩大了“野生动物”的禁食范围，意味着受法律保护的野生动物范围已不再是现行《野生动物保护法》规定的“重点保护动物”和“有重要生态、科学、社会价值的”“三有”动物，修法时必须重新定义受法律保护的“野生动物”概念。两个建议稿对重新界定“野生动物”没有分歧，但对定义方式有不同意见。

“行政法学者稿”建议借鉴有关国际公约和国际惯例，重新对野生动物进行界定。除却一些经科学论证明显对人类有害可不用保护的野生动物，其他的一切野生动物都应纳入立法保护的范畴，并依据野生动物的生态功能与种群现状等实行分类保护。

“联合建议稿”则提出要明确“野生动物”的定义，扩大《野生动物保护法》适用范围至所有野生动物；厘清《野生动物保护法》和其他法律之间的关系，将一部分野生动物纳入其他相关法律的规定范围；不再保留“有重要生态、科学、社会价值”的“三有”概念。建议借鉴有关国际公约和国际惯例，将“野生动物”定义为“生活在自然状态下和人工环境里未经人类驯化的动物”。

2.3 《野生动物保护法》是否应该确立“黑、白”名单以及如何确立?

《决定》明确将列入畜禽遗传资源目录的动物排除在禁食范围之外,规定因科研、药用、展示等特殊情况下可以对野生动物按照国家有关规定进行非食用性利用,并要求对《国家级畜禽遗传资源保护名录》及时进行调整。对《决定》规定的“黑、白”名单制度是否应“平移”至《野生动物保护法》,甚至是否应该制定“白名单”,各方面有不同认识,比如北京林业大学野生动物研究所时坤教授认为禁止食用野生动物不存在“黑白名单”(https://guancha.gmw.cn/2020-03/06/content_33625525.htm)。两个建议稿对“黑、白名单”的具体内容也有不同方案。

“行政法学者稿”主张建立“黑名单”制度,建议将可食用的野生动物限定在极小范围内,采用清单式管理,清单外的一律禁止食用。借鉴国际公约的名录做法,公布不可食用的野生动物及其制品名录,将地方保护的非珍贵、濒危野生动物,传统的“三有”动物,以及那些可能更容易引发公共卫生问题的动物(如刺猬、蝙蝠、穿山甲、蜈蚣、毒蛇等)可以考虑采取特殊保护措施,允许科研利用和灭杀,但严禁食用。将可食用野味等同于肉类食品予以严格监管,实行严格的检验检疫制度。

“联合建议稿”则提出了建立“黑、白”名单制度,具体建议为:根据名录和许可,对野生动物利用进行分类管理;依照科学原则,及时制定和更新名录。将野生动物分为国家和地方重点保护野生动物和一般保护野生动物,对于列入国家重点野生动物保护名录和地方重点保护野生动物保护名录的野生动物实行严格保护;除因科学研究、种群调控、迁地保护、疫源疫病监测或者其他特殊情况向野生动物保护行政主管部门申请许可后方可猎捕外,禁止猎捕、杀害野生动物,野外捕猎的野生动物不得用于商业目的或进入市场进行交易和利用;对人工繁育陆生野生动物,明确划分商业与非商业目的,区别管理;为满足一定条件的动物建立保护性的“特种繁育动物名录”。

也有学者认为:《决定》中规定的列入畜禽遗传资源目录的动物属于家畜家禽,应适用《畜牧法》的规定,实行以畜禽遗传资源目录为标准的正面清单管理,扩大家畜家禽的范围,对目录的设置提出了非常高的要求。事实上,家畜家禽的范围即使再

扩大也不能囊括所有可安全利用的野生动物,比如不属于家畜家禽的两栖类和爬行类动物;也不能囊括事实上被长期安全利用的国家重点保护动物,如梅花鹿。对此,《野生动物保护法》应当明确要求,尽快出台配套细则,将畜禽遗传资源目录扩充为安全驯养动物目录(蒲晓磊,2020)。

2020年5月1日起生效实施的《深圳经济特区全面禁止食用野生动物条例》将可以食用的动物规定为“国家畜禽遗传资源目录所列的猪、牛、羊、驴、兔、鸡、鸭、鹅、鸽、鹌鹑以及该目录所列其他以提供食用为目的饲养的家禽家畜,以及依照法律、法规未禁止食用的水生动物”。该地方立法建立了“白名单”制度,进一步扩大了全国人大《决定》的禁食范围。

2.4 《野生动物保护法》的监管体制应该如何建立?

《决定》要求各级人民政府及其有关部门健全执法管理体制,为《野生动物保护法》的修订与完善监管体制机制提供了依据。目前,各方面对于进一步完善野生动物保护执法管理体制已有共识,但对于如何建立健全监管体制则有不同方案。两份建议稿均提出成立专门的野生动物保护局作为执法部门,对于是否建立以及如何建立协调机制、监督机制有不同认识。

“行政法学者稿”建议将陆生野生动物保护职能划归自然资源部,在自然资源部成立野生动物保护局,一方面提高其法律地位,增加其行政资源;另一方面可以利用自然资源部门的管理和执法力量,有效提高管理和执法水平。

“联合建议稿”提出,整合林草部门和农业渔业部门的野生动物保护职责后划归自然资源部,在自然资源部成立野生动物保护局;明确生态环境部负有监督全国陆生、水生野生动物保护执法情况,对林业草原、农业农村主管部门的野生动物保护执法工作提出监督和加强执法意见的具体职责。同时,设立独立和公开的科学委员会,指导并监督相关配额制定、名录设定和更新调整等专业性问题。

在实践层面,地方林草、农业、生态环境等部门也提出了《野生动物保护法》与《环境保护法》所建立的生态环境监管体制是否需要衔接以及如何衔接的问题。

2.5 《野生动物保护法》的法律责任制度应如何完善?

《决定》明确规定,加大对野生动物非法交易行

为的惩罚力度，明确加重处罚和新增处罚的内容，体现出提高违法成本、完善法律责任制度的明确导向。对此，各方面的意见高度一致，但提出的完善法律责任制度的侧重点有所不同。

“行政法学者稿”的建议相对系统，从提高行政处罚标准、修改刑法两个方面提出了强化法律责任的建议。具体为提高行政处罚额度，将现行《刑法》第341条修改为“非法猎捕、杀害、运输、贩卖、购买和食用野生动物罪”和“非法收购、运输、出售野生动物制品罪”，同时增加“虐待野生动物罪”。

“联合建议稿”认为应补充规定禁止生产、经营、运输、携带、寄递野生动物及其制品制作的食物(包括特种繁育动物及其制品制作的食物)及法律责任；同时，规定非法消费野生动物行为的法律责任。

本质上看，立法决策实际上是对各种利益诉求按照一定价值取向或者标准的取舍，不同利益诉求的充分表达和博弈是形成国家意志的必经之路。不同的建议方案实际上代表着不同的利益诉求。立法决策者对于各种不同的利益诉求不应简单地采纳或排斥，而是要经由立法程序，在立法机关内部形成初步方案后，面向社会全体成员征求意见。在各方面反复的利益表达、利益协商、利益妥协过程中，逐步达成多数人的意见，最终形成具有法律效力的法律。立法过程的民主化，是法律能够得到社会更好认同和遵守的前提。理性分析各种不同意见，事关立法决策的科学化。

3 具体建议：对《野生动物保护法》修订重点问题的基本思路

《决定》发布后，国家林草局、农业农村部、生态环境部出台了实施方案，并在实践中加大了执行力度。这些实践对《野生动物保护法》的修订具有很好的经验积累作用。按照全国人大常委会的立法计划，2020年将制定《生物安全法》，启动《野生动物保护法》及相关法律法规的修订工作，目的在于通过立法建立“安全阀”，控制环境与健康“风险源”，完善我国的生物安全和公共卫生立法体系。这也为更好修订《野生动物保护法》提供了难得的系统性立法契机。

野生动物保护事关人类可持续发展全局，是建立和维护“全球生命共同体”的重要内容。从世界范围看，人类在野生动物保护方面面临着四个难题：

一是宏观上解决人类与野生动物、野生动物与动物、野生动物保护与生态系统保护之间的关系问题。二是微观上解决来自各个方面的对野生动物及其栖息地的威胁问题。三是应对野生动物给人类社会和生态系统带来的威胁的具体措施。四是根据各国国情，综合考虑野生动物资源分布、立法体制、立法技术、文化传统和管理水平等各方面因素，合理选择野生动物保护立法模式问题。因此，笔者认为《野生动物保护法》的修订还应该有更高的站位和更开阔的视野，理性审视存在的问题，综合考虑立法价值取向与立法技术的有机结合，妥善处理《野生动物保护法》与相关法律的关系，为促进国家治理体系和治理能力现代化“立良法”(曹俊，2020)。根据当前对《野生动物保护法》修订重点问题的归纳，结合我们前期所进行的调查研究工作，对贯彻落实《决定》精神，提出如下修订《野生动物保护法》的思路性建议。

3.1 增加“保障公众健康和公共卫生安全”的立法目的

现行《野生动物保护法》将立法目的确定为保护生物多样性是正确的，但其“就野生动物保护谈野生动物保护”的立法思维缺乏对野生动物保护所可能涉及的生态安全、公共卫生安全风险的相关性考虑。尤其是对“野生动物”的法律内涵界定较窄，没有把与公众健康和公共卫生安全有关的动物纳入保护范围，导致一些“野生的动物”没有纳入法律调整范围，不能从法律上对相关交易、食用行为加以遏制。因此，有必要将保障公众健康、维护公共卫生安全的理念在《野生动物保护法》中加以体现，并以此为基础进行相关制度的衔接性安排，通过重新定义“野生动物”以弥补现行法律的不足。按照新的价值目标对《陆生野生动物保护条例》《水生野生动物保护实施条例》《国家重点保护野生动物驯养繁殖许可证管理办法》等相关法规规章进行评估，统筹考虑我国动物保护立法体系的建构，决定是否有必要在《野生动物保护法》以外，对一般动物、实验动物、伴侣动物等进行分层次专门立法，进一步促进我国动物保护立法的综合化和体系化。

同时，将《野生动物保护法》适用范围扩大至所有野生动物，除了非国家重点保护的水生野生动物适用《渔业法》等法律以外，对农业、林业、公共卫生有影响的陆生野生无脊椎动物，以及可作为

特种繁育陆生野生动物进行商业利用的人工繁育种群,适用《农业法》《森林法》《传染病防治法》《畜牧法》《动物防疫法》等法律进行管理。

3.2 重新界定“野生动物”概念

根据《决定》精神,将《野生动物保护法》的适用范围扩大到没有被人类驯化且生活在自然界中的所有动物。我们从已经收集到的9个国家、2个地区与野生动物保护相关的规范文件以及3个国际组织或公约对“野生动物”的法律定义来看,这些法律定义存在着科学性、细致程度上的差异。其中,加拿大《野生动物法》《濒危物种法》,美国《鱼类和野生动物协调法》《雷斯法案》,澳大利亚《国家公园和野生动物法》《环境与生物多样性保护法》对野生动物的相关定义具有借鉴价值。应尊重野生动物保护的科学规律,考虑人工控制管理干预的强度和人工选择时间长短的连续变化因素,对“野生动物”的概念进行合理定义(曾岩等,2020)。

我国可采取概括和列举相结合的立法技术方法,对野生动物、国家重点保护野生动物、CITES公约附录I和附录II中的野生动物、难以人工繁育的野生动物(如虎、狮、熊等)等术语进行界定。同时对《畜牧法》《动物防疫法》《森林法》《农业法》《渔业法》《食品安全法》等法律中的“动物”或“野生动物”的概念采取“打包修法”方式进行统一修改,以保证法律定义的内在统一、法律制度的协同配合。

3.3 完善名录制度和许可证制度

野生动物保护涉及生物学、生态学、环境科学等多个自然科学领域,《野生动物保护法》的核心制度是“名录”和“许可”。“名录”的提出、确定和调整在很大程度上有赖于科学研究成果,“许可”必须建立在科学的“名录”基础之上。现行野生动物保护法实施中出现的很多问题都与“名录”、许可证的不科学管理直接相关。要将《野生动物保护法》修订得既“管用”又“好用”,必须采取法律和科技相结合的方式,由科学家与法学家紧密合作,共同完成野生动物保护立法中的科学技术规范法律化和法律技术规范工作。

《野生动物保护法》中的“名录制度”应包括与制定“名录”有关的调查、评估、调整等相关主体与程序规定。在国家层面应建立由生态环境保护、经济管理、社会治理、法律等相关领域专家组成的专家委员会,负责提出统一的野生动物保护名录并及

时评估调整;制定保护动物的利用规模、程度、方法等科学标准,作为发放许可证的科学依据,从而解决多部门执法、名录不统一、标准不统一问题,减少法律实施中的矛盾与冲突。修法过程中,也应组织专家对现有的各类名录进行生态、经济、社会、法律等方面的评估,提出系统性修改意见。对重点保护野生动物名录、重点保护野生动物栖息地名录,根据生物多样性保护、珍稀濒危物种保护、野生动物栖息地保护、遗传资源保护等不同目的,提出差异化保护建议并提交立法机关审定。对于“黑、白”名单,可以根据保护程度和规模的不同需要,授权国务院相关部门和地方分别发布。

许可证管理是国内外实践已证明对于保护野生动物十分有效的法律制度,应在现有规定的基础上加以完善。充分发挥许可证管理的优势,针对每个监管对象采取具体措施,设定具体许可条件和限制,将开发利用野生动物的规模和程度控制在合理的范围之内,以确保生物多样性保护、生物安全和公众健康立法目标的实现。建立野生动物放生许可制度,许可证发放须以科学论证和风险评估为前置条件,避免造成生物入侵和生态损害。可参考排污许可证综合改革的经验,吸纳其中的合理因素,完善《野生动物保护法》的许可证管理制度。

3.4 优化野生动物保护执法及多元治理体系

野生动物的保护和监管是一项系统工程,涉及中央的林业草原、农业、生态环境、公安、交通运输、动物防疫、卫生健康、市场监管等多个部门和各级地方人民政府及其职能部门的职责权限。现行《野生动物保护法》共出现了42次“野生动物保护主管部门”,但没有对其职责予以具体明确,没有规定县级以上地方人民政府的组织协调职责,导致出现执法中的乱象。因此,修订《野生动物保护法》必须重点解决执法与监管体制问题,明确相关部门的职责权限及其协调原则和机制。应以决策、规划、开发利用、执法、监督权限分设并相互制约为原则,解决不同部门之间的职责分工与协调、合作与协同问题。考虑《野生动物保护法》与《环境保护法》的衔接,建立野生动物保护的统一监管与专业执法分立机制。

在新设立野生动物保护局有相当困难的现实情况下,可考虑从增加管理职能,建立协同、联合执法机制等方面来解决。在明确规定野生动物保

护主管部门为国务院和县级以上地方人民政府的林业草原、渔业主管部门的基础上,由林草部门牵头建立联合执法协调机制,将有相关职能的部门均纳入进来。同时,增加规定县级以上地方人民政府加强野生动物保护和监督管理工作的组织领导和协调职能。

建议将野生动物保护法律法规的执行情况纳入中央环保督察范围,将野生动物保护工作纳入地方党委、政府的生态文明建设绩效考核指标体系,压实地方政府在野生动物保护和管理方面的属地责任,明确野生动物交易监管过程中监管权责的合理分配与归属问题。将野生动物保护工作纳入社会治理体系,综合利用命令控制、市场激励和公众参与等治理手段,提高野生动物保护的制度效能。按照国家环境治理体系与治理能力现代化的总体要求,鼓励公众参与和社会自治,保障各利益相关方的知情权、表达权、参与权、监督权与诉讼权。

3.5 完善激励和约束性法律制度

野生动物的保护和管理涉及面广、环节多,需要相关部门和全社会之间加强沟通、互相配合、协调推进。《野生动物保护法》应建立适当的经济激励和奖励制度,鼓励地方政府、企业主动采取野生动物保护措施;奖励为野生动物保护做出突出贡献的单位、社会组织和个人;将企业和个人相关行为纳入社会诚信体系范围。

明晰的法律责任制对《野生动物保护法》的实施至关重要。应根据新建立的体制机制和主要制度设计相应的法律责任,明确违法利用野生动物的法律责任。在建立权责利相统一的政府权力清单、负面清单、“白名单”和“黑名单”、许可证等制度的基础上,完善政府相关主管部门负责

人及其工作人员的行政责任;强化企事业单位和个人的行政法律责任、民事法律责任和刑事法律责任。建议建立野生动物保护公益诉讼制度、生态环境损害赔偿制度,发挥司法机关监督作用,加强野生动物保护司法;完善野生动物保护社会动员机制,形成野生动物保护的治理合力。

参考文献

- The Standing Committee of the National People's Congress of the People's Republic of China (2016) The Law of the People's Republic of China on the Protection of Wildlife (Revision). China Legal Publishing House, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会(2016)中华人民共和国野生动物保护法(2016年修订版). 中国法制出版社,北京.]
- Cao J (2020) What are the key points of wildlife protection? —Dialogue with Lü Zhongmei, member of the Standing Committee of the 13th CPPCC National Committee, vice president of the China Law Society and head of the China law society environmental and Resource Law Research Society. China Ecological Civilization, (1), 31–38. (in Chinese) [曹俊(2020)野生动物保护:修法要点是什么?——对话十三届全国政协常委、中国法学会副会长、中国法学会环境资源法学研究会负责人吕忠梅. 中国生态文明, (1), 31–38.]
- Pu XL (2020) Three important points for revising the wildlife protection law. Legal Daily, 2020-03-17. (in Chinese) [蒲晓磊(2020)野生动物保护法修改三大看点. 法制日报, 2020-03-17.]
- Zeng Y, Ping XG, Wei FW (2020) A conceptual framework and definitions for the term “wild animal”. Biodiversity Science, 28, 541–549. (in Chinese with English abstract) [曾岩, 平晓鸽, 魏辅文(2020)“野生动物”的概念框架和术语定义. 生物多样性, 28, 541–549.]

(责任编辑:马克平 责任编辑:周玉荣)



•论坛•

国家濒危物种红色名录的生物多样性保护意义

蒋志刚^{1,2*} 江建平^{3,2} 王跃招^{3,2} 张 鄂^{4,2} 张雁云⁵ 蔡 波^{3,2}

1 (中国科学院动物研究所, 北京 100101)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

3 (中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

4 (中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

5 (北京师范大学生命科学院, 北京 100875)

摘要: IUCN濒危物种红色名录与国家濒危物种红色名录都是物种灭绝风险的测度, 前者是全球性评估, 后者则是国别研究。IUCN濒危物种红色名录预警了全球物种的濒危状况, 为全球生物多样性研究提供了大数据; 国别红色名录确定了各国物种受威胁状况, 填补了前者的知识空缺, 两份名录互为补充。目前对国家濒危物种红色名录重视不够。基于如下原因, 应当重视国别濒危物种红色名录的意义: (1) 国家是濒危物种保护的主体, 物种在一个国家的生存状况是确定其保护级别、开展濒危物种保育的依据; (2) 对于仅分布于一个国家的特有物种来说, 其国别濒危物种红色名录等级即是其全球濒危等级; (3) 对于跨国境分布的物种来说, 国别濒危物种红色名录等级则确定了该物种在本国的生存状况; (4) 结合IUCN濒危物种红色名录, 国别濒危物种红色名录为建立跨国保护地、保护迁徙物种的栖息地与跨国迁徙洄游通道提供依据; (5) 国别濒危物种红色名录所特有的“区域灭绝”等级, 反映了一个物种边缘种群在该国的区域灭绝, 恢复“区域灭绝”物种是该物种原分布国重引入保育工作的重点; (6) 国别濒危物种红色名录提供了该国物种编目、分类、分布和生存状况的最新信息。然而, 国别濒危物种红色名录的重要性在许多情况下被忽视了。目前正值全球新冠肺炎大流行, 人们正在重新审视人与野生动物的关系。我国将修订有关野生动物保护与防疫法法律以及《国家重点保护野生动物名录》, 防控新的人与野生动物共患疾病再次暴发。对于确定国家重点保护野生动物物种名录来言, 物种受威胁程度是物种列为国家重点保护物种的特征之一。重视国别红色名录有特别的意义。

关键词: 世界自然保护联盟濒危物种红色名录; 国家/区域濒危物种红色名录; 国家重点保护野生动物名录

Significance of country red lists of endangered species for biodiversity conservation

Zhigang Jiang^{1,2*}, Jianping Jiang^{3,2}, Yuezhao Wang^{3,2}, E Zhang^{4,2}, Yanyun Zhang⁵, Bo Cai^{3,2}

1 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041

4 Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072

5 College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875

Abstract: Both the IUCN Red List of Endangered Species and country red lists of endangered species assess the risk of extinction of species, the former being a global assessment whereas the latter provides regional assessments. The IUCN Red List of Endangered Species alerts the world to the status of endangered species, and also serves as a database of global biodiversity. Country red lists, on the other hand, ascertain the status of species in particular countries, filling knowledge gaps in the former. The two lists are thus complementary to each other. However, insufficient attention has been paid to date to country red lists of endangered species. Country-level red lists should be given greater attention for at least the following reasons: (1) a sovereign

收稿日期: 2020-04-13; 接受日期: 2020-05-20

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0503303)、中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA19050204; XDA23080101)和国家科技基础性专项(2013FY110300)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jiangzg@ioz.ac.cn

country is the main authority for taking conservation action in regard to wildlife species within its boundaries based on the level of endangerment (conservation status) of the species; (2) for endemic species in a country, the country red list status constitutes its global status; (3) for species whose ranges cross national borders, the country's red list status reflects the survival status of the species in the country; (4) combined with the IUCN global red list, the country red list provides a basis from which to consider the establishment of transnational protected areas, the protection of important habitats for migratory species, and the protection of international migration corridors; (5) the category of "Regional Extinction" is unique to country/regional red lists of endangered species, providing an indication of the danger of extinction of the species at the country level; and (6) country red lists of endangered species can provide updated information on the inventory, classification, distribution and status of species in the country. Yet, the importance of country red lists is often overlooked under many different circumstances. Following onset of the global COVID-19 pandemic, however, people's outlook in China has been changing in regard to the relationship between humans and wildlife. Consequently, China will be amending national laws on wildlife protection, epidemic prevention, and the List of State Key Protected Wild Animal Species, in order to better prevent and control emerging zoonoses. The status of wildlife species included in the country red list of endangered species should be one of the defining elements for identifying and updating species on the List of State Key Protected Wild Animal Species in China. Thus, it is critical to recognize the significance of the country red list of endangered species at this special moment in time.

Key words: IUCN Red List of Endangered Species; country/regional red lists of endangered species; List of State Key Protected Wild Animal Species

生物多样性保护是时代主旋律。中国积极参与了全球生物多样性行动,保护了许多旗舰物种,中国生物多样性研究与保护在全球生物多样性研究与保护中已经占据了重要位置(Mallapaty, 2020)。

濒危物种红色名录是物种灭绝风险的测度。

IUCN (International Union for Conservation of Nature) 自诞生之日起,即开始制定濒危物种名单,后来发展为濒危物种红皮书、濒危物种红色名录(蒋志刚和马克平, 2014; Lacher & Hilton-Taylor, 2018)。目前, IUCN濒危物种红色名录汇集了各国的研究成果,评估了116,000个物种,发现超过31,000个种的生存受到威胁,受威胁种数(包括IUCN濒危物种红色名录评估中的极危、濒危、易危三类物种)占已评估物种总数的27% (www.redlist.org)。其中41%的两栖类、34%的针叶树种、33%的珊瑚、30%的鲨鱼、25%的哺乳类以及14%的鸟类的生存受到威胁。尽管目前IUCN濒危物种红色名录尚未达到2020年评估全球160,000个物种的目标,但是IUCN濒危物种红色名录是全球生物多样性的受胁等级编目,影响深远,预警了全球物种的濒危状况,被广泛用于全球濒危物种研究(Rodrigues et al, 2006; Brooks et al, 2019; Cooke et al, 2019)。

世界各国均开展了国别濒危物种红色名录研究,为区域的濒危物种保护积累了重要资料

(Rodríguez, 2008)。近年来,中国研究者也开展了大型真菌(姚一建等, 2020; 魏铁铮等, 2020)、地衣(魏鑫丽等, 2020)、石松类和蕨类(董仕勇等, 2017)、高等植物(覃海宁等, 2017)、内陆鱼类(曹亮等, 2016)、两栖类(江建平, 2016)、爬行类(蔡波等, 2016)、鸟类(张雁云等, 2016)、哺乳类(蒋志刚等, 2016b)的国别红色名录研究。然而,由于种种原因,人们对国别红色名录重要性的认识不足,常常忽略了其应用。国内研究者与保护工作者在评价中国分布的物种的生存状况时,绝大多数都引用了IUCN濒危物种红色名录评估的受胁等级,却很少引用中国的国别红色名录,如《中国生物多样性红色名录》。

为了保护生物多样性,中国在1989年开始实施《中华人民共和国野生动物保护法》(以下简称《野生动物保护法》)。四分之一世纪之后,全国人民代表大会常务委员会组织了《野生动物保护法》的修订,以期适应新世纪的国家生态保护战略和全球环境保护形势。《国家重点保护野生动物名录》(以下简称《国家重点保护名录》)作为《野生动物保护法》的配套法律文件,在《野生动物保护法》制定一年后颁布实施,将中国野生动物濒危种、稀有种和旗舰种纳入了重点保护。《国家重点保护名录》颁布后,保护了中国珍稀濒危物种。随着中国生物多样性研究的深入、物种保护与社会经济的发展带

来的变化,迫切需要更新《国家重点保护名录》。原林业部在1998年,原国家林业局在2000年、2006年、2009年和2011年,国家林业和草原局在2019年初曾专门组织了《国家重点保护名录》修订专家研讨会,召集野生动物专家和有关省市野生動物管理专家就修订调整《国家重点保护名录》进行论证(蒋志刚, 2019)。然而,仅在2006年,为了扭转当时野生麝类种群数量下降的局面,国家主管部门将中国麝类从国家二级重点保护野生动物升级为一级外,《国家重点保护名录》自颁布至今,其他物种的保护级别由于种种原因未曾调整,也未曾增补新发现的种类。学术界和公众要求修订更新《国家重点保护名录》的呼声很高(马克平, 2016; 刘金等, 2019, 平晓鸽和曾岩, 2020)。目前,国家主管部门正在修订《国家重点保护名录》,物种濒危状况是判定物种保护级别的重要依据。国别濒危物种红色名录对于生物多样性保护来说意义重大。

各国对其境内的生物多样性拥有主权和责任(<https://www.cbd.int/convention/>)。国家是受威胁物种保护的主体。因此,国家主管部门依据物种在国内的生存状况评定保护优先顺序,制定保护名录,建立保护地,保护种群,保存或恢复栖息地,必要时采取迁地保护措施。保护濒危物种是国家战略与国家行为。物种在一个国家的生存状况是开展保育行动的依据。一个物种的分布区可能跨越多个国家,如环北极分布种驼鹿(*Alces alces*);也可能仅分布在一个国家,如中国特有的两栖爬行类,大鲵(*Andrias davidianus*)、扬子鳄(*Alligator sinensis*)等。各国的国别濒危物种红色名录反映物种在该国的生存状况,例如,驼鹿在北美洲、欧洲的种群大,分布广,被IUCN濒危物种红色名录评为“无危”(LC),但在中国仅分布在阿尔山和大兴安岭,被中国生物多样性红色名录评为“极危”(CR)。驼鹿在中国的濒危等级是中国制定保护对策、采取保护行为的重要依据。

分布国能及时更新评估特有物种的生存状况。虽然IUCN的目标是扩大濒危物种红色名录评估的种类,以了解全球生物物种的生存状况。但由于缺乏足够的人力资源,IUCN常常无法完成每10年更新评估一次列入濒危物种红色名录物种的预定目标。事实上,IUCN濒危物种红色名录中17%的物种评估已经过时(Rondinini et al, 2018)。对于仅分布于一个

国家的特有物种来说,国别濒危物种红色名录评估的濒危等级即是其全球濒危等级,分布国濒危物种红色名录等级是确定该物种IUCN红色名录等级的参考。例如大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)濒危等级的降级。2015年,《中国生物多样性红色名录》评估时依据大熊猫的种群与栖息地状况,将其濒危等级从“濒危”降到“易危”,这一结果由原环境保护部与中国科学院联合发布(<https://cn.bing.com/search?q=www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201505/t20150525.&form=IPRV10>)。2016年,在美国夏威夷举行的世界自然保护大会上,IUCN红色名录工作组也采用了这一评估结果。

国别濒危物种红色名录等级确定了跨国境分布物种在该国的生存状况。例如,河狸(*Castor fiber*)在中国的分布区为其边缘分布区(www.redlist.org)。仅700只河狸分布在新疆阿勒泰地区布尔根、大小清河流域,濒临灭绝(Chu & Jiang, 2009; 刘冬志等, 2013),笔者2018年在新疆河狸分布区野外考察发现其种群数量与分布与以前的报道没有变化。国别红色名录评估其濒危等级为“极危”(CR),是中国啮齿目惟一的濒危种。而根据IUCN红色名录的评估,河狸在全球其它分布区的种群数量还在增长,其生存状况为“无危”(LC)。中国《国家重点保护名录》将河狸列为国家一级重点保护野生动物。河狸的IUCN红色名录“无危”级别并不影响中国将河狸列为国家级重点保护野生动物。类似地,两栖动物新疆北鲵(*Ranodon sibiricus*)主要分布于中亚地区的哈萨克斯坦,在我国新疆伊犁地区邻近温泉县的4个县有分布,其栖息地持续受到严重破坏(近年来其栖息地状况有所好转),国别红色名录评估其濒危等级为“极危”(CR),而IUCN的全球评估等级为“濒危”(EN);爬行动物中,四爪陆龟(*Testudo horsfieldii*)广泛分布于中亚多国,在我国新疆边境地区霍城等地有发现,其栖息地持续受到严重破坏(近年来其栖息地状况有所好转),国别红色名录评估其濒危等级为“极危”(CR),而IUCN的全球评估等级为“易危”(VU)。

“区域灭绝”种是一个国家重引入保护的重点。国别濒危物种红色名录有IUCN濒危物种红色名录所没有的“区域灭绝”(RE)等级,用于反映一个物种在一个国家(一个区域)分布种群的消失,警示了区域的生物多样性危机。“区域灭绝”物种应是原分布

国优先引入重建野生种群的重点对象。根据《中国生物多样性红色名录·脊椎动物》2020版的评估结果, 中国有10种有蹄类已经“局部灭绝”或“野外灭绝”(EW), 占中国有蹄类(偶蹄目 + 奇蹄目)种类的1/7。在Bar-On等(2018)列出的世界上体重最重的10种有蹄类动物中, 有5种已经在中国灭绝或极度濒危。在中国局部灭绝的大型有蹄类, 如独角犀(*Rhinoceros unicornis*) (蒋志刚等, 2016a)、爪哇野牛(*Bos javanicus*), 需要重引入, 2018年长隆野生动物世界与上海野生动物园各从尼泊尔重新引入了1对独角犀。一些已经重引入的物种, 如高鼻羚羊(*Saiga tairica*) 在20世纪80年代重引入甘肃武威, 经历遗传瓶颈和疾病后, 目前种群比引入时的建群种群还小(Jiang et al, 2020, preprint), 其濒危等级仍是“野外灭绝”(EW)。同期引入的普氏野马(*Equus ferus*), 20世纪中叶在中国灭绝, 目前已经在新疆卡拉麦里山、安西极旱荒漠、敦煌西湖等自然保护区实施野外放养, 但是尚未建立野生种群(Jiang & Zong, 2019)。于是, 尽管中国“区域灭绝”的野马已经重引入, 但其中国生物多样性红色名录濒危等级仍是“野外灭绝”(EW), 而由于其野生种群在蒙古的恢复重建, IUCN红色名录将全球普氏野马的濒危等级降为“濒危”(EN)。中国有尾类两栖动物中, 琉球棘螈(*Echinotriton andersoni*) 曾于20世纪30年代在我国台湾省北部有标本记录, 但之后没有再发现(Zhao & Adler, 1993); 故中国国别红色名录评估时将琉球棘螈评估为“区域灭绝”(RE)。然而, 目前该物种在冲绳、阿美等岛屿仍较容易发现。

国别红色名录评估鉴别了跨境分布区与迁徙通道。《迁徙物种公约》关注恢复跨越国境分布物种的种群与栖息地以及跨国迁徙通道的保护(蒋志刚等, 2019)。中国的社会、自然环境状况和野生动物种群数量与栖息地的显著变化, 使得许多野生动物在中国的分布区退缩到边境地区, 如东北虎(*Panthera tigris altaica*) (Wang et al, 2016)、蒙古原羚(*Procapra gutturosa*) (Luo et al, 2014)、亚洲象(*Elephas maximus*) (Zhang et al, 2015)等。亚洲象、东北虎、犀牛等的原分布区被人类活动区挤占, 加之环境变迁, 其分布区逐渐从中国消失(Wan et al, 2019)。这种野生动物栖息地在人类世(Anthropocene)被人类活动、环境变迁“挤占擦除”的现象是其濒危原因之一。结合IUCN红色名录, 国别濒危物种红色

名录可以建立跨国保护地、恢复这些动物的原有栖息地, 保护迁徙物种跨国迁徙洄游通道, 为跨越国境分布的野生动物保护提供依据。

国别濒危物种红色名录是物种编目与生存状况的及时更新。相对研究区域而言, 一个国别濒危物种红色名录研究的投入比IUCN全球评估时对该国评估投入的相对比例大。国别濒危物种红色名录评估集中了一个国家的濒危物种研究与保护专家。参与国别濒危物种红色名录评估的研究人员对本国研究不存在语言障碍(Fisher, 2014), 掌握包括灰色文献在内的该国物种编目、分类、分布和种群的最新信息, 能提供物种生存状况的最新资料(Jiang et al, 2016)。《中国生物多样性红色名录·脊椎动物》2020版评估的两栖类种数从2015年的408种, 增加到2020年的475种; 评估的爬行类种数从2015年的462种, 增加到2020年的527种; 评估的鸟类种数从2015年的1,372种, 增加到2020年的1,445种; 评估的哺乳类种数从2015年的673种, 增加到2020年的696种。2015年《中国脊椎动物红色名录》比2015年IUCN红色名录多评估了60种哺乳类, 爬行类则多评估了227种; 尽管IUCN红色名录研究团队与中国生物多样性红色名录研究团队有交流, 《中国生物多样性红色名录·脊椎动物》2020版仍比IUCN红色名录多评估了54种哺乳类, 124种爬行类(图1)。这些种是新种、新分布记录种或者被IUCN红色名录工作组认为在中国没有分布的种, 例如, IUCN红色名录(2020版)仍将中国标示在驼鹿与河狸的分布区之外(www.redlist.org)。因此, 我们在制定国家重点保护物种名录时, 应重视国别濒危物种红色名录的意义。

人们对国别濒危物种红色名录重视不够(曹亮等, 2016)。国别濒危物种红色名录的重要性在许多情况下被忽视了。在研究报告和科普作品中, 论及物种濒危属性时, 作者通常言必IUCN濒危物种红色名录濒危等级而不提其国家红色名录濒危等级。殊不知, IUCN濒危物种红色名录预警了全球物种的濒危状况, 为全球生物多样性研究提供了大数据, 而国别濒危物种红色名录确定了物种在该国的受威胁状况, 填补了全球濒危物种红色名录的知识空白, 两份名录互为补充。受威胁物种是国家重点保护物种的特征之一(蒋志刚, 2019)。描述一个物种的受威胁程度时, 国别濒危物种红色名录等级在实践意义

A: 哺乳类 Mammals



IUCN 濒危物种红色名录2020版 IUCN Red List of Endangered Species 2020													
中国生物多样性红色名录2020版: 哺乳类 Red List of China's Biodiversity 2020: Mammals		灭绝 EX	野外灭绝 EW	区域灭绝 RE	极危 CR	濒危 EN	易危 VU	近危 NT	无危 LC	数据缺乏 DD	未评估 NE	总计 Sum	
	灭绝 EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	野外灭绝 EW	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	4	
	区域灭绝 RE	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	6	
	极危 CR	0	1	0	8	11	16	4	7	1	6	54	
	濒危 EN	0	0	0	0	16	10	7	14	4	8	59	
	易危 VU	0	0	0	0	3	9	5	40	4	7	68	
	近危 NT	0	0	0	0	0	0	14	114	13	7	148	
	无危 LC	0	0	0	0	1	0	3	251	6	5	266	
	数据缺乏 DD	0	0	0	0	1	2	1	39	28	20	91	
	总计 Sum	0	1	0	11	36	38	34	466	56	54	696	

B: 鸟类 Birds



IUCN 濒危物种红色名录2020版 IUCN Red List of Endangered Species 2020												
中国生物多样性红色名录2020版: 鸟类 Red List of China's Biodiversity 2020: Birds		灭绝 EX	野外灭绝 EW	区域灭绝 RE	极危 CR	濒危 EN	易危 VU	近危 NT	无危 LC	数据缺乏 DD	总计 Sum	
	灭绝 EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	野外灭绝 EW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	区域灭绝 RE	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3	
	极危 CR	0	0	0	8	4	3	1	2	0	18	
	濒危 EN	0	0	0	0	15	20	3	10	0	48	
	易危 VU	0	0	0	0	4	25	16	34	0	79	
	近危 NT	0	0	0	0	1	8	41	172	0	222	
	无危 LC	0	0	0	0	1	4	16	948	0	969	
	数据缺乏 DD	0	0	0	6	3	16	14	65	2	106	
	总计 Sum	0	0	0	14	28	77	92	1,232	2	1,445	

C: 爬行类 Reptiles



IUCN 濒危物种红色名录2020版 IUCN Red List of Endangered Species 2020												
中国生物多样性红色名录2020版: 爬行类 Red List of China's Biodiversity 2020: Reptiles		灭绝 EX	野外灭绝 EW	区域灭绝 RE	极危 CR	濒危 EN	易危 VU	近危 NT	无危 LC	数据缺乏 DD	未评估 NE	总计 Sum
	灭绝 EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	野外灭绝 EW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	区域灭绝 RE	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	
	极危 CR	0	0	0	15	9	5	2	3	0	35	
	濒危 EN	0	0	0	0	13	6	0	12	1	43	
	易危 VU	0	0	0	0	0	7	0	26	2	70	
	近危 NT	0	0	0	0	1	1	7	31	3	65	
	无危 LC	0	0	0	0	0	0	0	142	4	187	
	数据缺乏 DD	0	0	0	0	0	0	0	16	21	77	
	未评估 NE	0	0	0	0	0	0	0	0	48	48	
总计 Sum	0	0	0	15	23	20	9	231	31	527		

D: 两栖类 Amphibians



IUCN 濒危物种红色名录2020版 IUCN Red List of Endangered Species 2020												
中国生物多样性红色名录2020版: 两栖类 Red List of China's Biodiversity 2020: Amphibians		灭绝 EX	野外灭绝 EW	区域灭绝 RE	极危 CR	濒危 EN	易危 VU	近危 NT	无危 LC	数据缺乏 DD	未评估 NE	总计 Sum
	灭绝 EX	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	野外灭绝 EW	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	区域灭绝 RE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	极危 CR	0	0	0	5	2	0	0	0	3	2	12
	濒危 EN	0	0	0	1	19	4	1	1	7	14	47
	易危 VU	0	0	0	1	14	31	7	28	14	22	117
	近危 NT	0	0	0	0	1	8	23	36	11	18	97
	无危 LC	0	0	0	0	1	4	2	89	10	12	118
	数据缺乏 DD	0	0	0	0	2	8	2	5	31	33	81
	未评估 NE	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
总计 Sum	1	0	0	7	40	55	35	159	76	102	475	

上更重要、更符合物种的实际生存状况。目前正值全球新冠肺炎大流行, 中国取得了防控新冠肺炎的初步成果。为了防控新的人与野生动物共患疾病再次暴发, 人们正在重新审视人与野生动物的关系 (Andersen et al, 2020; 蒋志刚, 2020)。我国将修订有关野生动物保护与防疫法律以及《国家重点保护野生动物名录》。有必要重新认识国别物种红色名录的重要作用。今后国家重点保护名录更新和制定中, 当中国红色名录与IUCN红色名录的评估结果不一致的时候, 应当首先考虑中国红色名录的濒危等级。

参考文献

- Andersen KG, Rambaut A, Lipkin WI, Holmes EC, Garry RF (2020) The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 26, 450–452.
- Bar-On YM, Phillips R, Milo R (2018) The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 115, 6506–6511.
- Brooks TM, Pimm SL, Akçakaya HR, Buchanan GM, Butchart SHM, Foden W, Hilton-Taylor C, Hoffmann M, Jenkins CN, Joppa L, Li BV, Menon V, Ocampo-Peñuela N, Rondinini C (2019) Measuring terrestrial area of habitat (AOH) and its utility for the IUCN Red List. *Trends in Ecology and Evolution*, 34, 977–984.
- Cai B, Li JT, Chen YY, Wang YZ (2016) Exploring the status and causes of China's threatened reptiles through the red list assessment. *Biodiversity Science*, 24, 578–587. (in Chinese with English abstract) [蔡波, 李家堂, 陈跃英, 王跃招 (2016) 通过红色名录评估探讨中国爬行动物受威胁现状及原因. *生物多样性*, 24, 578–587.]
- Cao L, Zhang E, Zang CX, Cao WX (2016) Evaluating the status of China's continental fish and analyzing their causes of endangerment through the red list assessment. *Biodiversity Science*, 24, 598–609. (in Chinese with English abstract) [曹亮, 张鸷, 臧春鑫, 曹文宣 (2016) 通过红色名录评估研究中国内陆鱼类受威胁现状及成因. *生物多样性*, 24, 598–609.]
- Chu HJ, Jiang ZG (2009) Distribution and conservation of Sino-Mongolian beaver, *Castor fiber*. *Oryx*, 43, 197–202.
- Cooke RSC, Eigenbrod F, Bates AE (2019) Projected losses of global mammal and bird ecological strategies. *Nature Communications*, 10, 2279.
- Dong SY, Zuo ZY, Yan YH, Xiang JY (2017) Red list assessment of lycophytes and ferns in China. *Biodiversity Science*, 25, 765–773. (in Chinese with English abstract) [董仕勇, 左政裕, 严岳鸿, 向建英 (2017) 中国石松类和蕨类植物的红色名录评估. *生物多样性*, 25, 765–773.]
- Fisher M (2014) A literature for all conservationists, everywhere? *Oryx*, 23, 1–2.
- Jiang JP, Xie F, Zang CX, Cai L, Li C, Wang B, Li JT, Wang J, Hu JH, Wang Y, Liu JY (2016) Assessing the threat status of amphibians in China. *Biodiversity Science*, 24, 588–597. (in Chinese with English abstract) [江建平, 谢锋, 臧春鑫, 蔡蕾, 李成, 王斌, 李家堂, 王杰, 胡军华, 王燕, 刘炯宇 (2016) 中国两栖动物受威胁现状评估. *生物多样性*, 24, 588–597.]
- Jiang ZG, Ma KP (2014) *Principles of Conservation Biology*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [蒋志刚, 马克平 (2014) 保护生物学原理. 科学出版社, 北京.]
- Jiang ZG, Cui SP, Li CW (2016a) Where are the suitable introduction sites of greater one-horned rhinoceros *Rhinoceros unicornis* in China? *Biodiversity Science*, 24, 355–357. (in Chinese) [蒋志刚, 崔绍朋, 李春旺 (2016a) 中国引入大独角犀的适宜地点在哪里? *生物多样性*, 24, 355–357.]
- Jiang ZG, Li LL, Luo ZH, Tang SH, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Feng ZJ, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Ping XG, Fang HX (2016b) Evaluating the status of China's mammals and analyzing their causes of endangerment through the red list assessment. *Biodiversity Science*, 24, 552–567. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚, 李立立, 罗振华, 汤宋华, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 冯祚建, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 平晓鸽, 方虹霞 (2016b) 通过红色名录评估研究中国哺乳动物受威胁现状及其原因. *生物多样性*, 24, 552–567.]
- Jiang Z, Jiang J, Wang Y, Zhang E, Zhang Y, Li L, Cai B, Luo Z, Li C, Ping X, Xie F, Cao L (2016) China's ecosystems: Overlooked species. *Science*, 353, 657.
- Jiang ZG (2019) China's key protected species lists, their criteria and management. *Biodiversity Science*, 27, 698–703. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚 (2019) 中国重点保护物种名录、标准与管理. *生物多样性*, 27, 698–703.]

←

图 1 中国生物多样性红色名录哺乳类(A)、鸟类(B)、爬行类(C)和两栖类(D)与 IUCN 红色名录评估的相应类群的评估种类与濒危等级的差异。插图依次为大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、黄腹角雉(*Tragopan caboti*)、百色闭壳龟(*Cuora mccordi*)、大鲵(*Andrias davidianus*)；摄影者分别为蒋志刚、张雁云、蔡波、江建平。

Fig. 1 Differences between species assessed and endangerment categories between the Red List of China's Biodiversity: Mammals (A), Birds (B), Reptiles (C) and Amphibians (D) in the corresponding fauna in IUCN Red List of Endangered Species. Photos are giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*), Cabot's tragopan (*Tragopan caboti*), Mccord's box turtle (*Cuora mccordi*), giant salamander (*Andrias davidianus*), taken by Zhigang Jiang, Yanyun Zhang, Bo Cai, Jianping Jiang, respectively. NE, Not Evaluated; DD, Data Deficient; LC, Least Concern; NT, Near Threatened; VU, Vulnerable; EN, Endangered; CR, Critically Endangered; RE, Regional Extinct; EW, Extinct in the Wild; EX, Extinct.

- Jiang ZG, Zhang ZW, Zhang RZ, Ma ZJ, Chu HJ, Li YM, Ding CQ, Zhao YH, Xu JL, Ping XG, Zeng Y, Cui SP, Li N, Cao DD, Wang SP, Xu J, Qi YJ, Li CW (2019) Ratifying Bonn Convention, promoting global conservation of migratory animals. *Biodiversity Science*, 27, 1393–1395. (in Chinese) [蒋志刚, 张正旺, 张润志, 马志军, 初红军, 李义明, 丁长青, 赵亚辉, 徐基良, 平晓鸽, 曾岩, 崔绍朋, 李娜, 曹丹丹, 王苏盆, 徐婧, 戚英杰, 李春旺 (2019) 加入《迁徙物种公约》, 促进全球迁徙动物保护. 生物多样性, 27, 1393–1395.]
- Jiang ZG, Zong H (2019) Reintroduction of the Przewalski's horse in China: Status quo and outlook. *Nature Conservation Research*, (4) (Suppl. 2), 15–22.
- Jiang ZG (2020) Insights on the legislation, law enforcement and management of zoonosis from the epidemic of new coronavirus pneumonia (COVID-19). *Biodiversity Science*, 28, 256–261. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚 (2020) 新型冠状病毒肺炎对野生动物疫病立法执法与管理的启迪. 生物多样性, 28, 256–261.]
- Jiang ZG, Mallon D, Foggini M, Li CW, Cui SP, Zeng Y, Ping XG (2020) A case of reintroducing Saiga highlights the conservation needs of migratory species. doi:10.20944/preprints202002.0375.v1 Preprints.
- Lacher TE, Hilton-Taylor C (2018) The IUCN Red List: Assessing extinction risk in the Anthropocene. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 3, 333–339.
- Liu DZ, Jiang ZG, Chu HJ, Huang XW, Zhang F, Chen G (2013) Summer nocturnal activity rhythms and time budgets of the Sino-Mongolia beaver (*Castor fiber birulai*) in Xinjiang, China. *Acta Theriologica Sinica*, 33, 319–325. (in Chinese with English abstract) [刘冬志, 蒋志刚, 初红军, 黄效文, 张帆, 陈刚 (2013) 蒙新河狸夏季夜间活动节律和时间分配. 兽类学报, 33, 319–325.]
- Liu J, Que PJ, Zhang ZW (2019) Species diversity and suggestions for adjustment of the national protection level of waterbirds in China. *Wetland Science*, 17, 123–136. (in Chinese with English abstract) [刘金, 阙品甲, 张正旺 (2019) 中国水鸟的物种多样性及其国家重点保护等级调整的建议. 湿地科学, 17, 123–136.]
- Luo Z, Liu B, Liu S, Jiang Z, Halbrook RS (2014) Influences of human and livestock density on winter habitat selection of Mongolian gazelle (*Procapra gutturosa*). *Zoological Science*, 31, 20–30.
- Ma KP (2016) On key issues and possible solutions related to nature reserve management in China. *Biodiversity Science*, 24, 249–251. (in Chinese) [马克平 (2016) 当前我国自然保护区管理中存在的问题与对策思考. 生物多样性, 24, 249–251.]
- Mallapaty S (2020) China takes centre stage in global biodiversity push. *Nature*, 578, 345–346.
- Ping XG, Zeng Y (2020) Changes in nomenclature of animals included in Lists of Wild Animals under Special State Protection in China and impacts on wildlife conservation. *Scientia Sinica Vitae*, 50, 33–43. (in Chinese with English abstract) [平晓鸽, 曾岩 (2020) 《国家重点保护野生动物名录》所列物种命名变化及其对野生生物保护的影响. 中国科学: 生命科学, 50, 33–43.]
- Qin HN, Yang Y, Dong SY, He Q, Jia Y, Zhao LN, Yu SX, Liu HY, Liu B, Yan YH, Xiang JY, Xia NH, Peng H, Li ZY, Zhang ZX, He XJ, Yin LK, Lin YL, Liu QR, Hou YT, Liu Y, Liu QX, Cao W, Li JQ, Chen SL, Jin XH, Gao TG, Chen WL, Ma HY, Geng YY, Jin XF, Chang CY, Jiang H, Cai L, Zang CX, Wu JY, Ye JF, Lai YJ, Liu B, Lin QW, Xue NX (2017) Threatened Species List of China's Higher Plants. *Biodiversity Science*, 25, 696–744. (in Chinese and in English) [覃海宁, 杨永, 董仕勇, 何强, 贾渝, 赵莉娜, 于胜祥, 刘慧圆, 刘博, 严岳鸿, 向建英, 夏念和, 彭华, 李振宇, 张志翔, 何兴金, 尹林克, 林余霖, 刘全儒, 侯元同, 刘演, 刘启新, 曹伟, 李建强, 陈世龙, 金效华, 高天刚, 陈文俐, 马海英, 耿玉英, 金孝锋, 常朝阳, 蒋宏, 蔡蕾, 臧春鑫, 武建勇, 叶建飞, 赖阳均, 刘冰, 林秦文, 薛纳新 (2017) 中国高等植物受威胁物种名录. 生物多样性, 25, 696–744.]
- Rodrigues SLA, Pilgrim JD, Lamoreux JF, Hoffmann M, Brooks TM (2006) The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 71–76.
- Rodríguez JP (2008) National red lists: The largest global market for IUCN Red List Categories and Criteria. *Endangered Species Research*, 6, 193–198.
- Rondinini C, Di Marco M, Visconti P, Butchart HMS, Boitani L (2018) Update or outdate: Long-term viability of the IUCN Red List. *Conservation Letters*, 7, 126–130.
- Wan X, Jiang G, Yan C, He F, Wen R, Gu J, Li X, Ma J, Stenseth NC, Zhang Z (2019) Historical records reveal the distinctive associations of human disturbance and extreme climate change with local extinction of mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 116, 19001–19008.
- Wang TM, Feng LM, Mou P, Wu JG, Smith JLD, Xiao WH, Yang HT, Dou HL, Zhao XD, Cheng YC, Zhou B, Wu HY, Zhang L, Tian Y, Guo QX, Kou XJ, Han XM, Miquelle DG, Oliver CD, Xu RM, Ge JP (2016) Amur tigers and leopards returning to China: Direct evidence and a landscape conservation plan. *Landscape Ecology*, 31, 491–503.
- Wei TZ, Wang K, Yu XD, Li Y, Wu HJ, Wu HM, Wang YH, Wei XD, Li BB, Jiang L, Yao YJ (2020) Assessment of the threatened status of macro-basidiomycetes in China. *Biodiversity Science*, 28, 41–53. (in Chinese with English abstract) [魏铁铮, 王科, 于晓丹, 李熠, 吴海军, 吴红梅, 王永会, 卫晓丹, 李斌斌, 蒋岚, 姚一建 (2020) 中国大型担子菌受威胁现状评估. 生物多样性, 28, 41–53.]
- Wei XL, Deng H, Wei JC (2020) Threatened categories assessment of lichens in China. *Biodiversity Science*, 28, 54–65. (in Chinese with English abstract) [魏鑫丽, 邓红, 魏江春 (2020) 中国地衣的濒危等级评估. 生物多样性, 28, 54–65.]

- Yao YJ, Wei JC, Zhuang WY, Wei TZ, Li Y, Wei XL, Deng H, Liu DM, Cai L, Li JS, Wang K, Wu HJ, Li BB, Wang YH, Wei XD, Wu HM, Zhao MJ, Yang L, Su JH, Zhong X (2020) Threatened species list of China's macrofungi. *Biodiversity Science*, 28, 20–25. (in Chinese and in English) [姚一建, 魏江春, 庄文颖, 魏铁铮, 李熠, 魏鑫丽, 邓红, 刘冬梅, 蔡蕾, 李俊生, 王科, 吴海军, 李斌斌, 王永会, 卫晓丹, 吴红梅, 赵明君, 杨柳, 苏锦河, 钟习 (2020) 中国大型真菌受威胁物种名录. *生物多样性*, 28, 20–25.]
- Zhang L, Dong L, Lin L, Feng L, Yan F, Wang L, Guo X, Luo A (2015) Asian elephants in China: Estimating population size and evaluating habitat suitability. *PLoS ONE*, 10, e0124834.
- Zhang YY, Zhang ZW, Dong L, Ding P, Ding CQ, Ma ZJ, Zheng GM (2016) Assessment of red list of birds in China. *Biodiversity Science*, 24, 568–577. (in Chinese with English abstract) [张雁云, 张正旺, 董路, 丁平, 丁长青, 马志军, 郑光美 (2016) 中国鸟类红色名录评估. *生物多样性*, 24, 568–577.]
- Zhao EM, Adler K (1993) *Herpetology of China*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Oxford, Ohio.

(责任编辑: 吕植 责任编辑: 闫文杰)



•综述•

以兽类为例探讨我国陆生野生动物疫病 监管中面临的问题与对策

肖治术^{1,9*} 张礼标² 许磊^{3,4} 周岐海⁵ 孟秀祥⁶ 严川⁷ 常昱⁸

1 (中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

2 (广东省生物资源应用研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广州 510260)

3 (中国疾病预防控制中心传染病预防控制所流行病室, 北京 102206)

4 (清华大学地球系统科学系, 北京 100084)

5 (珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室; 广西师范大学广西珍稀濒危动物生态学重点实验室, 广西桂林 541004)

6 (中国人民大学环境学院, 北京 100872)

7 (兰州大学生态学创新研究院, 兰州 730000)

8 (陕西省动物研究所陕西省秦岭珍稀濒危动物保育重点实验室, 西安 710032)

9 (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 近年来, 新型冠状病毒、SARS病毒和鼠疫等新发和再发性动物源疫病多是由兽类及其媒介携带的病原生物直接或间接感染而引发的, 不仅对人类健康和生态系统平衡造成了重大威胁, 而且威胁全球公共卫生安全、粮食安全和生物安全。结合我国重要陆生兽类疫源疫病发生的新情况和新特点, 本文重点总结了我国以陆生野生及非野生兽类(家畜为主)为重点的24种重要人兽共患病的监管情况, 并对这些疫源疫病的监管空缺进行了分析。由于病原生物的种类多及其感染传播方式多样, 我国人间和动物间疫情呈现多发态势, 新发和再发疫病防控面临严峻挑战。从目前情况来看, 我国重要野生动物疫源疫病呈现为多部门、多层监管的局面。全球化贸易剧增、非法猎杀、非法交易、违法违规养殖、滥食野生动物陋习、检疫环节失察等导致了当前我国野生动物疫源疫病的传染源头和传播链错综复杂, 加剧了人类与野生动物所携带的病原接触、感染和传播的风险。极端气候或灾害事件频发以及对新发再发传染病的认知不足导致难以从源头做好疫病防控。针对上述问题, 本文提出了从源头加强基础研究和全链条监管来积极防范陆生野生动物疫病疫情的对策和建议。

关键词: 野生动物疫病; 兽类; 疫源疫病防控; 空缺分析; 基础研究; 全链条监管

Problems and countermeasures in the surveillance and research of wildlife epidemics based on mammals in China

Zhishu Xiao^{1,9*}, Libiao Zhang², Lei Xu^{3,4}, Qihai Zhou⁵, Xiuxiang Meng⁶, Chuan Yan⁷, Gang Chang⁸

1 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents in Agriculture, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

2 Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangdong Institute of Applied Biological Resources, Guangzhou 510260

3 State Key Laboratory for Infectious Disease Prevention and Control, National Institute for Communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206

4 Ministry of Education Key Laboratory for Earth System Modeling, Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084

5 Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guangxi Key Laboratory of Rare and Endangered Animal Ecology, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004

6 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872

7 Institute of Innovation Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000

收稿日期: 2020-03-28; 接受日期: 2020-05-05

基金项目: 河南南太行山水林田湖草生态保护修复试点工程(济源项目)、中央林业改革发展资金和中国科学院中国生物多样性监测与研究网络运行项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xiaozs@ioz.ac.cn

8 Shaanxi Key Laboratory for Animal Conservation, Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032
9 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: Recent epidemics, such as the COVID-2019 pandemic, SARS, and rodent plague, pose a major threat to public health, food security, and ecosystem balance globally. These epidemics have all been caused, directly or indirectly, by pathogens found in mammals or other animal vectors. Based on the status of recent terrestrial wildlife epidemics in China, this study summarizes the regulatory and monitoring mechanisms for 24 important diseases occurring in wild mammals, captive breeding wild animals, and domesticated mammals in China, and then identifies gaps in regulation and knowledge for these zoonotic diseases in China. Due to the diversity of pathogens and their transmission routes, these zoonotic diseases have had frequent outbreaks in recent decades, and preventing and controlling them has become one major challenge. Currently, China's important wildlife epidemics are monitored and controlled by different levels and directives of multiple governmental agencies. The increasing global trade, poaching, illegal wildlife trade, illegal wildlife captive breeding, consumption of wild animals, and lax quarantine processes have led to complex chains of transmission, increasing risk of contact, infection, and transmission of these diseases. Additionally, the frequent occurrence of extreme climate events or natural disasters further complicate the prevention and control of these wildlife epidemics at their sources. Based on these problems in managing and controlling new and recurrent epidemics in China, we propose some countermeasures and suggestions to strengthen basic research and whole-chain supervision in order to actively prevent terrestrial wildlife epidemics.

Key words: wildlife epidemics; mammals; prevention and control of epidemic focus and disease; gap analysis; basic research; whole-chain supervision

近20年来,我国相继暴发了严重的急性呼吸道综合症(severe acute respiratory syndrome, SARS)、高致病性人禽流感、鼠疫、新型冠状病毒肺炎(简称“新冠肺炎”, COVID-19)等与野生动物接触所引起的重大传染病疫情。自2019年12月底以来,新冠肺炎疫情已蔓延至全球所有国家和地区,已造成全球8,708,008确诊病例,死亡达461,715人(截至2020年6月22日, <https://covid19.who.int/>),形成了影响全球公共卫生安全领域的巨大危机。在过去100多年里,动物源疫病在全球范围内造成了数百次的暴发流行,其中有71.8%来自野生动物携带的病原体,对人类和动物健康造成了重大威胁,危及全球公共卫生安全、粮食安全和生物安全(Taylor et al, 2001; Jones et al, 2008)。从近期新发和再发重大疫病暴发流行情况来看,在今后相当长的时间里动物源传染病将对我国及全球公共健康安全、生物安全和野生动物管理等形成持续威胁和巨大挑战(Gebreyes et al, 2014)。因此,如何从源头上做好野生动物保护和管理,从根本上采取积极防范措施来全力应对野生动物疫源疫病所造成的公共健康安全危机,将有助于全面提升国家生物安全治理体系和治理能力。

研究表明,超过60%的人兽共患病由啮齿动物

(鼠类)、蝙蝠类和灵长类等及其媒介携带的病原生物直接或间接感染而引发(Nunn & Altizer, 2006; Jones et al, 2008; Olival et al, 2012)。兽类的物种多样、分布广、栖息环境多样。由于长期猎杀、不合理利用、栖息地破坏等人类活动的影响,野生兽类已成为面临人类威胁最严重的野生动物类群之一,而且多数大中型兽类物种面临分布区严重萎缩、种群大幅减少甚至灭绝的风险(Dirzo et al, 2014)。由于人类对许多兽类进行了养殖和多样化利用,使其与人类生产生活的关系极为密切,接触也日益频繁。啮齿动物(鼠类)、蝙蝠类和灵长类等野生兽类是病毒、细菌和寄生虫等病原生物及其媒介的自然宿主或中间宿主,常常“带病”,但不发病(Nunn & Altizer, 2006; Olival et al, 2012)。长期以来,全球化贸易的增加和人类生产生活方式的改变,极大提高了人类和野生动物的接触频次,显著增加了人类感染动物源病原体并传播的风险,从而可能造成人间疫病暴发的危机。野生动物疫源疫病的暴发流行有其重要的生物学基础和生态学规律,因此非常有必要通过生态监测和相关基础研究从源头上掌握其发生规律和致病机理,从根本上遏制和防范这些疫病的发生和暴发流行。

结合我国重要陆生兽类疫源疫病发生的新情

况和新特点,本文重点总结了包括最近暴发流行的新冠肺炎在内的,以陆生野生及非野生兽类(家畜为主)为重点的24种重要人兽共患病的监管情况,评估内容包括病原体、宿主动物及媒介、传播途径、人间疫情、家养动物疫情、野生动物疫情等(附录1)。同时,我们对野生动物及相关疫病的多部门监管情况进行了简要分析,并对我国野生动物相关疫病的监管空缺和认知空缺进行了分析。同时针对我国动物源疫病监管中存在的主要问题,本文提出了从源头加强基础研究和监管来积极防范陆生野生动物疫病疫情暴发的有关对策和建议。

1 病原及其感染传播方式多样, 人间和动物间疫情呈现多发态势, 新发和再发疫情防控面临严峻挑战

从病原生物及其分布来看,本文所涉及的24种重要陆生兽类疫源疫病包括病毒性传染病13种,细菌性传染病7种,螺旋体和寄生虫相关疫病各2种(附录1)。其中,犬瘟热(canine distemper)、小反刍兽疫(pestes des petits ruminants)、非洲猪瘟(African swine fever)、猪急性腹泻综合征(swine acute diarrhea syndrome)等4种疫病仅发生在野生动物和家养动物中,其余20种疫病均可造成不同程度的人间疫情。此外,中东呼吸综合征(Middle East Respiratory Syndrome, MERS)、埃博拉出血热(Ebola hemorrhagic fever)、亨德拉病(Hendra virus disease)和非洲猪瘟等病毒性传染病为境外输入性疫病。从宿主及其媒介来看,以啮齿动物为主的疫源疫病有5种,以蝙蝠为主的疫源疫病有7种,以食草兽、家畜为主的疫源疫病有4种,其中蚤(鼠疫)、蜱(莱姆病)和螨(流行性出血热, hemorrhagic fever)为啮齿动物所传播疫病的重要媒介昆虫。

本文所涉及的重要陆生兽类疫病的主要感染和传播方式有与病兽或病人接触、呼吸道传播和消化道传播等多种方式,易造成人间和动物间的重大疫情。鼠疫、巴氏杆菌病(pasteurellosis)、结核病(tuberculosis)、炭疽病(anthrax)、流行性出血热(肾综合征出血热)、SARS、MERS、口蹄疫(foot and mouth disease)、狂犬病(rabies)、COVID-19等疫病为全球性分布。近20年来,SARS、COVID-19、MERS和埃博拉出血热等蝙蝠源病毒性传染病通过呼吸道、飞沫和接触等多种方式造成人间感染和传播,

造成了多次地区性或全球性暴发流行的重大人间疫情,为新发突发疫病的防控带来了巨大的挑战。

鼠疫在人类历史上曾经发生过三次世界大流行,分别在541年、1347年和1772年开始,累计造成不少于1.35亿人死亡(Xu et al, 2019)。1894年,鼠疫的病原——鼠疫耶尔森氏菌(*Yersinia pestis*)首次在中国香港被成功分离,揭开了千年肆虐的烈性传染病的真凶。新中国成立以来,鼠疫作为我国传染病的一号病,我国已形成相对成熟的检测方案和位于自然疫源地的监控网络,在中国境内鼠疫的人间疫情逐渐被控制住(Sun et al, 2019)。鼠疫作为人兽共患病的样板型疾病,根据全国鼠疫检测方案,逐渐发展出来以中国疾病预防控制中心(CDC)体系内的国家、省、地、县四级监测网络。针对鼠疫自然疫源地“鼠-蚤-疫”系统的研究(Xu et al, 2015),将全国鼠疫自然疫源地分为12型(方喜业等, 2011),不同类型的疫源地针对当地主要宿主动物采用不同的检测方案。实行首诊医生责任制,严格执行疫情报告制度,确立了鼠疫诊断国家标准(GB15991-1995)。目前,鼠疫在我国仍时有发生。例如,2019年11月12日有两名内蒙古来京就诊患者被确诊为肺鼠疫,导致在非疫区出现输入性病例。将鼠疫防控前线前移至对疫源动物的监控,是我国鼠疫防控的成功经验,当疫源动物种群内出现鼠疫阳性即进行分离检菌、灭鼠灭蚤和疫源地控制,从而有效地实现了人间鼠疫疫情的控制。进行疫源地摸排和管理、控制人员进出疫源地,有效地隔离了动物疫情向人间的传染和扩散。我国鼠疫的持续监测和防控策略为其他野生动物疫源疫病的防控提供了宝贵经验。此外,我国对流行性出血热(宋干, 2000)、莱姆病(万康林, 1998)等啮齿类相关疫源疫病也进行了数十年的持续监测和科学研究,为这些疫源疫病的有效防控提供了科学依据和宝贵经验。

自2003年SARS疫情发生以来,经过十多年的研究,多个研究团队在我国及欧洲不同地区从多种菊头蝠中发现了SARS样冠状病毒,基本确认了蝙蝠是SARS样冠状病毒的自然宿主,其中中华菊头蝠(*Rhinolophus sinicus*)为SARS病毒的源头(Li et al, 2005; Ge et al, 2012; Lau et al, 2019)。目前,我国科学家已从蝙蝠中发现乙型脑炎病毒(Japanese encephalitis virus)、基孔肯雅病毒(Chikungunya virus)、罗思河病毒(Roth River virus)、冠状病毒(coronavirus)、

副粘病毒(paramyxovirus)、腺病毒(adenovirus)、丝状病毒(filovirus)、星状病毒(astrovirus)、小RNA病毒(small RNA virus)、腺相关病毒(adeno-associated virus)、圆环病毒(circovirus)、呼肠孤病毒(reovirus)和狂犬病毒(rabies virus)等多种病毒(张海林等, 1989, 2001, 2006; 李文东等, 2004; Ge et al, 2012)。

除蝙蝠源病毒和啮齿动物传播的疫病之外, 本文所涉及的其余病毒性疫病和细菌性疫病对我国畜禽养殖业和肉类市场均造成了不同程度的影响和损失。近年来, 以布鲁氏菌病(Brucellosis)、结核病、魏氏梭菌病、非洲猪瘟为主的动物疫病对我国养殖业和公共安全所造成的影响尤为突出。如, 非洲猪瘟是由非洲猪瘟病毒感染家猪和各种野猪(如非洲野猪、欧洲野猪等)而引起的一种急性、出血性、烈性传染病, 自2018年在我国出现首例疫情以来, 非洲猪瘟已蔓延到我国多数省份的猪场, 对我国养猪业和本土野猪的疫病防控带来了前所未有的巨大损失和威胁(聂赟彬和乔娟, 2019)。2016–2017年间, 猪急性腹泻综合征(SADS)使广东清远和韶关的养猪场暴发了一系列致命猪病疫情, 超过2万头仔猪死亡, 其源头是猪场附近的中华菊头蝠所携带的猪急性腹泻综合征冠状病毒(SADS-CoV)(Zhou et al, 2018)。结核病是一种人兽共患的慢性消耗性传染病, 可以感染包括人在内的不同种属的温血动物, 包括有蹄类、食肉类和啮齿等动物, 严重危害畜牧业发展和人类健康(王志梅等, 2010; 李凡飞等, 2018; 程成等, 2019)。魏氏梭菌病(*Clostridium welchii* disease)由魏氏梭菌(*Clostridium welchii*, 也称产气荚膜梭菌)引起, 而魏氏梭菌能产生多种外毒素。魏氏梭菌病于20世纪80年代末期在豫东地区零星发生, 以犊牛发病为主; 1994年之后流行日趋严重, 患病畜种和数量增加, 奶牛、山羊、绵羊、猪、鸡、兔等发病增多, 甚至还有一些养殖的大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)、麋鹿(*Elaphurus davidianus*)和牦牛(*Bos grunniens*)等动物也感染了魏氏梭菌(张红英等, 2004; 张成林等, 2011; 王圆圆等, 2018)。

从我国近期野生动物疫情发生来看, 以啮齿动物(鼠疫、流行性出血热、莱姆病、钩端螺旋体病 Leptospirosis)、偶蹄类动物(如口蹄疫、小反刍兽疫、疥螨病)等常见野生兽类和大熊猫(犬瘟热)发生的疫情较重(杨光友和杨学成, 1997; Loots et al, 2016;

李才武等, 2016; Old et al, 2017; 程跃红等, 2018), 但以灵长类和食肉类等兽类为宿主的疫源疫病发生较少, 可能在于人类与这些兽类的接触频繁度较低有关。疥螨病是由疥螨寄生于动物表皮层内导致的一种传染性皮肤病, 呈世界性分布(Old et al, 2017)。1997年岷山地区九寨沟自然保护区内中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*), 以及2015、2018年卧龙保护区内中华鬣羚和中华斑羚(*Naemorhedus griseus*)均有因感染疥螨病导致死亡的病例报道(Old et al, 2017)。从2008年开始, 秦岭地区中华斑羚大量死亡, 主要集中在冬春季节, 以2010–2015年期间的死亡达到高峰期, 导致了此后中华斑羚种群数量急剧下降。除中华斑羚外, 羚牛(*Budorcas bedfordi*)、中华鬣羚等动物的尸体表面也均具有明显的脱毛结痂特征。通过对2017–2018年死亡的10份野生中华斑羚尸体样品分析, 证明疥螨是导致秦岭地区中华斑羚等有蹄类动物死亡的主要原因(吴桥兴等, 2019)。目前中华斑羚因疥螨死亡的情况仍在秦岭地区蔓延, 仍能在冬春季节见到数量不等的中华斑羚尸体, 但尚没有有效的遏制方法。

小反刍兽疫是由小反刍兽疫病毒引起的一种感染山羊、绵羊和野生小反刍兽的烈性接触性传染病(李秀英等, 2016), 暴发疫病时的发病率可达100%, 在严重暴发时死亡率可达100%。2007年, 小反刍兽疫首次传入我国西藏; 2013年在新疆再次发生; 2013年底至2014年初迅速扩散至全国大部分省份(王光明, 2019)。2018年, 青海高原地区发现小反刍兽疫感染致死的野生岩羊(*Pseudois nayaur*) (应兰等, 2019)。2015年, 小反刍兽疫已被农业部纳入政府强制免疫的重大动物疫病之一, 尤其在新疆、西藏等边境地区的野生羚羊存在感染小反刍兽疫的风险, 因此建议在我国边境地区建立缓冲带、免疫带、监测带(张喜悦等, 2007)。口蹄疫是一种由口蹄疫病毒引起的急性传染病, 宿主众多, 传播范围非常广泛, 易感物种为狗、鹿、野猪等偶蹄类动物。1997年在秦皇岛某单位从南非进口的观赏用羚羊中检测出口蹄疫抗体阳性(陈京彩等, 1998), 警示我国须加强进口有蹄类动物检疫, 严防口蹄疫传播。

犬瘟热是犬瘟热病毒(CDV)感染引起的一种急性、热性、高度接触性传染病。近年来, 随着CDV宿主范围的不断扩大, 犬瘟热已成为威胁大熊猫种群数量和生命安全的第一大传染病(Loots et al,

2016)。目前,已经有多例由犬瘟热病毒感染而导致的繁育的大熊猫死亡(李金中等, 1999; 冯娜, 2017; 赵鹏鹏等, 2017)。野外大熊猫感染犬瘟热可能主要是栖息地内散养的家犬造成的。金艺鹏等(2015)和 Jin等(2017)通过红外相机监测拍摄到了家犬与大熊猫相遇的图片,证实散养的家犬活动范围与野生大熊猫家域存在重叠,并且从这些家犬上分离到的犬瘟热毒株与2014年大熊猫犬瘟热疫情毒株存在高度同源性。

2 对于重要疫源疫病呈现多部门、多层监管的局面

目前,我国重要陆生兽类疫源疫病或重大新发突发传染性疫病的监管涉及国家林业与草原局(简称林草局,主要负责野生动物疫源疫病监测与防控)、农业农村部(负责畜牧动物检疫和防治)、国家卫生和计划生育委员会(简称国家卫计委,负责传染病监测与防治)和国家质检总局(负责进出口动物检疫)等多个主管部门,以及全国和地方人民代表大会、行业主管部门发布的相关法律法规。此外,野生动物及其相关产品、制品进入市场前后也受到国家市场监督管理总局、国家药品监督管理局等主管部门及其发布的相关法律法规的监管。

国家和相关主管部门发布的主要法律法规有《中华人民共和国传染病防治法》(2004年12月1日起实施,2013年6月29日修订)、《中华人民共和国动物防疫法》(1998年1月1日起实施,2013年6月29日修订)及《一、二、三类动物疫病病种名录》(中华人民共和国农业部公告第1125号,2008年12月11日起施行)、《中华人民共和国进境动物检疫疫病名录》(国家质检总局和农业部第2013号联合公告)、《中华人民共和国野生动物保护法》(1989年3月1日起施行,2018年10月26日修订)、《重大动物疫情应急条例》(2005年11月16日经国务院公布,2017年10月7日修订)、《陆生野生动物疫源疫病监测防控管理办法》(2013年1月22日国家林业局令第31号,2013年4月1日起施行)。全国人大于2020年2月24日审议通过《关于全面禁止非法野生动物交易、革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康安全的决定》,指出须尽快制定国家生物安全法,并对上述野生动物和疫病相关法律法规进一步修订补充和完善。为了实施这些法律法规,国家林草局、农业农村部、国

家卫健委和国家质检总局等主管部门均设立了三级或四级专门机构来负责对各类动物疫病进行监管,并各有侧重,分别从不同层面和范围对动物疫病的监测研究、检疫和防控等提出了严格规定和具体要求,为保障我国人民的生命健康、动物健康和食品药品安全等发挥了非常重要的指导作用和预警防控作用。

《中华人民共和国传染病防治法》明确了甲类、乙类和丙类等三类38种传染病(含最近暴发流行的新冠肺炎),《一、二、三类动物疫病病种名录》确定了一、二、三类等149种动物疫病,而《中华人民共和国进境动物检疫疫病名录》根据动物疫病危害程度分为一、二、三类共206种传染病和寄生虫病。在上述法律法规和相关疫病名录基础上,原国家林业局实施的《陆生野生动物疫源疫病监测规范(试行)》(2006年3月7日起实施)明确了鸟类和兽类相关的重要疫源疫病,其中兽类相关的疫源疫病重点是灵长类、有蹄类、啮齿类、食肉类和翼手类等类群的相关细菌性和病毒性疫源疫病。之后正式发布的《陆生野生动物疫源疫病监测技术规范》(2014年12月1日实施)规定应全面监测哺乳类、鸟类、爬行类和两栖类陆生野生动物;重点监测疫病种类和疫源物种目录(补充目录)应根据陆生野生动物疫病的危害程度、宿主范围、社会关注程度、在国内陆生野生动物种群的流行情况和对宿主陆生野生动物种群安全影响等确定。本文所涉及的24种重要人兽共患病均为国家林业与草原局监管的重要野生动物疫源疫病,属于农业农村部监管的有12种,卫健委CDC监管的有11种,以及国家质检总局监管的有11种(附录1)。其中,布鲁氏菌病、炭疽病、狂犬病和钩端螺旋体病等4种疫病的监管涉及所有4个主管部门,结核病、口蹄疫、犬瘟热、小反刍兽疫、非洲猪瘟、猪链球菌病(*swine streptococosis*)、野兔热(*tularaemia*)和弓形虫病(*toxoplasmosis*)等8种疫病的监管涉及3个主管部门,其余疫病的监管均涉及2个主管部门。根据我国和全球动物源疫情流行趋势与控制情况变化,国家和各主管部门在实施过程中对动物源疫病监管的法律法规、名录以及监管内容均有不同程度的调整、修订和更新,如今年暴发的新冠肺炎即被列为相关部门的监管疫病。

从国家和地方法律法规制定颁布和具体实施来看,野生动物及相关疫病的管理呈现为多部门、

多层监管的局面。目前这种监管局面尽管有利于发挥各部门的职能优势,但存在的弊端也很明显,如:(1)在非疫情期间,部门间常常各自为政,信息沟通和共享不足,而重大疫病疫情发生常与多个部门相关联,易造成监管空缺;(2)在发生重大突发疫情时,部门间尚未建立统一的协调机构和协作机制,由于责、权、利难以明确,易造成疫情早期的混乱,甚至局面失控。

3 野生动物疫病防控面临的监管空缺和认知空缺

3.1 病原及其宿主动物的来源错综复杂,存在监管空缺

掌握传染源是了解和防控动物源疫病发生的关键环节。通常,病原生物的传播依赖于宿主动物和相关媒介的分布和活动范围,以及感染者(动物或人)和宿主或相关媒介的接触。根据兽类分布、人类利用及相关疫病的发生特征,当前我国兽类组成极为复杂,既包括野生兽类,也包括诸多被人类利用的养殖、繁育并用于科学研究、药用、展示用的非野生兽类。根据人类对动物繁殖和生活条件的控制情况,野生兽类应包括:未经中长期人工选择的动物类群,在自然或人工环境中自由生存繁殖;被捕捉养殖在人工环境中生活或在养殖条件下出生的个体;直系血亲(世系前四代)仍有野外来源的人工繁育后代;放生、逃逸或引入到自然环境中的人工繁育个体(曾岩等, 2020)。随着全球化贸易增加,当前我国宿主动物的来源错综复杂,造成了病原生物的来源也极为复杂,从而增加了人类与野生动物及其病原接触和感染的风险(Li et al, 2020)。

野生动物的养殖和利用缺乏过程监管,未建立可溯源可追踪的动物个体健康档案,缺失疫病疫情防控机制。目前我国野生动物疫源疫病监管虽在有序推进,但由于起步晚,基础较弱,监管中依然存在诸多不完善的地方。就机构设置而言,目前缺乏必要的信息报送渠道,导致疫情可能无法被及时发现;就人员配备而言,部分基层部门存在人员不足、专业素质不匹配的问题。由于上述原因,负责野生动物人工养殖监管的部门不能及时掌握企业和商户的养殖、繁育、产品加工、市场贸易及疫病疫情等信息,部分野生动物养殖企业为了一时的经济利益,会将野外抓捕或非法贸易得来的野生动物与已有养殖野生动物混合而进行“洗白”。此外,我

国野生动物养殖主体主要是公司和商户,进行野生动物养殖需要的场地兴建、种苗培育、工人培训和饲料采购等比饲养家禽家畜需要更多资金。动物养殖的公司商户多采用家庭式、公司+农户等粗放式的管理,未建立系统的养殖野生动物个体健康档案,没有准确记录养殖动物的来源、谱系、健康状况、疾病诊疗、去向信息、死亡原因、解剖记录及尸体处理情况等。因缺乏防疫知识且受利益驱动,一些病死动物甚至作为食材非法流入市场,带来极大的公共卫生风险。多数野生动物养殖商户未建立动物疫病疫情防控的相关制度,更缺乏疫病疫情的应急预案和情景式演练。因此,监管部门应提供足够的专业扶持资金和专业技术力量来加强养殖动物的检疫防疫和相关专业培训,指导公司商户做好动物疫病的防控。

城镇化、人口流动、外来物种引入、森林破坏等人为活动也极大地改变了野生动物的分布和行为。由于存在放养、重新野化、放生、遗弃、流浪、养殖逃逸等各类情况,当前我国城镇和农村各类人居环境(城镇、居民区、社区)和半自然生境(如农林交错区)均或多或少分布有非野生兽类个体和种群(注:缺乏详细调查数据),而这些非野生个体及其相关疫病既缺乏严格检疫,也缺少相关监测研究,极易造成监测空缺和管理错位,因此存在较高的动物源疫病发生风险。

3.2 交易链和传播链极为复杂多样,检疫环节容易失察

长期以来,我国野生动物贸易极为频繁,既涉及活体交易、引种繁育和养殖等,也涉及各类加工品和制品的大量交易。许多参与交易的野生动物及其产品来源不清楚,既有野生个体,也有养殖个体。当前,高度发达的交通网络和信息网络促进了国内外野生动物交易,交易环节和交易过程变得十分复杂,违规违法交易不断,检疫环节容易失察,监管十分困难。近年来,我国野生动物养殖业也在不断扩大,加上非法猎杀和黑市交易,交易市场和场所也极为复杂,运输、活体交易和餐饮等复杂的交易链条造成了多样化的疫病传播链,任何环节上的疏漏均可导致监管漏洞,并出现极大的疫病危机。此外,我国野生动物及其疫病管理和防控涉及多个主管部门,对野生动物疫病的检疫和管理存在较多短板,规范性差,加上长期食用野生动物的陋

习存在,大大增加了动物源疫病的感染和传播风险。2003年SARS疫情和2019年新冠肺炎疫情等的暴发流行反复暴露了我国野生动物交易中缺乏严格检疫监督和滥食野生动物的陋习。

我国的野生动物养殖产业迄今未建立驯养繁育行业标准和国家标准,导致饲料加工、疾病防控、动物福利、产品生产及质量把控等诸多方面存在不可控性。我国针对家养畜禽的动物检疫标准主要由农业部门制定,但对野生动物的检疫只能参考相近畜禽的标准来执行,而对竹鼠、麝等野生动物类群,因缺乏可参考的检疫标准,不能进行有效检疫。此外,野生动物疫源病的相关研究较为缺乏,检疫实验室、检疫实验设施及检疫技术人员的配备距离野生动物有效检疫尚有较大距离。因此,无法进行对野生动物的快速有效检疫,甚至无法出具检疫合格证明,容易导致在野生动物养殖、繁育、运输、交易及产品使用等过程中而引发重大疫情。

科学研究和医用的实验动物和动物模型也存在较高的传染源管控风险。很多病毒性传染病和细菌性传染病极易造成实验动物和实验人员之间的交叉感染,带病的实验动物处置和疫苗研制过程中如存在监管不严和操作不当等问题,极易造成实验室病原外漏和感染。冠状病毒存在人兽共患的风险,实验人员与研究对象之间容易发生病毒交叉感染,已有报道发现冠状病毒在灵长类动物中的传播案例:黑猩猩(如coronavirus OC43, Patrono et al, 2018)和猕猴(如SARS-CoV-2, Shan et al, 2020)。2019年底兰州布鲁氏菌病的感染事件(<http://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/zl/blsjb>),是由于布鲁氏菌疫苗制备时废气消毒不彻底导致,也凸显了企业单位监管不严导致的病原外漏等已成为疫病发生与传播的途径之一。

3.3 突发性极端气候及灾害事件频发,重大疫病监管和风险预警能力建设重视不够

突发性极端气候及灾害事件发生后可能存在重大疫病发生与流行风险。突发气候与灾害事件本身很难预知,但事件发生期间与之后应该有相应的相关宿主动物与疫病防控。我国在地震、洪水灾后的疫病监测具有一定的基础与经验。例如,地震、洪灾后的水和食物易受到污染,卫生条件恶化与相关设施不足可能引发水源性和食源性传染病暴发(感染性腹泻、伤寒、痢疾等),因此一般灾后会开展风险评估并积极应对与管理,降低灾后疫情风险

(刘勇鹰等, 2008; 王茂波等, 2009; 高婷和苏宁, 2013)。但是,一些间接的疫病风险尚未得到足够重视,尤其是突发性极端气候及灾害事件导致的动物种群暴发与扩散,进而增加病原从动物传至人类的概率,易导致疫病发生(Gubler et al, 2001; Chase & Knight, 2003; Xu et al, 2015)。在一些极端气候事件与灾害频发的地区,仍需深入了解疫源动物的背景并加强长期监测,做好预警防控工作。

3.4 对新发突发传染性疫病缺乏足够的认知,不利于从源头防控

新发突发传染病的重大疫情暴发流行,尤其是未知疾病的发生(如SARS、新冠肺炎)给病因诊断与防控带来了巨大的挑战。人类认知对新发突发动物源疫病存在明显的滞后性,这一定程度上是受限于我们对宿主动物及其病原了解不足,难以迅速有效地查证疾病源头。一方面,对已知病原的宿主动物的种类、种群及分布了解不足,未能掌握疾病的所有传播途径与致病机制,在重大突发疫病发生时容易出现源头错查、漏查等问题;另一方面,对自然界动物所携带的未知病原缺乏全面了解,使得新发疫病的源头查证空缺、错位。此外,疫情早期通常面临较为混乱的状况,对感染现场、病原宿主和媒介以及交易链条等重要环节很难及时查验,造成关键人证、物证等缺失,从而失去疫病溯源的关键时间关口和关键线索,导致疫病溯源受阻。以上问题的存在极大降低了重大疫情的预警评估能力,不利于从源头防控。

病原体在跨物种传播过程中的变异和传染性也难以监管。随着接触和感染风险增加,一些病原体如冠状病毒在跨物种传播过程中,因对中间宿主(易感动物)、人群或媒介的适应而发生变异,导致其毒性和感染能力增强(Peeters, 2004; Rouguet et al, 2005; Auewarakul et al, 2008; Perovic et al, 2013; Riou & Althaus, 2020),从而可能造成新发突发性人间传染病疫情的发生。

4 从源头防控新发再发动物源疫病的相关对策与建议

从上文可知,在全球或区域暴发流行的新发和再发传染性疫病多来自以兽类为主的野生动物。针对上述问题,本文提出了从源头加强基础研究和监管以掌握其发生规律和致病机理,从而有效遏制和

防范这些疫病的相关对策和建议。

(1)从源头加强基础研究, 重视“全链条”的持续科学研究

病原生物及其宿主动物、媒介并非独立存在, 而是与其他动植物、微生物存在复杂关系。野生动物的病原生物监测、检疫和相关研究需要横跨宏微观生命科学和预防医学研究领域, 既需要具备动物生态学专业知识和具有丰富野外工作经验的人员采集动物样本, 然后带回实验室进行病原学检验, 也需要其他学科交叉的团队成员, 还需要具备广泛覆盖性的可操作传染性病原的实验室或强毒室。这就需要在监管和防控体系上建立衔接野生动物监管和病原检测的协同机制和机构。此外, 我国野生动物疫源疫病监测和防控工作需要重视相关基础专业人才的培养和队伍建设, 如我国从事蝙蝠分类和野外研究的科研人员严重不足。有关野生动物疫源疫病的基础研究和防控涉及生态学、分类学、生物学、流行病学、信息科学等诸多基础学科和研究团队的能力建设。从源头防控动物源疫病的关键在于通过监测和基础研究来深入了解病原生物与其宿主、媒介、环境之间的关系, 从源头深刻揭示疫病的发生规律、致病机理和跨物种感染传播机制, 明确病原-动物(宿主及媒介)-人的食物链与传播链网络, 确定疫病发生与传播的关键防控环节, 实现多方法、多途径的全链条监测研究与防控网络。

监测研究为疫病防控提供了基本原理和技术方法。野生动物疫病研究的薄弱点在于学科缺乏交叉, 特别是生态学调查和病原检测技术相分离, 也特别需要重视新技术新方法的应用。近年来, 分子病原检测技术、高通量测序技术、红外相机技术等非入侵性、智能化、自动化技术方法的运用, 对病原生物及其宿主动物的调查研究可以突破时间、环境等因素的限制, 可获取高频率、高精度的科学数据。人类需要不断认知病原, 而可靠的物种鉴定是进行病原生物及其宿主、媒介调查监测的基础。由于病原生物个体极小、生活史复杂和分布极广等特征, 对这些病原生物的野外监测研究常常面临诸多困难。随着分子生物学技术的发展, 核酸、基因组测序、抗原抗体等分子检测技术已广泛用于病原生物的检测和疫病防控中, 如核酸检测和咽拭子已成为病原微生物的常规检测手段, 使得大规模对病原生物进行检测成为可能, 分子流行病学领域得到了

快速发展。红外相机技术是通过自动触发相机来收集动物图像信息在野外研究中作为动物出现的证据, 已成为陆生大中型动物监测与研究的重要工具(肖治术等, 2014)。对于小型兽类, 笼捕和铗捕仍是啮齿动物的常规监测手段, 网捕为蝙蝠等翼手类动物的常规监测手段。目前, DNA条形码技术也逐渐成为小型兽类物种识别和监测的重要手段。

(2)从源头全面排查疫病的监管空缺, 重视对疫病风险评估和预警防控体系建设

加强对重点疫区、重点宿主类群(如蝙蝠类、啮齿类)等重大疫源疫病的持续监测和科学研究, 并从源头全面排查相关动物源疫病。针对极端气候事件、地质灾害, 灾后及时组织重要动物类群的考察, 制定防控措施以遏制重要宿主种群暴发与迁移, 阻断其传播途径; 在气候、地质灾害频发地区, 应开展长期监测工作, 获取背景资料, 甄别宿主与媒介动物种群变化的临界点与预警信号, 实现疫情风险的早期预警。

实验室生物安全问题应当明确监管、增加投入、定期对人员开展培训。现有的CDC疾控疫情网缺少了对野生动物疫源疫病的监管, 而在野生动物疫源疫病监管领域则缺少P3等规格的病原实验室, 造成动物生态学和病原学的结合不够。这些需要不同部门和学科之间的交叉协作, 但现在行业分割、消息封闭, 从而可能导致重大疫情防控不力的严重后果。开展疾病传播调查和传播途径的研究, 再结合公众健康教育, 才能制定出有效的预防人类新发传染病暴发的措施。此外, 还需要建立全面的监控体系, 特别是对动物尸体的监控, 及时发现传染病暴发的热点地区, 向政府发出预警信号。

(3)针对多样化的传染源头, 完善交易链管控, 减少与人类接触的机会

我国养殖动物的来源和利用方式极为复杂多样, 如野生动物繁育保种、特种动物(含宠物)养殖、畜牧业养殖、动物园野生动物引种和繁育, 以及实验动物饲养管理等。此外, 由于遗弃、放生、逃逸等原因, 许多饲养的兽类有更多机会进入人居环境和自然栖息地, 有的甚至成为入侵种, 对我国原生的土著物种造成极大威胁。除了以牛、羊、猪为主的传统畜牧业外, 我国非野生兽类等经济动物的规模化养殖单位在逐年增多, 经营规模不断扩大, 但这些畜群及其产品流通市场的发展也给疫病流行

造成了有利条件。

疫情发生后,对于新发疫病的病原溯源、宿主查证应科学谨慎,避免盲目猜测、一棒子打死等不计后果、不负责任的防控措施,建立纠错机制,综合考虑疫情风险、动物福利、经济社会效应等因素来制定野生动物管理对策。重视野生动物栖息地保护,将野生动物保持在其自然生境中,建立从动物到人类聚集地的迁移缓冲区,加强监测调查,防止野生动物宿主从其自然生境向人类聚集地迁移,应成为降低动物源疫病发生与传播的基本对策。

此外,全球贸易增加,需加大野生动物活体交易的检疫,特别加强输入性疫病的检疫和防控。针对复杂的交易链条,采取严格的交易审批登记制度,严格检疫,严防动物逃逸。

(4)完善动物养殖产业行业标准与国家标准,建立完备有效的动物检疫体系

SARS疫情和最近的新冠肺炎疫情的暴发流行对以野生动物为主的特种动物养殖业产生了巨大影响,特别是2020年2月全国人大立法拟全面取缔和管制野生动物养殖,严禁非法野生动物贸易和猎杀野生动物,并倡导革除食用野生动物陋习并善待野生动物。建议尽快开展对野生动物养殖产业的专项调查,准确掌握动物来源、养殖种群构成、繁殖参数、经营和贸易等信息,建立物种系谱、繁育档案和个体数据,并给予养殖企业技术指导;评估养殖企业的疫病疫情暴发风险和防控措施,对其可持续养殖经营、疫情防控 and 关停并转等提供建议。

构建有效的动物养殖检疫体系是预警防控所必需的。主管野生动物养殖的农、林及畜牧等行业部门须针对每个养殖动物物种建立明确的检疫标准及技术人员资格要求,严格进行野生动物检疫;对人工繁育的野生动物进行定点加工,禁止活体野生动物进入市场;鼓励野生动物养殖企业与大专院校和科研单位合作,启动养殖野生动物的病原体研究,加强实验室建设及检疫技术人员的能力培训,提高检疫的有效性,杜绝疫病疫情风险。野生动物养殖企业须构建动物来源管理、谱系管理、个体档案管理及饲养员安全培训管理等一系列制度,建立和完善动物个体的健康档案;构建区域性、行业性的疫病疫情防控预案,并进行情景式的疫病疫情演练。各级主管部门应构架区域性的动物疫病疫情监控制度和应急预案,层次间的疫病疫情监控信息实

现网络化管理,确保信息的快速报送和反馈。在偶蹄目动物的进口交易中,对口蹄疫、小反刍兽疫等疫病需加强海关检疫,防止境外输入(陈京彩等,1998;张喜悦等,2007)。

(5)加强国家和地方疫病防控和生物安全相关的立法工作,为国家主管部门及行业部门之间的联防联控提供机制保障,做到有法可依、有据可查、依法监督、严格执法

如上所述,国家和地方在我国重大野生动物疫源疫病或重大新发突发传染性疫病监管方面的法律法规仍有待完善和进一步修订。特别是近期全国人大《关于全面禁止非法野生动物交易、革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康安全的决定》,须广泛听取社会各界意见,尽快修订和发布《国家重点保护野生动物名录》和《驯养繁殖技术成熟的野生动物名录》等,加强《中华人民共和国野生动物保护法》的修订,尽早发布国家和地方生物安全相关的法律法规,做到有法可依、有据可查、依法监督、严格执法,让基层执法者更易操作和执行。

基于国家和地方疫病防控和生物安全保障,应整合国家各部门的资源和人才队伍,全面建设跨部门和跨区域的生物安全保障协调机构和野生动物及疫病综合监测平台,建立和完善生物安全和疫病防控大数据资源共享服务机制,建立和健全跨部门、跨区域的预防预警和联防联控机制,确保在重大疫情暴发情况下能够做出快速有效的积极防控。

鉴于上述情况,为了减少野生动物主要疫病的流行病学调查和风险评估分析中存在的不足,应对我国野生动物疫病相关的病原生物及其宿主、媒介从源头加强监测调查,重视野生动物疫源疫病相关科学资料积累,确保科学数据可查、可用。重视基础数据收集与共享,推动动物宿主-媒介-病原数据库、过往疫情发生时空追溯数据库、新发疫情的实时数据库等三大数据库的建设。对于非涉密数据实现共享,降低数据获取门槛,以便更多科学家参与疫病预警与防控研究。从国家安全治理体系来看,我国对威胁国家生物安全的重大疫病隐患需要加强多部门协同合作,建立对国内防疫病扩散,对外防疫病输入的联防联控机制。

总之,我国野生动物疫源疫病相关的研究基础较为薄弱,起步晚、底子薄,专业队伍培养不足,应

对突发重大野生动物疫源疫病的能力亟待全面建设和提高。针对目前新发传染病防控难题和面临的挑战,以促进人类健康、动物健康和环境健康协调发展的共同健康理念(One Health)应运而生,需重视跨学科、跨部门、跨地区的协同合作,做好疫病预防预警(Asokan et al, 2011)。面对新发重大疫病防控,需要将防控关口提前,实施“主动出击、全面出击”(Gao, 2018),系统规划国家生物安全风险防控和治理体系建设,全面提高国家生物安全治理能力。

参考文献

- Asokan GV, Asokan V, Fedorowicz Z, Tharyan P (2011) Use of a system approach and evidence-based One Health for zoonoses research. *Chinese Journal of Evidence-based Medicine*, 11, 845–848. (in Chinese) [Asokan GV, Asokan V, Fedorowicz Z, Tharyan P (2011) 用系统方法和同一个健康理念研究种间传染病. *中国循证医学杂志*, 11, 845–848.]
- Auewarakul P, Hanchaoworakul W, Ungchusak K (2008) Institutional responses to avian influenza in Thailand: Control of outbreaks in poultry and preparedness in the case of human-to-human transmission. *Anthropology & Medicine*, 15, 61–67.
- Chase J, Knight T (2003) Drought-induced mosquito outbreaks in wetlands. *Ecology Letters*, 6, 1017–1024.
- Chen JC, Sun ZY, Ru YG, Liu SP (1998) Foot-and-mouth disease VIA antibody detected from imported wild animals. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 24(11), 16. (in Chinese) [陈京彩, 孙振远, 茹亚光, 刘淑平 (1998) 进口野生动物检出蹄疫VIA抗体. *中国兽医杂志*, 24(11), 16.]
- Cheng C, Wang WJ, Zhang K, Ma XJ, Li MY, Xu LH (2019) Serological investigation of paratuberculosis in dairy cows in Ningxia. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 55, 62–64. (in Chinese) [程成, 王文佳, 张凯, 马小静, 李梦莹, 许立华 (2019) 宁夏地区奶牛副结核病原血清学调查. *中国兽医杂志*, 55, 62–64.]
- Cheng YH, Wang M, Wang C, Ma LP, He TM, Wang PY (2018) The death investigation and protection strategies of gorals in subalpine areas of western Sichuan. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 39(1), 54–58. (in Chinese with English abstract) [程跃红, 王敏, 王超, 马联平, 何廷美, 王鹏彦 (2018) 川西亚高山斑羚冬春季死亡调查及保护策略. *四川林业科技*, 39(1), 54–58.]
- Dirzo R, Young HS, Galetti M, Ceballos G, Isaac NJB, Collen B (2014) Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345, 401–406.
- Fang XY, Xu L, Liu QY, Zhang RZ (2011) Eco-geographic landscapes of natural plague foci in China: I. Eco-geographic landscapes of natural plague foci. *Chinese Journal of Epidemiology*, 32, 1232–1236. (in Chinese) [方喜业, 许磊, 刘起勇, 张荣祖 (2011) 中国鼠疫自然疫源地分型研究: I. 生态地理景观特征. *中华流行病学杂志*, 32, 1232–1236.]
- Feng N (2017) Epidemiological Investigation of Canine Distemper in Giant Pandas and Experimental Immunization Research. PhD dissertation, Jilin Agricultural University, Changchun. (in Chinese with English abstract) [冯娜 (2017) 大熊猫犬瘟热流行病学调查与实验免疫研究. 博士学位论文, 吉林农业大学, 长春.]
- Gao GF (2018) From “A” IV to “Z” IKV: Attacks from emerging and re-emerging pathogens. *Cell*, 172, 1157–1159.
- Gao T, Su N (2013) Risk assessment and strategies after floods occurring in Beijing in 2012. *Chinese Journal of Public Health Management*, 29, 713–716. (in Chinese) [高婷, 苏宁 (2013) 2012年北京雨洪灾害后传染病疫情风险评估与应对策略. *中国公共卫生管理*, 29, 713–716.]
- Ge X, Li Y, Yang X, Zhang H, Zhou P, Zhang Y, Shi Z (2012) Metagenomic analysis of viruses from bat fecal samples reveals many novel viruses in insectivorous bats in China. *Journal of Virology*, 86, 4620–4630.
- Gebreyes WA, Dupouy-Camet J, Newport MJ, Oliveira CJB, Schlesinger LS, Saif YM, Kariuki S, Saif LJ, Saville W, Wittum T, Hoet A, Quessy S, Kazwala R, Tekola B, Shryock T, Bisesi M, Patchanee P, Boonmar S, King LJ (2014) The global one health paradigm: Challenges and opportunities for tackling infectious diseases at the human, animal, and environment interface in low-resource settings. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8, e3257.
- Gubler D, Reiter P, Ebi K, Yap W, Nasci R, Patz J (2001) Climate variability and change in the United States: Potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environmental Health Perspectives*, 109(Suppl. 2), 223–233.
- Jin YP, Liu QR, Sun M, Qiao YC, Qiao MM, Liu BH, Lin DG, Chen XZ (2015) Genomic characterization of the newly emerged canine distemper virus in giant panda. *Scientia Agricultura Sinica*, 48, 1445–1452. (in Chinese with English abstract) [金艺鹏, 刘巧荣, 孙明, 乔雁超, 乔明明, 刘伯华, 林德贵, 陈西钊 (2015) 大熊猫源犬瘟热病毒基因组遗传特征分析. *中国农业科学*, 48, 1445–1452.]
- Jin YP, Zhang XK, Ma YS, Qiao YC, Liu XB, Zhao KH, Zhang CL, Lin DG, Fu XL, Xu XR (2017) Canine distemper viral infection threatens the giant panda population in China. *Oncotarget*, 8, 113910–113919.
- Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, Daszak P (2008) Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990–993.
- Lau SKP, Wong ACP, Zhang LB, Luk HKH, Kwok JSL, Ahmed SS, Cai JP, Zhao PSH, Teng JLL, Tsui SKW, Yuen KY, Woo PCY (2019) Novel bat alphacoronaviruses in southern China support Chinese horseshoe bats as an important reservoir for potential novel coronaviruses. *Viruses*, 11, 423.
- Li CW, Qu CM, Jin SY, He YG, Yang Q, Yang B, Wang CD, Liu SC, Li DS (2016) Analysis of serow mortality in

- Wolong Nature Reserve. *Chinese Journal of Wildlife*, 37(2), 147–150. (in Chinese with English abstract) [李才武, 瞿春茂, 金森燕, 何永果, 杨乾, 杨波, 王承东, 刘世才, 李德生 (2016) 卧龙自然保护区一鬃羚死亡原因剖析. *野生动物学报*, 37(2), 147–150.]
- Li FF, He XL, Cheng C, Wang WJ, Zhang K, Xu LH (2018) Advances in molecular detection of *Mycobacterium bovis* based on PCR. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 54(5), 70–73. (in Chinese) [李凡飞, 何小丽, 程成, 王文佳, 张凯, 许立华 (2018) 基于PCR方法的牛分枝杆菌分子检测技术研究进展. *中国兽医杂志*, 54(5), 70–73.]
- Li HY, Zhu GJ, Zhang YZ, Zhang LB, Hagan EA, Martinez S, Chmura AA, Francisco L, Tai H, Miller M, Daszk P (2020) A qualitative study of zoonotic risk factors among rural communities in southern China. *International Health*, 12, 77–85.
- Li JZ, Xia XZ, Hu GX, Fan ZQ, Zou XH, Wu YL, Huang G, Yuan SZ, Qiao GL (1999) Ecological investigation of canine distemper virus in China. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 34(4), 88–89, 91–92. (in Chinese) [李金中, 夏咸柱, 胡桂学, 范志强, 邹啸环, 武银莲, 黄耕, 袁书智, 乔贵林 (1999) 我国犬瘟热病毒的生态学调查研究. *畜牧兽医学报*, 34(4), 88–89, 91–92.]
- Li W, Shi Z, Ren M, Smith C, Epstein JH, Wang H, Cramer G, Hu Z, Zhang H, Zhang J, McEachern J, Field H, Daszak P, Eaton BT, Zhang S, Wang LF (2005) Bats are natural reservoirs of SARS-like coronaviruses. *Science*, 310, 676–679.
- Li WD, Liang GD, Liang B, Hu ZH, Shi ZL, Zhang SY (2004) Progress of research on the viruses in bats. *Virologica Sinica*, 19, 418–425. (in Chinese with English abstract). [李文东, 梁国栋, 梁冰, 胡志红, 石正丽, 张树义 (2004) 蝙蝠携带病毒的研究进展. *中国病毒学*, 19, 418–425.]
- Li XY, Ma RL, Wang YP, Zhang LC, Fu YJ, Wang XZ, Zhang MH, You XQ (2016) Monitoring and prevention strategy of peste des petits Ruminants in Qinghai Province. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 52(11), 126–127. (in Chinese) [李秀英, 马睿麟, 王云平, 张立成, 傅义娟, 王谢忠, 张茂华, 游潇倩 (2016) 青海省小反刍兽疫的监测与防范策略. *中国兽医杂志*, 52(11), 126–127.]
- Liu YY (2009) Fast evaluation and disease surveillance. *South China Journal of Preventive Medicine*, 35(1), 65–68. (in Chinese) [刘勇鹰 (2009) 地震灾害现场快速评估与疾病监测. *华南预防医学*, 35(1), 65–68.]
- Liu YY, Zhang YR, Liu XL, Lin LF, Liu YF, Peng ZQ (2008) Disease surveillance and risk evaluation on the transmission of infectious disease in emergent status after earthquake. *South China Journal of Preventive Medicine*, 34(4), 9–12. (in Chinese with English abstract) [刘勇鹰, 张玉润, 刘小立, 林立丰, 刘于飞, 彭志强 (2008) 地震灾区紧急状态下的疾病监测与传染病流行风险评估. *华南预防医学*, 34(4), 9–12.]
- Loots AK, Mitchell E, Dalton DL, Kotzé A, Venter EH (2016) Advances in canine distemper virus (CDV) pathogenesis research: A wildlife perspective. *Journal of General Virology*, 98, 311–321.
- Nie YB, Qiao J (2019) Impact of African swine fever on the development of pig industry in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(1), 11–17. (in Chinese) [聂赞彬, 乔娟 (2019) 非洲猪瘟发生对我国生猪产业发展的影响. *中国农业科技导报*, 21(1), 11–17.]
- Nunn CL, Altizer S (2006) *Infectious Diseases in Primates: Behavior, Ecology and Evolution*. Oxford University Press, Oxford & New York.
- Old JM, Sengupta C, Narayan E, Wolfenden J (2017) Sarcopic mange in wombats—A review and future research directions. *Transboundary & Emerging Diseases*, 65(8), 1–9.
- Olival KJ, Epstein JH, Wang LF, Field HE, Daszak P (2012) Are bats unique virus reservoirs? In: *New Directions in Conservation Medicine: Applied Cases of Ecological Health* (eds Aquirre AA, Ostfeld RS, Daszak P), pp. 195–212. Oxford University Press, New York.
- Patrono LV, Samuni L, Corman VM, Nourifa L, Røthemeier C, Wittig RM, Drosten C, Calvignac-Spencer S, Leendertz FH (2018) Human coronavirus OC43 outbreak in wild chimpanzees, Côte d'Ivoire, 2016. *Emerging Microbes & Infections*, 7, 118–121.
- Peeters M (2004) Cross-species transmissions of simian retroviruses in Africa and risk for human health. *Lancet*, 363, 911–912.
- Perovic VR, Muller CP, Niman HL, Veljkovic N, Dietrich U, Tosic DD, Glisic S, Veljkovic V (2013) Novel phylogenetic algorithm to monitor human tropism in Egyptian H5N1-HPAIV reveals evolution toward efficient human-to-human transmission. *PLoS ONE*, 8, e61572.
- Riou J, Althaus CL (2020) Pattern of early human-to-human transmission of Wuhan 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV), December 2019 to January 2020. *Eurosurveillance*, 25, 2000058.
- Rouquet P, Froment JM, Bermejo M, Kilbourn A, Waresh W, Reed P, Kumulungui B, Yaba P, Délicat A, Rollin PE, Leroy EM (2005) Wild animal mortality monitoring and human Ebola outbreaks, Gabon and Republic of Congo, 2001–2003. *Emerging Infectious Diseases*, 11, 283–290.
- Shan C, Yao YF, Yang XL, Zhou YW, Wu J, Gao G, Peng Y, Yang L, Hu X, Xiong J, Jiang RD, Zhang HJ, Gao XX, Peng C, Min J, Chen Y, Si HR, Zhou P, Wang YY, Wei HP, Pang W, Hu ZF, Lv LB, Zheng YT, Shi ZL, Yuan ZM (2020) Infection with novel coronavirus (SARS-CoV-2) causes pneumonia in the *Rhesus macaques*. *Infectious Diseases*. Doi: 10.21203/rs.2.25200/v1.
- Song G (2000) The main achievements in the prevention and treatment of epidemic hemorrhagic fever in New China. *Chinese Journal of Epidemiology*, 21(5), 58–62. (in Chinese) [宋干 (2000) 新中国流行性出血热防治研究的主要成就. *中华流行病学杂志*, 21(5), 58–62.]
- Sun Z, Xu L, Schmid BV, Dean KR, Zhang Z, Xie Y, Fang X,

- Wang S, Liu Q, Lyu B, Wan X, Xu J, Stenseth NC, Xu B (2019) Human plague system associated with rodent diversity and other environmental factors. *Royal Society Open Science*, 6, 190216.
- Taylor LH, Latham SM, Woolhouse MEJ (2001) Risk factors for human disease emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 356, 983–989.
- Wan KL (1998) Research status and prospect of Lyme disease in China. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 9(6), 5–9. (in Chinese) [万康林 (1998) 中国莱姆病的研究现状与展望. *中国媒介生物学及控制杂志*, 9(6), 5–9.]
- Wang GM (2019) The implementation of prevention of peste des petits ruminants and the problems faced in Tianjun Town. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 49(4), 69–70. (in Chinese) [王光明 (2019) 天峻县小反刍兽疫防控工作开展情况及面临的问题. *青海畜牧兽医杂志*, 49(4), 69–70.]
- Wang MB, Zhang JJ, Liu H, Jie LJ, Jiang SX, Wang HZ (2009) Public health condition and epidemics risk after earthquake in Beichuan. *Chinese Journal of Public Health*, 25, 1271. (in Chinese) [王茂波, 张建军, 刘洪, 接令均, 蒋善祥, 王合章 (2009) 北川县震后公共卫生状况及传染病流行风险. *中国公共卫生*, 25, 1271.]
- Wang YY, Li N, Chen GL, Wang KC, Yuan JG, Zhang MJ (2018) An emergency epidemiological investigation on deer *Clostridiosis welchii* in Chengde City of Hebei Province. *China Animal Health Inspection*, 35(3), 14–16. (in Chinese) [王圆圆, 李宁, 陈国亮, 王楷成, 袁建国, 张淼洁 (2018) 河北省承德市一起鹿魏氏梭菌病的紧急流行病学调查. *中国动物检疫*, 35(3), 14–16.]
- Wang ZM, Jia GL, Wang JB, Lin XM, Han XQ, Zhang Y (2010) Progress in studies on pathogen of *Bovine tuberculosis*. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 37, 207–210. (in Chinese) [王志梅, 贾广乐, 王建波, 林祥梅, 韩雪清, 张映 (2010) 牛结核病原体研究进展. *中国畜牧兽医*, 37, 207–210.]
- Wu QX, Pei JF, Jin XL, Xian YH, Chang LL, Che LF, Li FF, Zhao ZM, Shen J, Liu YQ (2019) Investigation of death causes of wild gorals in Qinling Mountains. *Progress in Veterinary Medicine*, 40(12), 136–139. (in Chinese with English abstract) [吴桥兴, 裴俊峰, 金学林, 县怡涵, 常玲玲, 车利锋, 李芳芳, 赵泽明, 沈洁, 刘育强 (2019) 秦岭野生斑羚死亡原因调查. *动物医学进展*, 40(12), 136–139.]
- Xiao ZS, Li XH, Wang XZ, Zhou QH, Quan RC, Shen XL, Li S (2014) Developing camera-trapping protocols for wildlife monitoring in Chinese forests. *Biodiversity Science*, 22, 704–711. (in Chinese with English abstract) [肖治术, 李欣海, 王学志, 周岐海, 权锐昌, 申小莉, 李晟 (2014) 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. *生物多样性*, 22, 704–711.]
- Xu L, Schmid B, Liu J, Si X, Stenseth N, Zhang Z (2015) The trophic responses of two different rodent-vector-plague systems to climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20141846.
- Xu L, Stige LC, Leirs H, Neerinckx S, Gage KL, Yang R, Liu Q, Bramanti B, Dean KR, Tang H, Sun Z, Stenseth NC, Zhang Z (2019) Historical and genomic data reveal the influencing factors on global transmission velocity of plague during the Third Pandemic. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 116, 201901366.
- Yang GY, Yang XC (1997) The investigation of sarcoptic mange outbreak in sumen in Jiuzhaigou Nature Reserve. *Sichuan Journal of Zoology*, 16(2), 86. (in Chinese with English abstract) [杨光友, 杨学成 (1997) 九寨沟自然保护区苏门羚群发性疥螨病的调查. *四川动物*, 16(2), 86.]
- Ying L, Yang YQ, Li L, Zhao QB, Wang XZ, La H, Liu FX, Tan SK, Song LZ, Wu XD, Cai JS (2019) Diagnosis and control of the first peste des petits ruminants infecting wild *Pseudois nayaur* in the Qinghai Plateau area. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 51(12), 112–117. (in Chinese) [应兰, 杨毅青, 李林, 赵全邦, 王谢忠, 拉华, 刘拂晓, 谭生魁, 宋龙智, 吴晓东, 蔡金山 (2019) 青海高原首例岩羊小反刍兽疫诊断与控制. *畜牧与兽医*, 51(12), 112–117.]
- Zeng Y, Ping XG, Wei FW (2020) A conceptual framework and definitions for the term “wild animal”. *Biodiversity Science*, 28, 541–549. (in Chinese with English abstract). [曾岩, 平晓鸽, 魏辅文 (2020) “野生动物”的概念框架和术语定义. *生物多样性*, 28, 541–549.]
- Zhang CL, Liu Y, Zhao J, Jia T, Yang MH, Pu TC, Ding N, Zheng CM, Yuan L, Zhang JG (2011) *Clostridial gastroenteritis* and its prevention in herbivorous artiodactyls. *Chinese Journal of Wildlife*, 32(6), 336–342. (in Chinese) [张成林, 刘燕, 赵京, 贾婷, 杨明海, 普天春, 丁楠, 郑常明, 原蕾, 张金国 (2011) 草食偶蹄动物魏氏梭菌病及预防. *野生动物*, 32(6), 336–342.]
- Zhang HL, Shi HF, Liu LH, Yu RX, Zi DY, Li ZX, Zhang TS, Cui WQ, Wang ZW, Guo ZM, Li XN, Jia L (1989) Isolation of Chikungunya virus from bat in Yunnan Province and serological investigations. *Chinese Journal of Virology*, 5, 31–36. (in Chinese) [张海林, 施华芳, 刘丽华, 俞永新, 自登云, 李兆祥, 张天寿, 崔五全, 王志伟, 国正鸣, 李新年, 甲利 (1989) 从云南省蝙蝠中分离基孔肯雅病毒及血清抗体调查. *病毒学报*, 5, 31–36.]
- Zhang HL, Tao SJ, Zhang YZ (2006) Research of arboviruses in the lower reaches areas of Lancang River, Yunnan Province. *Chinese Journal of Experimental and Clinical Virology*, 20(1), 95–98. (in Chinese) [张海林, 陶三菊, 张云智 (2006) 云南省澜沧江下游地区虫媒病毒研究状况. *中华实验和临床病毒学杂志*, 20(1), 95–98.]
- Zhang HL, Zhang YZ, Huang WL, Mi ZQ, Gong HQ, Wang JL (2001) Isolation of Japanese encephalitis virus from brain tissues of bat in Yunnan Province. *Chinese Journal of Virology*, 16(1), 74–77. (in Chinese) [张海林, 张云智, 黄文丽, 米竹青, 龚鹤琴, 王静林 (2001) 从云南省蝙蝠脑

- 组织中分离出乙型脑炎病毒. 中国病毒学, 16(1), 74–77.]
- Zhang HY, Lu ZH, Yang X, Wang YB, Jin Y (2004) The epidemic characteristics of *Clostridiosis wjeldiem* in China. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, (1), 39–41. (in Chinese) [张红英, 卢中华, 杨霞, 王亚宾, 金钺 (2004) 我国魏氏梭菌病的流行特点. 中国畜牧兽医, (1), 39–41.]
- Zhang XY, Liu CJ, Wang ZL, He ZY (2007) Risk analysis of the introduction of peste des petits ruminants (PPR) into China. *China Animal Health Inspection*, 24(10), 40–42. (in Chinese) [张喜悦, 刘春菊, 王志亮, 何昭阳 (2007) 小反刍兽疫(PPR)传入我国的风险分析. 中国动物检疫, 24(10), 40–42.]
- Zhao PP, Zhang GS, Han XL, Shen JN, Zhang DH, Pan GL, Zhang Q, Hou J, Ma QY, Gao GG (2017) Diagnosis, treatment and prevention of canine distemper in giant pandas. *Progress in Veterinary Medicine*, 38(9), 115–118. (in Chinese with English abstract) [赵鹏鹏, 张国士, 韩学利, 沈洁娜, 张丹辉, 潘广林, 张强, 侯佳, 马清义, 高更更 (2017) 熊猫犬瘟热的诊治及预防对策. 动物医学进展, 38(9), 115–118.]
- Zhou P, Fan H, Lan T, Yang XL, Shi WF, Zhang W, Zhu Y, Zhang YW, Xie QM, Mani S, Zheng XS, Li B, Li JM, Guo H, Pei GQ, An XP, Chen JW, Zhou L, Mai KJ, Wu ZX, Li D, Anderson DE, Zhang LB, Li SY, Mi ZQ, He TT, Cong F, Guo PJ, Huang R, Luo Y, Liu XL, Chen J, Huang Y, Sun Q, Zhang XLL, Wang YY, Xing SZ, Chen YS, Sun Y, Li J, Daszak P, Wang LF, Shi ZL, Tong YG, Ma JY (2018) Fatal swine acute diarrhoea syndrome caused by an HKU2-related coronavirus of bat origin. *Nature*, 556, 255–258.
- (责任编辑: 李彬彬 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 中国以陆生野生及非野生兽类(家畜为主)为重点的24种重要陆生兽类相关疫病的监管情况

Appendix 1 Summary of the regulatory and monitoring patterns among 24 important epidemics occurred in wild mammals and non-wild mammals in China

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020124-1.xlsx>



•综述•

生态位模型在流行病学中的应用

王 然^{1,2} 乔慧捷^{1*}

1 (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)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 随着新冠肺炎(COVID-19)疫情在全球逐渐开始蔓延, 对其传播范围以及强度的风险评估工作越来越受到人们的重视。作为生态学和生物地理学中常用的研究手段, 生态位模型也被应用到该项工作中来。虽然预测流行病的传播热点和趋势是生态位模型的应用方向之一, 但由于新冠病毒(SARS-CoV-2)自身特点, 生态位模型并非预测其潜在传播范围的有力工具。本文回顾了近些年来生态位模型在各种流行病学研究中的应用, 比较了疫病传播中常用生态位建模方法的优势与不足, 分析了适用生态位建模的疫病案例以及不适用于生态位建模的疫病特点, 明确指出, 生态位模型只能用于分析流行病在传播过程中受自然环境干扰的部分, 如中间宿主的潜在分布等。而对于包括COVID-19在内的主要通过人传人的流行病, 生态位模型尚无有效的手段进行预测。尽管生态位模型可用于分析流行病的传播范围, 但在使用时需要根据疾病特点有针对性地选择合适的建模方法与建模对象。为了量化疫病传播风险, 还需要考虑其他干扰因素, 以便准确测试和评估生态位模型。若不加选择地滥用生态位模型的工具, 反而会误导决策者的判断。总之, 在应用生态位模型进行研究工作, 特别是预测流行病的传播范围时, 首先要考虑建模对象是否满足生态学假设。

关键词: 生态位模型; 流行病; 疫病生态学; 传播; 疫病模型

Matters needing attention about invoking ecological niche model in epidemiology

Ran Wang^{1,2}, Huijie Qiao^{1*}

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: The outbreak of COVID-19 has spurred a number of risk assessments within the scientific community regarding its spread and intensity. A popular ecological tool, ecological niche models (ENMs) are often used in these studies, and have been used to predict potential hotspots and trends of epidemics. However, ENMs are not the best tool for predicting COVID-19 spread due to the virus' characteristics. This article reviews the application of ENMs for various epidemiological studies in recent decades, comparing advantages and disadvantages of ENM methods for predicting disease characteristics and other models. ENMs can only be used to analyze the impact of environmental disturbances of intermediate hosts during the epidemic transmission process, but SARS-CoV-2 is more reliant on human transmission, leading to poor ENM performance. Therefore, we must choose the appropriate modeling method for the transmission pathways of the disease to accurately predict the epidemic trend. Under appropriate conditions, ENMs can analyze the spread range of epidemics but we must include other interference factors to test and evaluate ENMs accurately. Misusing ENMs would mislead decision-makers. Therefore, when applying ENMs to predict the spread of infectious diseases, the primary consideration must be whether the scientific question meets the ecological assumptions.

Key words: ecological niche model; epidemiology; disease ecology; transmission; disease model

收稿日期: 2020-04-16; 接受日期: 2020-05-26

基金项目: 科技部重点研发计划(2017YFC1200603)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: qiaohj@ioz.ac.cn

1 生态位与生态位模型

Joseph Grinnell最先提出了生态位(niche)的概念,并首次探讨了生态位与物种地理分布之间的关系(Grinnell, 1917)。随后Chase和Leibold (2003)对生态位作了如下定义:生态位是对环境条件的联合描述,允许物种满足其最低要求,使当地种群的出生率等于或大于其死亡率,以及该物种对这些环境条件的平均影响的集合。

基于生态位概念的建模方法即生态位模型(ecological niche model, ENM),或称为物种分布模型(species distribution model, SDM),可用于了解物种当前以及预测未来的分布。生态位模型对物种的地理分布在统计学上有稳健的预测能力,是生态学和生物地理学的重要研究方法。经过近40年的发展,已经产生了大量的生态位模型(李国庆等, 2013; 朱耿平等, 2013),并被广泛应用在气候变化对物种的影响、外来入侵物种的风险评估、濒危物种的保护策略等多个领域(乔慧捷等, 2013)。近些年来,生态位模型也逐渐应用于流行病学的研究中(Pigott et al, 2014; Escobar et al, 2016; Johnson et al, 2019)。

2 生态位模型在流行病中的应用

流行病在影响人类健康的同时也给全球经济带来影响。新发流行病由于其强传染性、高致死率、传播途径不明确及无有效治疗方法等特点,容易造成重大损失。因此,对于其潜在传播范围和强度进行提前预测是辅助制定有效防控措施的重要手段。

生态位模型因为能够预测生物的时空分布(Owens et al, 2013),被越来越多地用于预测不同空间尺度上的病原体分布(Escobar et al, 2015; Johnson et al, 2019)。它不仅可用于研究传播媒介、宿主、病原体或感染者潜在的地域分布(Peterson, 2006),还能对宿主和寄生虫等物种的迁徙做出判断。相关研究工作利用生态学的概念和相关的分析工具,通过分析寄生虫、细菌或病毒与生物因素和非生物环境因素之间的关系来推测其地理分布。如Altizer等(2006)探讨了人类和野生动物疫病传播系统的病例,发现季节性的气候可以改变传染病传播的持续性;Lloyd-Smith等(2009)总结了关于人畜共患病病原体的一些建模工作;Holt等(2006)模拟了非洲啮齿动物感染钩端螺旋体病的动态。

生态位模型不仅能够作为一种强有力的工具应用于物种分布和新型流行病预测,还可以提供较为精细尺度的分布,成为绘制疫病传播风险图的新方法。尽管建模技术在预测疫病传播等方面取得了重大进展,但鉴于流行病系统的生物学复杂性,生态位模型传统的框架可能会做出不符合实际的假设,从而导致预测不准确,所以对于传统的生态位模型框架仍然需要重新评估(Johnson et al, 2019)。

在现代生态学的相关理论中,生态位保守性假说(niche conservatism hypothesis)强调研究对象的环境耐受性是保持稳定的;丰度中心假说(abundant center hypothesis)则强调在物种生态位的中心区域,种群密度和遗传多样性也越高;埃尔顿噪声假说(Eltonian noise hypothesis)表明,生物相互作用经常是扩散和非特异性的,也在空间分辨率上有所体现,同时非生物因素可能比生物因素更能限制研究对象的地理分布。这些假说在传统的生态学和生物地理学中得到了广泛的应用并证实有效,但很少在疫病生态学中得到过严格检验。要知道,生态位模型仅仅概述物种的分布潜力。生态位模型应尽可能提供物种的地理分布区域图,但不包括复杂的种间交互作用的影响。当然,也有例外,如果种间交互作用非常强并且可以直接在环境维度上表现出来,就可以加入到生态位模型中,但是这样会使生态位模型估计产生偏差,一般我们可以将这些种间相互作用纳入到疫病传播的风险评估阶段。

疫病的传播是一种复合现象(Johnson et al, 2019)。物种间的相互作用往往是极其重要且高度复杂的,可以驱动疾病传播的许多时空动态;它们包括病原体、载体和宿主之间的相互作用,可维持其稳定并传播多种病原体;同时这些物种之间的相互作用可能会受到物种自身免疫力或健康状况等因素的影响。这种复杂性决定了对疫病不能进行单一对象的建模,而需要综合考虑环境变化对所有疫病传播相关物种的复杂影响,并将其转化为疫病的传播模式,才可能得到较为可信的模型预测结果(Peterson, 2006)。这对疾病的传播模式和地理分布具有重要意义,同时也为可应用于流行病的生态位模型研究提供了理论基础。

选择合适的建模方法对于流行病趋势的准确预测有着重要的意义,错误的生态位模型会误导决策者的判断。生态位模型在适当的条件下可用于分

析流行病的传播范围,但在使用时需要根据其本身的特点和物种分布有针对性地进行。目前最常见的两种对疫病传播范围的建模方法是黑箱法(black box)和组分法(component based) (Peterson, 2014),当然这二者在应用情境上有很大区别。

黑箱法是一种复杂的机器学习算法。它们易于使用,但其建模的过程几乎不具备生态学意义。黑箱法的普遍解释是指当系统内部结构不是特别清楚时,从外部输入控制信息,在系统内部建立数学关系后输出信息,之后再根据输出信息来研究其功能和特性。在疫病传播过程中,尤其是疫病传播系统太复杂或对疾病自然史等不完全认知而导致无法完全了解整个疫病传播系统时,将整个疫病传播系统视为一个黑箱子,先建立模型,模拟宿主-寄生生物的相互作用,估计疾病系统的地理分布,疫病暴发最终表现为总体上的地理分布(Defoirdt, 2016)。其优点是有效地将疾病传播系统的每个组成部分的所有复杂变量分解为单个响应变量。一般来说,单一的响应变量比特定传播系统中众多参与物种的情况更容易分析。缺点则是对于许多疾病来说,人们对其传播系统的了解十分有限,疾病病例在环境维度上的分布可能与病原体实际发生的地理位置截然不同,从而导致疾病风险估计中的偏差。这一类研究工作多用于处理一些自然病史不太清楚的疾病,包括布鲁里溃疡(Williamson et al, 2012)、点头病(Winkler et al, 2008)、辛诺柏病毒等(Monroe et al, 1999)。当疾病传播系统太复杂,以至于无法创建基于组分的模型,而研究者希望获取疾病传播系统的全部信息时通常使用该方法。

组分法是对疫病传播系统中的每个关键物种单独进行建模,即只需要考虑与疾病系统有关的关键物种(如宿主、载体、寄生生物)。对每个关键物种独立建模使得迭代效率提升。首先是进行关键物种拆分建模,然后将其组合进行分析,组装成一幅直观的疫病-生态位模型传播系统的地理图像(Peterson et al, 2002)。其优点是,单独建模有助于事先设计基于详细数据的控制策略和识别潜在的疾病传播区域,以便预测和监控。这就要求研究者们必须对疾病的传播系统、自然史有着深入的了解。组分法一般用于相对简单的传输系统中,如仅取决于伊蚊活动的登革热病毒。Peterson等(2005)对整个墨西哥登革热病例的月分布进行了详细分析,不仅

能够准确地预测媒介物种的时空分布,而且也能预测一年中登革热病例的时空分布。当然其他以蚊子为基础的疟疾的分析也可利用这种方法(Levine et al, 2004a, b; Benedict et al, 2007)。Peterson等(2003)进行了西尼罗河病毒在北美传播的早期研究,根据主要媒介蚊子和非迁徙鸟类物种的分布,建立了疾病传播的模型。但是组分法也有其局限性,那就是在简单的疾病系统中,基于宿主的分析包括疾病传播的危险区域的预测在很大程度上仍然未知。基于组分的分析对基本数据的抓取和管理要求也很高,模型校准的数据很大程度上不可用,往往也不能真实地反映实际传输风险。由于是对关键物种进行建模,在疾病系统建模时如果排除关键物种则可能会造成较大误差,且不能对十分复杂的疾病传播系统的所有部分进行建模,因为将许多繁冗的数据集和模型组合在一起是一项十分艰巨的任务。在应用组分法时,疾病传播系统复杂度越高越容易出问题。

上述两种方法都有各自的优缺点,最佳的实践方法还有待进一步测试和探索(Dicko et al, 2014; Pandey et al, 2014; Caron et al, 2015)。

3 基于生态位模型的不同类型流行病研究

流行病大致可分为3种,即寄生虫引起的疫病,细菌和真菌性疫病,病毒性疫病。寄生虫指具有致病性的低等真核生物,本文所讨论的寄生虫病为动物界常见的几种疾病,包括利什曼原虫引起的人畜共患病、蛔虫病等。大多数的菌类是异养型的,还有少数是自养型,异养型菌类包括寄生和腐生两种,本文所讨论的主要为寄生菌,例如沙门氏菌、大肠杆菌、钩端螺旋体等。病毒是由一个核酸分子(DNA或RNA)与蛋白质构成的非细胞形态,是靠寄生生活的介于生命体及非生命体之间的有机物种。常见的病毒性疫病包括登革热、基孔肯亚病、艾滋病、COVID-19等。但并非所有的病原体引起的流行病均可以通过生态位建模进行分析。能够通过生态位建模进行分析的流行病的共同点是其传播过程的某些环节受气候和环境因素影响较大,如果不符合上述情况,用生态位进行建模则无法得到满意的结果。如果要从生态学角度上对此类疫病进行干预,通常首先需要了解寄生生物及其媒介或宿主的物种分布,识别其潜在生态位,从而干预宿主和寄生生物的活动以达到防治流行性病的目的。

3.1 寄生虫类疫病

随着人类活动的加剧,人类与野生动物的接触以及食用野生动物频率的增加,更多地导致了人畜共患疫病的出现(Estrada-Pena et al, 2014; Allen et al, 2017),所以了解寄生虫潜在的地理分布对于预测和预防相关疫病的发生具有重要意义。调查显示,60%以上的新出现的人类疫病是由动物源致病性寄生虫(人畜共患病)引起的,尤其是野生动物(Plowright et al, 2017),这与人类对野生动植物栖息地的大规模破坏、环境污染、因全球变暖而导致的野生动植物生存环境日益恶劣直接相关。

尽管利用生态位模型对寄生虫引起的流行病传播趋势进行预测的研究不在少数,但大多数并不是直接通过寄生虫的生态位来进行系统建模,而是通过对与之相对应的媒介或宿主的生态位进行建模。如导致疟疾的疟原虫是20世纪早期(19世纪)南美大规模疟疾暴发的罪魁祸首。Peterson和Shaw(2003)利用生态位模型分析了南美地区皮肤利什曼病的传播媒介沙蝇属(*Lutzomyia*)的地理分布,Costa等(2002)探究了巴西不同恰加斯病媒介之间的生态差异,等等,这些研究为疾病、媒介和宿主物种的分布提供了新的视角。

寄生虫与宿主的生态位是否相匹配,直接影响着生态位建模的准确性以及建模物种的选择。Peterson等(2002)早期研究检测了墨西哥传播恰加斯病的三瘤虫属(*Triatoma*)生物及其宿主的寄生关系,测试了寄生虫和明显携带它们的木鼠(*Neotoma cinerea*)的宿主特异性,发现寄生虫和木鼠之间可能是一一对应关系。这说明生态位互相匹配的寄生虫和宿主有共同的进化历史,宿主的模型可以很好地反映寄生虫的潜在分布;如果寄生虫与宿主的生态位不匹配,说明宿主并不是寄生虫的自然宿主,只对宿主建模会低估寄生虫的潜在分布(Johnson et al, 2019),此类情况不能只对当前宿主建模,还需要知道其自然宿主的物种分布情况,选择不同的宿主对于寄生虫生态位模型的构建具有不同的影响。

3.2 细菌和真菌性疫病

如果想要更好地了解细菌和真菌性疾病分布并从更加精细的尺度上预测并绘制疾病传播风险图,除了研究媒介与宿主的分布之外,还需要进行小规模菌种生态位建模,并将其与微尺度生态位相结合。宿主免疫和寄生菌-寄生菌间相互作用也可

能形成疫病分布,如立克次氏体为革兰氏阴性菌,是一类专性寄生于真核细胞内的原核生物。一般呈球状或杆状,主要寄生于节肢动物,有的会通过蚤、虱、蜱、螨等传入人体。寄生了立克次氏体的蜱通过某种方式传染到狗的身上,在蜱密度较高的情况下,足以使立克次氏体病原体在媒介种群中扩增和持续循环(Levin et al, 2014)。莱姆病主要发生在美国东北部,是由伯氏疏螺旋体所致的自然疫源性疾病。其主要传播媒介为肩胛硬蜱(*Ixodes scapularis*),Ashley和Meentemeyer(2004)通过肩胛硬蜱的存在数据与大规模环境数据之间的生态位模型关系提供了一个稳健的“气候包络线”模型,得出4-6月的气候变量与美国夏季莱姆病发病率有着密切的关系,揭示了肩胛硬蜱栖息地适宜性的基本环境决定因素,以此来预测莱姆病的风险与疾病分布。钩端螺旋体(钩端螺旋体病的病原体)能够在潮湿的土壤和有水环境中持续存在(Roman et al, 2017),Holt等(2006)模拟了坦桑尼亚部分地区疫病感染的主要来源——非洲啮齿动物的感染动态,在模型中结合了坦桑尼亚中部的气候条件,发现该疫病具有很强的季节性,在这种情况下,环境变量如降水或季节性水体的存在更有可能产生直接影响,这样的菌种可以进行生态位建模。

3.3 病毒性疫病

通过动物媒介进行传播的病毒,如借助蚊媒进行传播的登革热病毒、基孔肯亚病毒等单宿主-单媒介的疫病系统,由于其传播媒介受环境影响,因此可以通过生态位模型预测蚊子的分布来预测登革热病毒(Messina et al, 2014)、基孔肯亚病毒(Escobar et al, 2016)等的传播。黄热病提供了另一个案例。黄热病由黄热病毒引起,它起源于非洲,但在1700年以前,很可能是通过奴隶或水手传播到美洲(Barrett & Higgs, 2007)。这种病毒在两大洲的蚊子与灵长类动物中传播,在美洲主要通过埃及伊蚊(*Aedes aegypti*)传播给人类(Barrett & Higgs, 2007),所以也可以通过研究蚊子的分布来预测疾病发生。生态位模型相较于传统疾病模型的优越性就在于,可以通过生态位模型分析出什么地方的高温抑制了如登革热或黄热病之类的病毒在伊蚊体内的复制,填补了公共卫生领域对于环境中非生物因子监测的空白。使用生态位的相关方法进行的研究还包括埃博拉病毒和马尔堡病毒引起出血热暴发的一

些相关生态特征的描述(Peterson et al, 2006)。还有以大鼠为主要宿主的汉坦病毒,在美国东部港口城市的居民区,近50%的挪威大鼠(*Rattus norvegicus*)感染了汉坦病毒(Yanagihara, 1990),辛诺柏病毒也与分布在整个美国的大鼠密切相关(Monroe et al, 1999)。如果通过生态位建模来模拟被感染大鼠的物种分布区域以及大鼠潜在的分布区域,就可以大致预测辛诺柏病毒的传染风险及趋势。

另外,有些病毒可以感染多个宿主,但需要关键宿主物种进行传播,只有当病毒是单宿主或单媒介,且该宿主或该媒介受环境和气候影响时,才可以用生态位模型进行建模(Altizer et al, 2006),这种潜在的种间相互作用的环境影响不容忽视。

当然,并非所有的病毒都受气候影响。例如,人类乳头瘤病毒(HPV)和人类免疫缺陷病毒(HIV)。因为宿主主要为人类,该病毒既不受气候影响,其传播方式也与气候无关,再加上人类活动有很大的不确定性,所以就无法使用生态位模型进行预测。根据某个地理区域的艾滋病病例数据库建立生态位模型,生成一个高精度的风险图,显示炎热的非洲有更适合艾滋病传播的气候,或者寒冷的北极和南极因为太冷而不易发生风险,这是因为错误地假设潜在的疾病传播风险是二元的,而不是多元因素的交叉(Carlson et al, 2020),这会导致对流行病与气候关系的错误结论。对于具有多种传播途径的病毒,用生态位模型进行预测分析可能会变得十分复杂,而有的病毒宿主仍然完全不为人所知,如丝状病毒,了解其分布的唯一来源是通过确定人类病例的位置。

当下暴发的COVID-19,目前尚未有明确证据表明其与气候直接相关,因此也属于此类。

4 不适用于生态位建模的流行病:以COVID-19为例

在疫情暴发的初期,一些生物地理学家尝试将生态位模型应用在COVID-19的预测中,并给出了其暴发情况的预测(Tosepu et al, 2020),其中以Araújo和Naimi (2020)的工作最具代表性。他们使用200多个生态位模型组成的综合模型,利用10种常用的机器学习方法,以COVID-19病例的地理坐标、阳性病例报告、最新的气候数据、降水量、实际蒸散量以及短波辐射等信息进行建模,预测在一个典

型的气候年中气候的月变化对COVID-19传播的影响,发现温暖和湿冷气候更有利于COVID-19的传播,而干旱和炎热气候则不利于COVID-19传播(Araújo & Naimi, 2020)。

该工作一经公布,就引起了包括流行病学专家和生态学家的普遍反对,引发了人们对于SARS-CoV-2是否有生态位的讨论。首先,由于SARS-CoV-2是否受气候影响还尚未明晰就直接进行生态位建模,会导致模型的不确定性升高。Chipperfield等(2020)指出了Araújo和Naimi的预测工作存在着前提假设不科学、未充分评估预测变量、响应变量空间误差大、采样不足等问题。其次,病毒和病原菌除了受气候因素影响,也受非气候因素和不确定的人为因素的影响。如在应对大范围传播的流行病时,一个国家所选择的应对方式是积极还是消极,是抑制扩散还是任其发展,都可能会影响模型的结果。

由此可见,宿主的行为(Kraemer et al, 2019)、密度(Geoghegan & Holmes, 2017)及其所受到的环境影响,也是预测疫病传播的关键因素。建模和流行病的管理本质上都应侧重于媒介和宿主的行为管理,以尽量减少传播的风险。从某种意义上讲,对病毒传播的预测,就是对媒介和宿主的预测,当病毒的传播模式为病毒-媒介-宿主时,利用环境变量预测中间媒介的潜在分布,以此来预测病毒的传播是一种有效的建模手段(Johnson et al, 2019)。但是当病毒的传播主要存在于人与人之间而不需要中间媒介时,由于人类活动受自然环境影响较小,生态位模型在这一类工作中无用武之地。

此外,在一种新型传染病流行的初期,即使是该疫病的传播的确依靠中间媒介,但与疫病发生或参与疫病传播的物种(如媒介、宿主、病原体)的相关生态参数的细节尚不清楚,样本量小且缺乏详细的地理或生态学变量(Peterson, 2014),这些都可能导致模型预测的失败。因此,并非所有的流行病均可用生态位建模进行分析。如Araújo和Naimi (2020)使用生态位模型得出温暖和湿冷气候更有利于COVID-19的传播。而实际情况是在大部分地区,如拉丁美洲、东南亚以及撒哈拉以南的非洲这些地区的模型不确定性很高,仍然有较多的SARS-COV-2的感染病例。所以我们首先要分析拟采用什么模型来研究选定的某种流行病?根据对该流行病传输系统的了解程度及其复杂程度,对疾病的传播机

制、自然历史、限制因素以及疾病传播系统有关的关键物种(如宿主、媒介等)的了解程度等,来决定采用什么样的模型进行分析。误用生态位模型的工具会导致对气候及流行病传播趋势的错误结论。

生态位模型往往会忽略人类活动相互接触的直接影响以及人造环境的一些特征,如封闭性环境所造成的一些小气候。当病毒从受感染的宿主直接传播到未受感染的宿主,绕过了“不适宜的栖息地”这一生态概念的相关性(Carlson et al, 2020),可能随时或者随地引起流行病疫情的暴发,这种情况就无法使用生态位模型来进行流行病预测与分析。就病毒学家目前了解的COVID-19和其他流行病的特性,因其传播不受气候限制和生境影响,一旦疫情开始在人类中蔓延,就没有“不适宜的栖息地”。

5 生态位模型在流行病学中应用的思考

生态位模型应用于流行病学的主要挑战是缺乏高精度的疫病发生库。在何处以及如何获得可靠的数据是另外一个关键问题。疫病数据通常只是粗略地汇总行政级别如国家、省市的病例,而缺少有关疫病当地自然条件、气候等相关的重要信息(Farnham et al, 2014)。如果只是单纯地把流行病发生的记录位置作为发生记录,和全球气候数据一起输入生态位模型中,并不能准确地反映问题。除了空间和时间的偏差外,疫病发生的数据也可能因宿主物种的不均匀抽样和疫病传播地点或诊断地点的报告出现偏差,从而误判感染地点。当然,如果能更全面地监测野生动物和人类活动,积极开发用于流行病检测和鉴定的新技术,可能会提高收集更可靠疫病发生数据的能力。同时正确选择环境数据集中的生态预测变量对于产生可靠的建模输出是十分必要的(Johnson et al, 2019)。

由于大多数生态位模型的相关研究人员都没有系统的流行病学知识背景,而流行病学家亦缺乏将疫病传播放在自然状态下运用生态学知识思考其传播机理的训练,为了充分生成对决策有用的数据驱动模型,跨学科的知识背景与方法结合是必要的。而且,在改进方法方面仍然存在着许多挑战,其核心挑战是选择适合于特定问题的建模方法。由于疫病传播系统往往代表着多种物种(如病原体、载体、宿主)之间的复杂相互作用,因此存在着如何准确选择方法对其进行建模并将定量分析与定性分

析相结合的问题。如要预测病原体物种和宿主物种的潜在分布及其对全球气候变化的反应,则需要不同的建模算法。第二个有待解决的是如何将风险因素纳入生态位模型框架中,也就是在疫病传播中容易被忽略的人为因素,因无法确定人员流动性、人为干扰性等以量化疫病传播风险,使得不能准确测试和评估生态位模型的结果。此外,要将生态位模型方法充分应用于疫病系统,还需要理解尺度在空间和时间中的作用。时间尺度和空间尺度的适当匹配可以更加准确地预测疫病的传播趋势(Peterson et al, 2005)。

以上这些问题只有通过不断地对不同的疫病系统模型进行进一步的探索和分析才能得到解决。

6 总结

本文系统地总结了可用于生态位建模的疾病特征和案例、在各种流行病学研究中常用的两种建模方法的优缺点及其适用情况,以及不可用于生态位建模的疾病特征,总结了生态位模型应用的理论基础,着重指出了目前在建模过程中存在的问题,并进一步讨论了模型应用方面应注意的事项以及其发展趋势。

作为生态学与生物地理学重要的分析方法和实用工具,生态位模型在流行病的潜在传播区域分析及风险预测中有着重要的地位,可以帮助研究者确定哪些区域具有潜在可测量的流行病感染风险及感染趋势。但在使用该工具之前,需要慎重考虑其适用范围。在生态学的基本概念框架下正确地使用生态位模型,是相关研究工作能否取得有科学意义的结果的前提条件。

参考文献

- Allen T, Murray KA, Zambrana-Torrel C, Morse SS, Rondinini C, Di Marco M, Breit N, Olival KJ, Daszak P (2017) Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature Communications*, 8, 1124.
- Altizer S, Dobson A, Hosseini P, Hudson P, Pascual M, Rohani P (2006) Seasonality and the dynamics of infectious diseases. *Ecology Letters*, 9, 467–484.
- Araújo MB, Naimi B (2020) Spread of SARS-CoV-2 Coronavirus likely to be constrained by climate. doi: 10.1101/2020.03.12.20034728.
- Ashley ST, Meentemeyer V (2004) Climatic analysis of Lyme disease in the United States. *Climate Research*, 27, 177–187.

- Barrett ADT, Higgs S (2007) Yellow Fever: A disease that has yet to be conquered. *Annual Review of Entomology*, 52, 209–229.
- Benedict MQ, Levine RS, Hawley WA, Lounibos LP (2007) Spread of the tiger: Global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 7, 76–85.
- Carlson CJ, Chipperfield JD, Benito BM, Telford RJ, O'Hara RB (2020) Species distribution models are inappropriate for COVID-19. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 770–771.
- Caron A, Cappelle J, Cumming GS, de Garine-Wichatitsky M, Gaidet N (2015) Bridge hosts, a missing link for disease ecology in multi-host systems. *Veterinary Research*, 46, 1–11.
- Chase JM, Leibold MA (2003) *Ecological Niches: Linking Classic and Contemporary Approaches*. University of Chicago Press, Chicago.
- Chipperfield JD, Blas M, Benito RB, Telford RJ, Carlson CJ (2020) On the inadequacy of species distribution models for modelling the spread of SARS-CoV-2: Response to Araújo and Naimi. doi: 10.32942/osf.io/mr6pn.
- Costa J, Beard CB, Peterson LA (2002) Ecological niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911, the most important Chagas' disease vector in northeastern Brazil (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 67, 516–520.
- Defoirdt T (2016) Implications of ecological niche differentiation in marine bacteria for microbial management in aquaculture to prevent bacterial disease. *PLOS Pathogens*, 12, e1005843.
- Dicko AH, Lancelot R, Seck MT, Guerrini L, Sall B, Lo M, Vreysen MJB, Lefrançois T, Fonta WM, Peck SL, Bouyer J (2014) Using species distribution models to optimize vector control in the framework of the tsetse eradication campaign in Senegal. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 111, 10149–10154.
- Escobar LE, Peterson AT, Papeş M, Favi M, Yung V, Restif O, Qiao HJ, Medina-Vogel G (2015) Ecological approaches in veterinary epidemiology: Mapping the risk of bat-borne rabies using vegetation indices and night-time light satellite imagery. *Veterinary Research*, 46, 92.
- Escobar LE, Qiao HJ, Peterson AT (2016) Forecasting Chikungunya spread in the Americas via data-driven empirical approaches. *Parasit & Vectors*, 9, 112.
- Estrada-Pena A, Ostfeld RS, Peterson AT, Poulin R, Fuente J (2014) Effects of environmental change on zoonotic disease risk: An ecological primer. *Trends in Parasitology*, 30, 205–214.
- Farnham A, Alleyne L, Cimini D, Balter S (2014) Legionnaires' disease incidence and risk factors, New York, USA, 2002–2011. *Emerging Infectious Diseases*, 20, 1795–1802.
- Geoghegan JL, Holmes EC (2017) Predicting virus emergence amid evolutionary noise. *Open Biology*, 7, 170–189.
- Grinnell J (1917) The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk Cambridge Mass*, 34, 427–433.
- Holt J, Davis S, Leirs H (2006) A model of Leptospirosis infection in an African rodent to determine risk to humans: Seasonal fluctuations and the impact of rodent control. *Acta Tropica*, 99, 218–225.
- Johnson EE, Escobar LE, Zambrana-Torrel C (2019) An ecological framework for modeling the geography of disease transmission. *Trends in Ecology & Evolution*, 34, 655–668.
- Kraemer MUG, Golding N, Bisanzio D, Bhatt S, Pigott DM, Ray SE, Brady OJ, Brownstein JS, Faria NR, Cummings DAT, Pybus OG, Smith DL, Tatem AJ, Hay SI, Reiner RCJ (2019) Utilizing general human movement models to predict the spread of emerging infectious diseases in resource poor settings. *Scientific Reports*, 9, 5151.
- Levine RS, Benedict MQ, Peterson AT (2004a) Distribution of *Anopheles quadrimaculatus* Say s.l. and implications for its role in malaria transmission in the US. *Journal of Medical Entomology*, 41, 607–613.
- Levine RS, Peterson AT, Benedict MQ (2004b) Geographic and ecologic distributions of the *Anopheles gambiae* complex predicted using a genetic algorithm. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 70, 105–109.
- Levin ML, Zemtsova GE, Montgomery M, Killmaster LF (2014) Effects of homologous and heterologous immunization on the reservoir competence of domestic dogs for *Rickettsia conorii* (*israelensis*). *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 5, 33–40.
- Li GQ, Liu CC, Liu YG, Yang J, Zhang XS, Guo K (2013) Advances in theoretical issues of species distribution models. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 4827–4835. (in Chinese with English abstract) [李国庆, 刘长成, 刘玉国, 杨军, 张新时, 郭柯 (2013) 物种分布模型理论研究进展. *生态学报*, 33, 4827–4835.]
- Lloyd-Smith JO, George D, Pepin KM, Pitzer VE, Pulliam JRC, Dobson AP, Hudson PJ, Grenfell BT (2009) Epidemic dynamics at the human-animal interface. *Science*, 326, 1362–1367.
- Messina JP, Brady OJ, Pigott DM, Brownstein JS, Hoen AG, Hay SI (2014) A global compendium of human dengue virus occurrence. *Scientific Data*, 1, 140004.
- Monroe MC, Morzunov SP, Johnson AM, Bowen MD, Artsob H, Yates T, Peters C, Rollin PE, Ksiazek TG, Nichol ST (1999) Genetic diversity and distribution of *Peromyscus*-borne hantaviruses in North America. *Emerging Infectious Diseases*, 5, 75–86.
- Owens HL, Campbell LP, Dornak LL, Saupe EE, Barve N, Soberón J, Ingenloff K, Lira-Noriega A, Hensz CM, Myers CE, Peterson AT (2013) Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological Modelling*, 263, 10–18.
- Pandey A, Atkins KE, Medlock J, Wenzel N, Townsend JP,

- Childs JE, Nyenswah TG, Ndeffo-Mbah ML, Galvani AP (2014) Strategies for containing Ebola in West Africa. *Science*, 346, 991–995.
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Ben BC, Ramsey JM (2002) Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 8, 662–667.
- Peterson AT, Shaw J (2003) *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: Ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal for Parasitology*, 33, 919–931.
- Peterson AT, Vieglais DA, Andreasen J (2003) Migratory birds modeled as critical transport vectors for West Nile virus in North America. *Vector-Borne & Zoonotic Diseases*, 3, 39–50.
- Peterson AT, Martínez-Campos C, Nakazawa Y, Martínez-Meyer E (2005) Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene*, 9, 1–14.
- Peterson AT (2006) Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerging Infectious Diseases*, 12, 1822–1826.
- Peterson AT, Lash RR, Carroll DS, Johnson KM (2006) Geographic potential for outbreaks of Marburg hemorrhagic fever. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, 75, 9–15.
- Peterson AT (2014) *Mapping Disease Transmission Risk: Enriching Models Using Biogeography and Ecology*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Pigott DM, Golding N, Mylne A, Huang Z, Henry AJ, Weiss DJ, Brady OJ, Kraemer MU, Smith DL, Moyes CL, Bhatt S, Gething PW, Horby PW, Bogoch II, Brownstein JS, Mearns SR, Tatem AJ, Khan K, Hay SI (2014) Mapping the zoonotic niche of Ebola virus disease in Africa. *Elife*, 3, e04395.
- Plowright RK, Parrish CR, McCallum H, Hudson PJ, Ko AI, Graham AL, Lloyd-Smith JO (2017) Pathways to zoonotic spillover. *Nature Reviews Microbiology*, 15, 502–510.
- Qiao HJ, Hu JH, Huang JH (2013) Theoretical basis, development direction and challenges of niche model. *Scientia Sinica Vitae*, 43, 915–927. (in Chinese with English abstract) [乔慧捷, 胡军华, 黄继红 (2013) 生态位模型的理论基础, 发展方向与挑战. *中国科学: 生命科学*, 43, 915–927.]
- Roman T, Sophie G, Claire B, Stéphane C, Marie-Estelle SG, Dominique G, Emilie B, Cyrille G, Claudia MZ (2017) Seeking the environmental source of Leptospirosis reveals durable bacterial viability in river soils. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 11, e0005414.
- Tosepu R, Gunawan J, Effendy DS, Ahmad LOAI, Lestari H, Bahar H, Asfian P (2020) Correlation between weather and COVID-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 725, 138436.
- Williamson HR, Benbow ME, Campbell LP, Johnson CR, Sopoh G, Barogui Y, Merritt RW, Small PLC (2012) Detection of *Mycobacterium ulcerans* in the environment predicts prevalence of Buruli ulcer in Benin. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6, e1506.
- Winkler AS, Friedrich K, König R, Meindl M, Helbok R, Unterberger I, Gotwald T, Dharsee J, Velicheti S, Kidunda A, Jilek-Aall L, Matuja W, Schmutzhard E (2008) The head nodding syndrome: Clinical classification and possible causes. *Epilepsia*, 49, 2008–2015.
- Yanagihara R (1990) Hantavirus infection in the United States: Epizootiology and epidemiology. *Review of Infectious Diseases*, 12, 449–457.
- Zhu GP, Liu GQ, Bu WJ, Gao YB (2013) Ecological niche modeling and its applications in biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 21, 90–98. (in Chinese with English abstract) [朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 高玉葆 (2013) 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. *生物多样性*, 21, 90–98.]

(责任编辑: 张大勇 责任编辑: 黄祥忠)



•综述•

基因组学技术在病毒鉴定与宿主溯源中的应用

韩本凤 周欣 张雪*

(中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193)

摘要: 基因组学技术, 特别是宏基因组测序在未知病毒的鉴定与溯源中起到了重要作用。相较于传统的病毒分离培养方法, 宏基因组技术可以从混合样本中获得病毒的核酸序列, 极大加速了未知病毒的鉴定与溯源, 在针对高流行性、高致病性的病毒研究中发挥了重要作用。基于宏基因组技术对未知病毒进行鉴定和溯源, 其准确性很大程度上依赖于取样及已知宿主的病毒库的完整性。然而, 当前病毒多样性的基础研究相对薄弱, 病毒的宿主信息则更加匮乏。野生动物和禽畜是人畜共患病致病病毒的重要中间宿主, 构建广泛的动物-病毒关联数据库对于准确、快速地鉴定和预防致病性病毒具有重要意义。本综述以SARS-CoV-2为例, 总结了基因组学技术在病毒的鉴定与溯源上的应用, 并针对当前动物病毒库完整性低的现状, 对构建野生和家养动物携带病毒的关联数据库的可行性提出依据与建议。

关键词: 新冠病毒; 高通量测序; 病毒多样性; 宿主溯源; 病毒进化

Verification of virus identity and host association using genomics technology

Benfeng Han, Xin Zhou, Xue Zhang*

Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193

Abstract: Genomics technology, especially metagenomic sequencing, has played an important role in identifying and tracing unknown viruses. While classical methods in virus taxonomy rely on phenotypic traits, the metagenomics pipeline assembles new virus genomes from short nucleotide fragments without the need for any *a priori* reference sequences. This new technology increases the efficiency in identifying viruses and hosts associated with those viruses. This is particularly useful in identifying viruses that can cause epidemics. One current challenge in accomplishing this, is the ability to trace the original and intermediate viral hosts. To do this, a comprehensive virus sequence library characterized by definite host information is needed. Unfortunately, such information is still limited. As wild and stock animals are main sources for pathogenic viruses, an extensive survey of the global virome is vitally important to help identify and prevent zoonotic epidemics. This review summarizes the application of genomics technologies in the identification of viruses and the hosts associated with those viruses, using the outbreak of SARS-CoV-2 as an example. We also address intrinsic drawbacks of current methodologies as well as the incompleteness of available virus libraries. We propose the necessity and feasibility in constructing a comprehensive virus database with host association that emphasizes the diversity of viruses and their interactions with other organisms.

Key words: SARS-CoV-2; high-throughput sequencing; virus diversity; host association; virus evolution

2019年12月, 在新型冠状病毒暴发之初, 通过对患者的肺泡灌洗液样品进行宏基因组测序, 获得了病毒株全基因组序列, 并确认该病毒为冠状病毒

科新型RNA病毒(Zhou et al, 2020)。基于系统发育关系的结果, 国际病毒分类学委员会的冠状病毒科研究小组(CSG)确认该病毒与SARS-CoVs形成姊妹支,

收稿日期: 2020-04-16; 接受日期: 2020-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(31772493)、科技部科技基础资源调查专项(2018FY100403)和中国农业大学北京食品营养与人类健康高精尖创新中心基金

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhangxue0215@gmail.com

并依据分类学和已有惯例将其命名为“SARS-CoV-2” (Gorbalenya et al, 2020), 新型冠状病毒感染的疾病被正式命名为“COVID-19”。虽然新型冠状病毒与SARS-CoV病毒近缘, 但并非同种, 且临床症状具有差异, 所以学界对新型冠状病毒使用“SARS-CoV-2”的命名依然存在争议。

经典的病毒鉴定主要依赖表型特性, 具体操作流程包括病毒培养、电镜观察、血清学反应和聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)等, 操作繁琐, 费时费力, 且鉴定效率较低(Tang & Chiu, 2010)。而在本次疫情暴发期间, 从发现第一例患者到获得SARS-CoV-2全基因组序列, 用时仅20余天。对SARS-CoV-2的快速鉴定得益于宏基因组技术的迅速发展。

目前, 基于高通量测序技术的宏基因组方法被广泛应用于病毒组(virome)的研究中, 在发现和鉴定新病毒及检测病毒流行性上具有显著优势。基于宏基因组和宏转录组技术对环境样品的调查揭示了生物圈中存在着丰富的病毒种类(Simmonds et al, 2017), 其遗传物质、基因序列、编码蛋白、复制机制以及与细胞宿主的相互作用等方面具有丰富的多样性(Roossinck, 2015)。虽然基于测序的病毒研究方法无法直接获得经典的病毒表型特征, 但该方法有助于快速构建全球性的病毒多样性数据库(Simmonds et al, 2017)。而整合了病毒多样性和宿主关联信息的数据库对深入开展病毒学研究至关重要, 如: 病毒鉴定、病毒进化、宿主溯源以及病毒与宿主的协同进化等。

近年来, 利用基因组学技术开展区域性或全球性流行病的研究已经迅速普及。例如, 严重威胁人类健康的严重急性呼吸系统综合征(SARS) (Ge et al, 2013)、中东呼吸综合征(MERS) (Hemida et al, 2014)、埃博拉(Ebola, 出血性烈性传染病) (Quick et al, 2016)等疫病病毒的鉴定与宿主溯源都依赖于宏基因组技术的应用。本文以新型冠状病毒等为例, 介绍宏基因组技术在病毒鉴定、病毒宿主溯源等方面的应用现状和局限性, 并就如何完善广泛的动植物病毒基因组学数据库提出建议, 讨论其可行性。

1 基于宏基因组方法鉴定病毒种类

核酸测序技术已广泛应用于分子分类学研究。其中, 二代测序技术成本较低, 相关生物信息学的

分析方法比较完善, 可对不同物种来源的海量核酸片段进行分拣、组装和比对。宏基因组技术不需要对样品进行纯化, 对核酸质量要求相对较低, 而且可以在混合样本中分离出病毒与宿主序列, 并组装成更长的片段甚至是完整的基因组序列。将拼接出的序列与已知病毒库进行比对, 根据序列相似度及系统发育关系可以确定未知病毒所属的类群。由于直接从头拼接(*de novo assembly*)病毒序列的过程可以不依赖于同源参考序列, 宏基因组方法极大促进了未知病毒病原物的检测和鉴定(Hadidi et al, 2016)。高通量测序方法在动物和植物源病毒的检测方面都有较广泛的应用, 如: 与脑膜炎密切相关的沙粒病毒(Palacios et al, 2008)、与南非出血热疾病相关的病原体Lujov病毒(沙粒病毒科) (Briese et al, 2009)、新甲型H1N1流感病毒和季节性甲型H3N2流感病毒(Hu et al, 2011)、番茄新病毒-蛇鞭菊轻斑驳病毒(Gayfeather mildmottle virus, GMMV) (Adams et al, 2009)等。

由于SARS-CoV-2与SARS-CoV具有极高的系统发育相关性和较高的序列相似度, 其序列结果一经公布就引起了公共卫生系统的高度警惕, 并迅速采取紧急防范与隔离措施, 展开救治, 充分体现出宏基因组技术在重大疫情的鉴定和预警方面的时效性。国家生物信息中心2019新型冠状病毒信息库(2019nCoV) (<https://bigd.big.ac.cn/ncov/>)以及全球流感共享数据库(Global Initiative on Sharing All Influenza Data, GISAID) (<https://www.gisaid.org/>)及时汇总和更新SARS-CoV-2病毒序列信息, 至2020年5月5日已收录SARS-CoV-2序列超过16,000条, 分别来自英国、美国、澳大利亚、中国等200多个国家和地区, 为基于全基因组的SARS-CoV-2病毒的进化和扩散进程研究提供了有力的数据支撑。

虽然宏基因组技术在序列的组装环节可以不依赖于参考序列, 但其后对待检病毒序列的鉴定仍然需要与已知病毒库进行比对, 利用序列相似性和系统发育关系对未知病毒进行鉴定。然而, 基于经典病毒学方法建立起来的已知病毒数据库的完整性较低, 目前在病毒病原体数据库和分析资源(Virus Pathogen Database and Analysis Resource, ViPR) (<https://www.viprbrc.org/brc/home.spg?decorator=vipr>)中收录的正式命名、有较详细描述病毒种类仅6,264多种(截至2020年5月5日)。而近期基于高通量

测序技术和宏基因组方法的普查都提示自然生态系统中可能存在大量的未知病毒序列(Simmonds et al, 2017), 自然界中实际病毒种类可能高达百万。宏基因组方法不仅为加速完善病毒数据库提供了快速通道, 也为基于序列比对和构建进化关系来完成病毒溯源提供了可能性。

2 构建基因组系统发育关系, 分析病毒进化历史并推测其宿主来源

在获得病毒基因组序列的基础上, 可以使用物种间具有同源关系的基因片段构建病毒的系统发育关系, 解析病毒的进化历史。常用的方法包括构建系统发育树(phylogenetic tree)、重建系统发育中的祖先状态(reconstructing ancestral state in phylogenies, RASP)、系统发育网络分析(phylogenetic network analysis)、单倍型网络分析(haplotype network analysis)、贝叶斯进化分析(Bayesian evolutionary analyses)、重组分析(recombination analysis)等(表1)。

系统发育树可用于分析不同生物之间的相关性, 通过树状分支可视化生物之间的亲缘关系并推测其进化历史, 常用软件有BEAST、IQ-TREE、RAxML、phyML等。用于构建系统发育树的方法很

多, 其中最大似然法(maximum likelihood, ML)被广泛应用, 比如用于对结核分枝杆菌(*Mycobacterium tuberculosis*)的进化分析(Luo et al, 2015)以及对近期暴发的SARS-CoV-2病毒的进化关系研究(Wu et al, 2020)。ML的原理是将每个位置可能出现的所有残基替换概率进行累加, 产生特定位点的似然值, 并对所有可能的系统发育树都计算似然函数, 似然函数值最大的树即为最可能的系统发育树; 其特点是需要确定序列进化的模型, 如Jukes-Cantor模型等。在进化模型选择合理的情况下, ML是与进化事实吻合最好的建树算法。而贝叶斯推断法(Bayesian inference)是一种新的利用贝叶斯演绎法预测种系发生史的系统进化分析方法, 相较于最大似然法其在计算速度与样本量上更具优势, 已被应用于乙型肝炎病毒(hepatitis B virus)和乳头状瘤病毒(papillomaviruses)等的进化分析(Frias-De-Diego et al, 2019; Yuen et al, 2019)。如果用于构建系统关系的已知病毒序列带有明确的宿主关联信息, 那么将有助于通过未知病毒在系统树上的相对位置推测其可能宿主。系统发育树为重建祖先状态提供依据, 比如使用RASP等方法, 结合系统发育树和病毒地理分布来推断病毒的历史传播路径(Yu et al, 2015)。通过构建系统发育树方法来分析病毒进化关系, 其

表1 用于病毒系统发育分析的常用方法

Table 1 Methods used in the phylogenetic analysis of viruses

分析方法 Method	作用 Application	常用软件 Software	参考文献 Reference
系统发育树 Phylogenetic trees	分析不同生物间相关性, 通过树状分支可视化生物之间的亲缘关系并推测进化历史 Analyzing the correlation between different organisms, visualizing the relationship between organisms through tree branches and speculating on the evolutionary history	RAxML, phyML, IQ-TREE	Zhou et al, 2020 Wu et al, 2020 Frias-De-Diego et al, 2019 Yuen et al, 2019
重建系统发育中的祖先状态 Reconstructing ancestral state in phylogenies (RASP)	重建祖先在系统发生树上的地理分布, 推断历史生物地理学信息 Inferring historical biogeography through reconstructing ancestral geographic distributions on phylogenetic trees	RASP	Luo et al, 2015 Frias-De-Diego et al, 2019 Yuen et al, 2019
系统发育网络分析 Phylogenetic network analysis	综合一系列系统发育树的可视化结果, 较直观地展示重组等性状冲突事件 Enabling the visualization of a multitude of optimal trees, displaying reorganization and other trait conflict events	Network, SplitsTree	Yu et al, 2020
单倍型网络分析 Haplotype network analysis	用于在群体水平上显示个体基因型之间的关系 An intuitive method used in visualizing relationships between individual genotypes in a population level	PopART	Tang et al, 2020 Leigh & Bryant, 2015
贝叶斯进化分析 Bayesian evolutionary analyses	根据时间进化树建模推断种群发生分歧的时间 Inferring the time when the population diverged based on time evolutionary tree modeling by BEAST	BEAST	Luo et al, 2015 Bouckaert et al, 2014 Suchard et al, 2018
重组分析 Recombination analysis	检验可能存在的重组信号, 揭示重组在基因进化中的作用 Identifying possible recombination signals and revealing the role of recombination in gene evolution	RDP4 Simplot phyML	Wu et al, 2020 Lam et al, 2020

准确性会受到基因组重组等因素的干扰,而系统发育网络分析方法通过综合一系列系统发育树的可视化结果,较直观地展示重组等性状冲突事件,可以弥补进化树方法的不足(Gusfield et al, 2004; Huson & Klopper, 2005),在微生物、植物和昆虫的进化分析中被广泛使用(Kunin et al, 2005; Mavarez et al, 2006; McBreen & Lockhart, 2006)。重组分析通过检测重组信号发现重组事件,揭示重组在进化中的作用,广泛应用于病毒进化分析(Wu et al, 2020; Lam et al, 2020)。另外,还有其他一些应用于种群进化分析的方法,比如单倍型网络,可以用于种内水平的系谱关系构建,依据样品的地理学特征推断种群的传播路径(Leigh & Bryant, 2015)。基于网状树的种群分析(population analysis with reticulate trees, PopART)软件包,是单倍型网络构建的重要工具,可以对种内序列间的遗传关系进行推理和可视化(Leigh & Bryant, 2015)。贝叶斯进化分析利用高效的马尔科夫链蒙特卡罗(Markov Chain Monte Carlo)统计方法,将分子系统发育关系重建与复杂的离散或连续的性状演变、分歧时间、人口统计模型相结合,用于推断群体的系统动力学(Suchard et al, 2018)。贝叶斯进化分析的常用工具,即基于抽样树的贝叶斯进化分析(Bayesian Evolutionary Analysis by Sampling Trees, BEAST)软件包,可以通过遗传序列数据对样品进行贝叶斯系统发育(phylogenetic)与系统动力学(phylogenetic)推断,该软件依赖于时间尺度树(time-scaled trees)的进化分析方法,使其在共同祖先推断、种群演化历史分析等方面具有重要地位(Suchard et al, 2018)。

系统发育分析在SARS-CoV-2的溯源研究中起到了重要作用。已有研究发现,蝙蝠携带丰富的SARS相关冠状病毒(SARS-related coronaviruses, SARSr-CoVs) (Hu et al, 2017),被认为是天然的冠状病毒基因库,因此也被认为是SARS-CoV-2的可能宿主来源。这一假定在一定程度上得到近期病毒系统关系研究的支持: SARS-CoV-2与来自中华菊头蝠(*Rhinolophus sinicus*)的1株冠状病毒RaTG13具有最近的系统关系,用于建树的同源基因序列在两种病毒间的序列相似性达到96.2% (Zhou et al, 2020)。病毒系统树的最终拓扑关系与基因片段的选取和建树方法直接相关。与前述使用全基因组水平同源基因的方法不同,部分研究倾向于选择具有重

要功能的蛋白进行建树和进化分析。对于冠状病毒而言,S基因编码的刺突蛋白(spike protein)具有病毒侵染人体的重要标志受体结构域(receptor-binding domain, RBD),通过结合人体细胞表面受体血管紧张素转化酶II (angiotensin converting enzyme II, ACE2)等受体完成侵入(Zhou et al, 2020)。而基于RBD蛋白序列的系统发育分析并不支持蝙蝠冠状病毒RaTG13是SARS-CoV-2最相近的病毒。Lam等(2020)研究发现,在穿山甲(*Manis javanica*)体内发现的1株冠状病毒与SARS-CoV-2在RBD序列上具有更高的相似度,由此推测穿山甲可能为中间宿主,促进SARS-CoV-2的产生与传播。在野生动物中发现与SARS-CoV-2高度相似的RBD,以及SARS-CoV-2中不含用于人工病毒合成的任何病毒基因骨架(Almazan et al, 2014; Cui et al, 2019),证明SARS-CoV-2并不是通过人工基因编辑合成的病毒(Andersen et al, 2020)。必须指出的是,基于全基因组同源基因序列,只能对病毒的可能来源进行推测,其准确性极大依赖于样本选取的完整性、基因的选择和进化树构建的方法。而分子系统发育研究中所面临的一系列经典问题,如:核酸组成偏向性、突变速率的异质性、长支吸引、进化模型的选择等,都可能影响病毒进化和溯源的结果。

基于病毒的关键蛋白序列建树所得出的物种间的拓扑关系会受到该序列重组等因素的影响。例如,蝙蝠携带的沙贝病毒亚属(*Sarbecovirus*, 属于冠状病毒属*Betacoronavirus*)存在广泛的基因重组(Hon et al, 2008),而SARS-CoV的直接祖先有可能是由蝙蝠体内的SARSr-CoVs经频繁重组产生的(Hu et al, 2017)。据此推测,可以利用人类ACE2受体的各种SARSr-CoV可能仍在蝙蝠中广泛传播,而类似SARS的疾病风险也可能长期存在(Hu et al, 2017)。在蝙蝠中与SARS-CoV-2亲缘关系非常近的两株冠状病毒ZC45和ZCS21很有可能是重组病毒,各自携带SARS-CoV和SARS-CoV-2的部分基因片段(Lam et al, 2020)。使用不同基因片段进行的进化分析获得的SARS-CoV-2在沙贝病毒亚属内的拓扑位置不同,表明这类病毒中曾经发生过某些基因的重组(Wu et al, 2020)。因此,如果仅基于单个蛋白基因序列进行分子系统发育分析,并不能对含有重组蛋白基因的病毒进行准确的关系构建,需结合多维度的证据对病毒起源进行推导。

如果将基因组技术与系统发育网络方法相结合来进行系统发育关系分析则会大大降低病毒基因重组的干扰, 提供较精细的进化分析, 用于寻找疾病暴发点。Yu等(2020)将SARS-CoV-2基因组中鉴定出的单倍型分为5组, 以bat-RaTG13-CoV为外群, 通过SplitsTree进行系统发育网络分析, 发现H13和H38单倍型可能是祖先单倍型, 而H1则来自中间单倍型H3。Tang等(2020)使用SARS-CoV-2基因组中的所有单倍型(基于DnaSP生成的单倍型), 通过PopART重建单倍型网络。发现SARS-CoV-2分为“L”与“S”两种主要类型, 并推测“S”型可能为“L”型的祖先。Forster等(2020)首次将系统发育网络方法用于研究SARS-CoV-2的传播途径, 通过大量的人群个体取样, 追踪SARS-CoV-2在人群中的暴发与传播轨迹, 发现了SARS-CoV-2中普遍存在的3个氨基酸的变异, 并指出变异之一为其余二者的祖先病毒。然而, 有研究者对该研究提出了质疑, 认为其选用的根类群(蝙蝠冠状病毒 RaTG13)与SARS-CoV-2进化距离较远, 无法准确构建内群的进化关系。RaTG13与SARS-CoV-2的差异远远大于SARS-CoV-2之间的差异, 不能为内群特征的极向(即对祖征/衍征的判断)提供直接支持。可见, 建立和完善全球病毒库有利于更合理地选择外群病毒, 提高病毒进化关系分析的准确性。

综上所述, 基因组学技术可以通过比较未知病毒基因组序列和已知宿主的病毒库, 根据病毒间的系统发育关系来推测未知病毒的可能宿主来源。但是, 以构建系统发育关系为核心的病毒进化研究仍然面临一系列固有的方法学局限和挑战。其中, 用于建群的病毒样本的选择及已知病毒的宿主信息等都对数据库的完整性和准确性提出了很高的要求。如果待检病毒与已知病毒存在一定的差异, 系统发育关系的研究方法仅能做出可能性的推测。因此, 构建一个相对完善的宿主-病毒库对于病毒溯源具有重要意义。

3 利用基因组学方法构建完善的病毒基因数据库及“宿主-病毒”关联信息库

测序技术的发展促进了大量病毒序列信息的获取。在国家生物技术信息中心——病毒数据库(National Center for Biotechnology Information—Virus, NCBI—Virus)中已收录病毒全核酸序列

(all-nucleotides) 300多万条, 全基因组序列(complete-nucleotides) 140多万条, 其中可侵染人类的病毒全基因组序列3.6万多条。相比于自然界广泛的病毒种类, 这只是很少一部分。

病毒-宿主数据库(Virus-Host Database, Virus-Host DB)和病毒病原体数据库和分析资源(Virus Pathogen Database and Analysis Resource, ViPR)整合RefSeq、GenBank、UniProt、ViralZone等多个数据库, 对病毒信息进行了分类汇总。Virus-Host DB针对的是已知宿主信息的病毒种类, 约11,000多种(序列14,000多条), 根据宿主种类进行分类(包括动物、植物、其他真核生物以及细菌、古生菌), 提供病毒全基因组与其宿主信息的分类链接, 其中人类病毒1,300多种。ViPR则是对人类病毒病原体及其相关病毒进行汇总, 包含20多个病毒科, 对每个病毒科的基因组数量以及蛋白数量、菌株数量和未知宿主比例等进行整理与统计(表2)。根据ViPR的统计, 人类病毒病原体及其相关病毒中存在相当比例的未知宿主信息的病毒种类。除上述病毒库外, 其他很多病毒数据库大都限于某个子集, 比如流感病毒数据库、RNA病毒数据库、LANL出血热病毒数据库、乙型肝炎病毒数据库等(Dong et al, 2017)。虽然Virus-Host DB与ViPR从病毒与宿主关联性的角度对病毒的宿主信息进行汇总, 但是动物源病毒多样性高, 病毒与宿主的互作关系较为复杂, 可能存在多重中间宿主或宿主转移, 为确定病毒与宿主复杂的关联关系带来了巨大挑战。在此背景下, 对病毒多样性及其与宿主的关联信息进行广泛的本底调查势在必行。

近年来, 大规模的物种宏基因组或宏转录组研究取得了一系列重要进展。相关研究针对特定的生境类型或物种类型开展了广谱的高通量测序工作。例如, 通过宏转录组方法对脊椎动物(包括爬行动物、两栖动物等)体内的病毒进行鉴定与系统发育分析, 发现RNA病毒与其脊椎动物宿主之间存在多样化的关联关系(Shi et al, 2018)。部分病毒可侵染广泛的宿主类型, 包括哺乳动物、鸟类、两栖类、爬行动物及鱼类, 如: 黄病毒科(Flaviviridae) (Shi et al, 2016)、肝病病毒(Hepadnaviridae) (Nie et al, 2018)、汉坦病毒(Hantaviruses) (Holmes & Zhang, 2015)等。同时, 也有部分病毒与其宿主存在较为一致的系统发生关系, 提示病毒与宿主间可能存在广泛的协同进

表2 ViPR数据库已收录的病毒信息(数据来源于<https://www.viprbrc.org/brc/home.spg?decorator=vipr>)Table 2 Virus sequences deposited in the ViPR database (Data are from <https://www.viprbrc.org/brc/home.spg?decorator=vipr>)

科 Families	种 Species	基因组 Genomes	病毒株 Strains	蛋白 Proteins	缺乏宿主信息比例 Percent without host identification
Arenaviridae	177	4,532	3,012	6,949	23.23%
Caliciviridae	225	52,189	49,073	96,673	28.16%
Coronaviridae	1,043	34,864	28,823	119,573	22.80%
Filoviridae	16	3,577	3,390	22,038	22.53%
Flaviviridae	367	345,546	261,780	877,286	39.36%
Hantaviridae	304	10,189	6,867	10,603	14.02%
Hepeviridae	33	17,838	15,022	19,203	17.95%
Herpesviridae	782	58,371	45,281	300,180	60.18%
Nairoviridae	38	3,669	1,931	3,553	9.92%
Paramyxoviridae	574	50,355	44,898	67,728	24.22%
Peribunyaviridae	183	5,031	2,434	6,367	22.80%
Phasmaviridae	16	1,106	340	1,114	0.27%
Phenuiviridae	215	5,189	2,934	7,133	13.37%
Picornaviridae	1,038	127,336	116,298	346,846	26.91%
Pneumoviridae	17	37,289	33,516	60,235	30.36%
Poxviridae	283	10,444	7,487	125,948	40.87%
Reoviridae	363	107,566	39,985	108,677	15.93%
Rhabdoviridae	530	33,347	26,510	46,761	22.12%
Togaviridae	60	12,800	10,854	46,764	36.25%
总计 Total	6,264	921,238	700,435	2273,631	—

化关系(Shi et al, 2018)。稳定的宿主关系甚至体现在组织特异性上,例如肝病病毒属的病毒多发于爬行动物、两栖动物、鱼类和哺乳动物的肝脏组织(Shi et al, 2018)。这些结果表明,即使伴随着病毒的快速进化和频繁的宿主转换,脊椎动物中的RNA病毒依然保持着与宿主高度匹配的进化历史。这种进化关系很可能始于海洋,并延续了数亿年之久(Shi et al, 2018)。

病毒与宿主的协同关系不仅仅局限于脊椎动物,近期在昆虫中也揭示了相似的结果。基于大规模昆虫转录组分析的千种昆虫转录组演化(1KITE)研究,从昆虫表达的RNA中分离出其共生病毒的表达序列,其中包含至少20个可能的新病毒属(Kafer et al, 2019)。这一结果不仅加深了对昆虫病毒多样性的认知,还为病毒与昆虫宿主的趋同进化(codivergence)提供了证据。病毒与宿主的协同进化关系提示:宿主的进化信息可为病毒进化及溯源提供重要参考。

因此,构建宿主与病毒关联性的数据库不仅必

要而且可行。从时间和资源的优先级上考虑,可以从首先从已知的携带重要人畜共患病致病病毒的动物类群及与人类密切接触的动物类群入手,开展较为全面深入的宏基因组摸底调查,如蝙蝠(Zhou et al, 2018; Cui et al, 2019)等。同时,加强对已有数据的病毒信息的挖掘。当前已经完成或正在展开的大规模基因组、宏基因组、宏转录组方面的研究,涵盖多类群物种,并区分动物的不同组织类型。使用成熟的生物信息学方法,可以从中分离得到宿主与病毒的相关遗传信息,用以补充宿主-病毒基因库。

宏基因组学的方法可直接获取宿主携带的多种病毒信息。然而,在实际鉴定过程中易受取样部位、取样时间和环境传播等多种因素的影响,而不能准确鉴定病毒宿主,进而干扰宿主-病毒关联数据库的准确性。所以,建立常态监测网络,对数据进行长期跟踪,将宿主赋予更广泛的定义,比如从“动物”,进一步外延涵盖“植物”,甚至是“环境”,例如食品、饮用水等。通过试点摸底,建立区域环境监测热点,统计病毒鉴定阳性频率信息,最终形成

全国监测网络,便于在第一时间发现各种致病源。

基于病毒的基因组序列信息可对其可能的宿主进行预测,从而完善宿主-病毒关联数据库。例如基于病毒具有与其宿主相似的密码子使用偏好性的特点,针对病毒基因组序列和各种宿主的基因组序列,通过“机器学习”的方法建立通用模型,可直接预测病毒的动物宿主(Babayán et al, 2018)。然而,传统的“机器学习”方法通常需要宿主基因组信息,其应用受已知宿主物种的参考基因组数量的限制。“深度学习”是“机器学习”的一种新技术,深层神经网络(deep neural network)的方法是“深度学习”的一种,在应用于病毒的宿主预测时,该方法克服了传统“机器学习”方法的弊端,通过分析给定病毒基因组的全部或部分序列来预测病毒宿主,无需依赖于宿主的序列信息(Mock et al, 2020)。病毒宿主预测工具VIDHOP (virus deep learning host prediction)便是基于深层神经网络的方法开发的(Mock et al, 2020)。

另外,基于病毒基因组序列建立其关键蛋白质三维结构模型,使用蛋白功能预测工具(比如Swiss-Model)与已知宿主病毒的同源蛋白进行比较,也可以推测未知病毒的宿主来源(Lu et al, 2020)。比如,对SARS-CoV-2刺突蛋白受体结合域建模,发现其与SARS-CoV非常相似,推测SARS-CoV-2与SARS-CoV均使用ACE2为受体进入细胞,根据相同的致病机制可推测共同的宿主来源(Lu et al, 2020)。

基于模型推测宿主来源需要与先进的实验验证相结合。Letko等(2020)开发了人工病毒颗粒系统用于病毒的宿主确认,将来自不同病毒的受体结合域序列与病毒颗粒系统融合,若该病毒可以与细胞受体结合,那么进入细胞的病毒核酸片段会激发荧光反应。通过荧光反应来判断该受体结合域所对应的病毒是否具有侵入细胞的能力,以及病毒侵入细胞所需的细胞受体。

4 问题与展望

基因组学技术极大丰富了人类认知病毒多样性和宿主关系的方法。野生动物是人类致病病毒的重要中间宿主,它们携带的病毒具有丰富的遗传多样性和宿主关联性。然而,人们对这两个重要方面的认知都极其有限,为病毒宿主溯源带来了巨大挑

战。针对频繁出现的新型病毒,现有的数据积累和研究方法还不能保障迅速、准确地开展宿主溯源。对大部分病毒的宿主判断依然基于推测,COVID-19疫情还在全球持续升级,而SARS-CoV-2的直接宿主尚未确认。除此之外,全球性气候变暖可能带来新的病毒威胁,冻土与冰川的融化增加了古老病毒被释放到环境中的风险。青藏高原冰川中已检测出大量新型病毒(Zhong et al, 2020);而西伯利亚冻土层中复活的巨型病毒仍能感染单细胞的阿米巴原虫(变形虫)(Legendre et al, 2015)。古老病毒的新增威胁进一步提高了对病毒多样性认知的迫切性。

针对目前病毒基因组学信息仍然匮乏的现状,基因组学技术应当被更广泛地运用到病毒基因库建立的基础研究中,宿主-病毒数据库的建立将为新病毒种的鉴定和进化研究提供依据。宿主-病毒数据库的构建必然存在一系列的挑战。比如,目前对病毒与宿主的关联性确认方法学手段仍然很匮乏;另外,对类群选择的合理性和完整性的把握、样本量巨大、样本的分类信息复杂、数据挖掘不充分、分析方法不完善等问题都为数据库的构建增加难度。相关问题的解决将可能成为病毒基因组学研究的重点。

参考文献

- Adams IP, Glover RH, Monger WA, Mumford R, Jackeviciene E, Navalinskiene M, Samuitiene M, Boonham N (2009) Next-generation sequencing and metagenomic analysis: A universal diagnostic tool in plant virology. *Molecular Plant Pathology*, 10, 537–545.
- Almazan F, Sola I, Zuniga S, Marquez-Jurado S, Morales L, Becares M, Enjuanes L (2014) Coronavirus reverse genetic systems: Infectious clones and replicons. *Virus Research*, 189, 262–270.
- Andersen KG, Rambaut A, Lipkin WI, Holmes EC, Garry RF (2020) The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 26, 450–452.
- Babayán SA, Orton RJ, Streicker DG (2018) Predicting reservoir hosts and arthropod vectors from evolutionary signatures in RNA virus genomes. *Science*, 362, 577–580.
- Bouckaert R, Heled J, Kuhnert D, Vaughan T, Wu CH, Xie D, Suchard MA, Rambaut A, Drummond AJ (2014) BEAST 2: A software platform for Bayesian evolutionary analysis. *PLoS Computational Biology*, 10, e1003537.
- Briese T, Paweska JT, McMullan LK, Hutchison SK, Street C, Palacios G, Khristova ML, Weyer J, Swanepoel R, Egholm M, Nichol ST, Lipkin WI (2009) Genetic detection and characterization of Lujo virus, a new hemorrhagic

- fever-associated arenavirus from southern Africa. *PLoS Pathogens*, 5, e1000455.
- Cui J, Li F, Shi ZL (2019) Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 181–192.
- Dong R, Zheng H, Tian K, Yau SC, Mao WG, Yu WP, Yin CC, Yu CL, He RL, Yang J, Yau SS (2017) Virus database and online inquiry system based on natural vectors. *Evolutionary Bioinformatics*, 13, 1–7.
- Forster P, Forster L, Renfrew C, Forster M (2020) Phylogenetic network analysis of SARS-CoV-2 genomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 117, 9241–9243.
- Frias-De-Diego A, Jara M, Escobar LE (2019) Papillomavirus in wildlife. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 406.
- Ge XY, Li JL, Yang XL, Chmura AA, Zhu G, Epstein JH, Mazet JK, Hu B, Zhang W, Peng C, Zhang YJ, Luo CM, Tan B, Wang N, Zhu Y, Crameri G, Zhang SY, Wang LF, Daszak P, Shi ZL (2013) Isolation and characterization of a bat SARS-like coronavirus that uses the ACE2 receptor. *Nature*, 503, 535–538.
- Gorbalenya AE, Gulyaeva AA, Lauber C, Sidorov IA, Leontovich AM, Penzar D, Samborskiy DV, Baker SC, Baric RS, de Groot RJ, Drosten C, Haagmans BL, Neuman BW, Perlman S, Poon LLM, Sola I, Ziebuhr J (2020) The species severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: Classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*, 5, 536–544.
- Gusfield D, Eddhu S, Langley C (2004) Optimal efficient reconstruction of phylogenetic networks with constrained recombination. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 2, 173–213.
- Hadidi A, Flores R, Candresse T, Barba M (2016) Next-generation sequencing and genome editing in plant virology. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1325.
- Hemida MG, Chu DK, Poon LL, Perera RA, Alhammad MA, Ng HY, Siu LY, Guan Y, Alnaeem A, Peiris M (2014) MERS coronavirus in dromedary camel herd, Saudi Arabia. *Emerging Infectious Diseases*, 20, 1231–1234.
- Holmes EC, Zhang YZ (2015) The evolution and emergence of hantaviruses. *Current Opinion in Virology*, 10, 27–33.
- Hon CC, Lam TY, Shi ZL, Drummond AJ, Yip CW, Zeng F, Lam PY, Leung FC (2008) Evidence of the recombinant origin of a bat severe acute respiratory syndrome (SARS)-like coronavirus and its implications on the direct ancestor of SARS coronavirus. *Journal of Virology*, 82, 1819–1826.
- Hu B, Zeng LP, Yang XL, Ge XY, Zhang W, Li B, Xie JZ, Shen XR, Zhang YZ, Wang N, Luo DS, Zheng XS, Wang MN, Daszak P, Wang LF, Cui J, Shi ZL (2017) Discovery of a rich gene pool of bat SARS-related coronaviruses provides new insights into the origin of SARS coronavirus. *PLoS Pathogens*, 13, e1006698.
- Hu YF, Yang F, Dong J, Yang J, Zhang T, Sun LL, Jin Q (2011) Direct pathogen detection from swab samples using a new high-throughput sequencing technology. *Clinical Microbiology and Infection*, 17, 241–244.
- Huson DH, Klopper TH (2005) Computing recombination networks from binary sequences. *Bioinformatics*, 21(Suppl. 2), 159–165.
- Kafer S, Paraskevopoulou S, Zirkel F, Wieseke N, Donath A, Petersen M, Jones TC, Liu S, Zhou X, Middendorf M, Junglen S, Misof B, Drosten C (2019) Re-assessing the diversity of negative strand RNA viruses in insects. *PLoS Pathogens*, 15, e1008224.
- Kunin V, Goldovsky L, Darzentas N, Ouzounis CA (2005) The net of life: Reconstructing the microbial phylogenetic network. *Genome Research*, 15, 954–959.
- Lam TT, Shum MH, Zhu HC, Tong YG, Ni XB, Liao YS, Wei W, Cheung WY, Li WJ, Li LF, Leung GM, Holmes EC, Hu YL, Guan Y (2020) Identification of 2019-nCoV related coronaviruses in Malayan pangolins in southern China. *bioRxiv*, doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.13.945485>.
- Legendre M, Lartigue A, Bertaux L, Jeudy S, Bartoli J, Lescot M, Alempic JM, Ramus C, Bruley C, Labadie K, Shmakova L, Rivkina E, Coute Y, Abergel C, Claverie JM (2015) In-depth study of *Mollivirus sibericum*, a new 30,000-y-old giant virus infecting *Acanthamoeba*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 112, e5327–e5335.
- Leigh J, Bryant D (2015) PopART: Full-feature software for haplotype network construction. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, 1110–1116.
- Letko M, Marzi A, Munster V (2020) Functional assessment of cell entry and receptor usage for SARS-CoV-2 and other lineage B betacoronaviruses. *Nature Microbiology*, 5, 562–569.
- Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, Wang W, Song H, Huang B, Zhu N, Bi Y, Ma X, Zhan F, Wang L, Hu T, Zhou H, Hu Z, Zhou W, Zhao L, Chen J, Meng Y, Wang J, Lin Y, Yuan J, Xie Z, Ma J, Liu WJ, Wang D, Xu W, Holmes EC, Gao GF, Wu G, Chen W, Shi W, Tan W (2020) Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: Implications for virus origins and receptor binding. *Lancet*, 395, 565–574.
- Luo T, Comas I, Luo D, Lu B, Wu J, Wei L, Yang C, Liu Q, Gan M, Sun G, Shen X, Liu F, Gagneux S, Mei J, Lan R, Wan K, Gao Q (2015) Southern East Asian origin and coexpansion of *Mycobacterium tuberculosis* Beijing family with Han Chinese. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 112, 8136–8141.
- Mavarez J, Salazar CA, Bermingham E, Salcedo C, Jiggins CD, Linares M (2006) Speciation by hybridization in *Heliconius* butterflies. *Nature*, 441, 868–871.
- McBreen K, Lockhart PJ (2006) Reconstructing reticulate evolutionary histories of plants. *Trends in Plant Science*, 11, 398–404.
- Mock F, Viehweger A, Barth E, Marz M (2020) VIDHOP, viral host prediction with deep learning. *bioRxiv*, doi: <https://doi.org/10.1101/575571>.
- Nie FY, Lin XD, Hao ZY, Chen XN, Wang ZX, Wang MR,

- Wu J, Wang HW, Zhao G, Ma RZ, Holmes EC, Zhang YZ (2018) Extensive diversity and evolution of hepadnaviruses in bats in China. *Virology*, 514, 88–97.
- Palacios G, Druce J, Du L, Tran T, Birch C, Briese T, Conlan S, Quan PL, Hui J, Marshall J, Simons JF, Egholm M, Paddock CD, Shieh WJ, Goldsmith CS, Zaki SR, Catton M, Lipkin WI (2008) A new Arenavirus in a cluster of fatal transplant-associated diseases. *New England Journal of Medicine*, 358, 991–998.
- Quick J, Loman NJ, Duraffour S, Simpson JT, Severi E, Cowley L, Bore JA, Koundouno R, Dudas G, Mikhail A, Ouedraogo N, Afrough B, Bah A, Baum JH, Becker-Ziaja B, Boettcher JP, Cabeza-Cabrero M, Camino-Sanchez A, Carter LL, Doerrbecker J, Enkirch T, Dorival IGG, Hetzelt N, Hinzmann J, Holm T, Kafetzopoulou LE, Koropogui M, Kosgey A, Kuisma E, Logue CH, Mazzarelli A, Meisel S, Mertens M, Michel J, Ngabo D, Nitzsche K, Pallash E, Patrono LV, Portmann J, Repits JG, Rickett NY, Sachse A, Singethan K, Vitoriano I, Yemanaberhan RL, Zekeng EG, Trina R, Bello A, Sall AA, Faye O, Faye O, Magassouba N, Williams CV, Amburgey V, Winona L, Davis E, Gerlach J, Washington F, Monteil V, Jourdain M, Bererd M, Camara A, Somlare H, Camara A, Gerard M, Bado G, Baillet B, Delaune D, Nebie KY, Diarra A, Savane Y, Pallawo RB, Gutierrez GJ, Milhano N, Roger I, Williams CJ, Yattara F, Lewandowski K, Taylor J, Rachwal P, Turner D, Pollakis G, Hiscox JA, Matthews DA, O'Shea MK, Johnston AM, Wilson D, Hutley E, Smit E, Di Caro A, Woelfel R, Stoecker K, Fleischmann E, Gabriel M, Weller SA, Koivogui L, Diallo B, Keita S, Rambaut A, Formenty P, Gunther S, Carroll MW (2016) Real-time, portable genome sequencing for Ebola surveillance. *Nature*, 530, 228–232.
- Roossinck MJ (2015) Move over, bacteria! Viruses make their mark as mutualistic microbial symbionts. *Journal of Virology*, 89, 6532–6535.
- Shi M, Lin XD, Chen X, Tian JH, Chen LJ, Li K, Wang W, Eden JS, Shen JJ, Liu L, Holmes EC, Zhang YZ (2018) The evolutionary history of vertebrate RNA viruses. *Nature*, 556, 197–202.
- Shi M, Lin XD, Vasilakis N, Tian JH, Li CX, Chen LJ, Eastwood G, Diao XN, Chen MH, Chen X, Qin XC, Widen SG, Wood TG, Tesh RB, Xu J, Holmes EC, Zhang YZ (2016) Divergent viruses discovered in arthropods and vertebrates revise the evolutionary history of the Flaviviridae and related viruses. *Journal of Virology*, 90, 659–669.
- Simmonds P, Adams MJ, Benko M, Breitbart M, Brister JR, Carstens EB, Davison AJ, Delwart E, Gorbalenya AE, Harrach B, Hull R, King AM, Koonin EV, Krupovic M, Kuhn JH, Lefkowitz EJ, Nibert ML, Orton R, Roossinck MJ, Sabanadzovic S, Sullivan MB, Suttle CA, Tesh RB, Van Der Vlugt RA, Varsani A, Zerbini FM (2017) Consensus statement: Virus taxonomy in the age of metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*, 15, 161–168.
- Suchard MA, Lemey P, Baele G, Ayres DL, Drummond AJ, Rambaut A (2018) Bayesian phylogenetic and phylodynamic data integration using BEAST 1.10. *Virus Evolution*, 4, vey016.
- Tang P, Chiu C (2010) Metagenomics for the discovery of novel human viruses. *Future Microbiology*, 5, 177–189.
- Tang XL, Wu CC, Li X, Song YH, Yao XM, Wu XK, Duan YZ, Zhang H, Wang YR, Qian ZH, Cui J, Lu J (2020) On the origin and continuing evolution of SARS-CoV-2. *National Science Review*, 7, 1012–1023.
- Wu F, Zhao S, Yu B, Chen YM, Wang W, Song ZG, Hu Y, Tao ZW, Tian JH, Pei YY, Yuan ML, Zhang YL, Dai FH, Liu Y, Wang QM, Zheng JJ, Xu L, Holmes EC, Zhang YZ (2020) A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*, 579, 265–269.
- Yu WB, Tang GD, Zhang L, Corlett RT (2020) Decoding the evolution and transmissions of the novel pneumonia coronavirus (SARS-CoV-2/HCoV-19) using whole genomic data. *Zoological Research*, 41, 247–257.
- Yu Y, Harris AJ, Blair C, He X (2015) RASP (reconstruct ancestral state in phylogenies): A tool for historical biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 87, 46–49.
- Yuen LKW, Littlejohn M, Duchêne S, Edwards R, Bukulatjpi S, Binks P, Jackson K, Davies J, Davis JS, Tong SYC, Locarnini S, Townsend J (2019) Tracing ancient human migrations into Sahul using hepatitis B virus genomes. *Molecular Biology and Evolution*, 36, 942–954.
- Zhong ZP, Solonenko NE, Li YF, Gazitua MC, Roux S, Davis ME, Van Etten JL, Mosley-Thompson E, Rich VI, Sullivan MB, Thompson LG (2020) Glacier ice archives fifteen-thousand-year-old viruses. *bioRxiv*, doi: <https://doi.org/10.1101/2020.01.03.894675>.
- Zhou P, Fan H, Lan T, Yang XL, Shi WF, Zhang W, Zhu Y, Zhang YW, Xie QM, Mani S, Zheng XS, Li B, Li JM, Guo H, Pei GQ, An XP, Chen JW, Zhou L, Mai KJ, Wu ZX, Li D, Anderson DE, Zhang LB, Li SY, Mi ZQ, He TT, Cong F, Guo PJ, Huang R, Luo Y, Liu XL, Chen J, Huang Y, Sun Q, Zhang XL, Wang YY, Xing SZ, Chen YS, Sun Y, Li J, Daszak P, Wang LF, Shi ZL, Tong YG, Ma JY (2018) Fatal swine acute diarrhoea syndrome caused by an HKU2-related coronavirus of bat origin. *Nature*, 556, 255–258.
- Zhou P, Yang XL, Wang XG, Hu B, Zhang L, Zhang W, Si HR, Zhu Y, Li B, Huang CL, Chen HD, Chen J, Luo Y, Guo H, Jiang RD, Liu MQ, Chen Y, Shen XR, Wang X, Zheng XS, Zhao K, Chen QJ, Deng F, Liu LL, Yan B, Zhan FX, Wang YY, Xiao GF, Shi ZL (2020) A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579, 270–273.

(责任编辑: 吴永杰 责任编辑: 周玉荣)



•综述•

推进生物多样性保护与人类健康的共同发展 ——One Health

李彬彬*

(昆山杜克大学环境研究中心, 江苏昆山 215316)

摘要: 随着新冠肺炎(COVID-19)的暴发, 野生动物、生物多样性和人类健康的关系再次引起广泛讨论。近20年来, 国际社会对于生物多样性与健康的研究日益增多, 并将它作为生物多样性保护与研究的重要方向之一。One Health作为一个新的理念框架, 通过交叉学科的研究和行动来推动包括人、所有其他动物及环境的健康。这个理念被不同国家、国际组织及协定所接纳及推广, 包括《生物多样性公约》等。本文通过总结近些年生物多样性对健康的影响方式、One Health的定义与发展历史、进入生物多样性议程的过程, 提出中国应用One Health改进相关野生动物管理以降低公共卫生危机的可能性的建议, 以及One Health框架内增强生物多样性保护所需的研究方向。One Health在中国的应用与发展应重视生物多样性研究和保护在其中的作用, 利用在景观生态学、群落内物种关系动态变化、气候变化影响、土地利用变化模式与趋势的研究, 与人类健康相结合, 提高One Health在应对公共健康和环境健康风险方面的准确性与及时性。同时, 需要加强我国在野生动物管理方面的投入和力度, 增强生物多样性保护与公共健康的联系, 将预警与干预措施前移, 减少疾病暴发带来的社会经济成本。

关键词: 生物多样性; 公共卫生; One Health; 野生动物管理

Creating synergy between biodiversity conservation and human health — One Health

Binbin V Li*

Environmental Research Center, Duke Kunshan University, Kunshan, Jiangsu 215316

Abstract: With the pandemic of COVID-19, the linkage between wildlife, biodiversity and human health has drawn tremendous attention from the public. In the recent 20 years, there has been growing interest from the international community to understand how biodiversity influences human health, which has become one of the crucial directions to promote biodiversity conservation and research. At the same time, One Health, as a new concept and framework, promotes interdisciplinary research and action to improve the health of humans, animals and the environment altogether. This concept has been adopted and promoted by various countries and international organizations, including the Convention on Biological Conservation. This paper summarizes major pathways of how biodiversity influences human health, the definition and history of One Health, the incorporation of One Health into the biodiversity conservation agenda. In the end, using the One Health framework, this paper suggests ways to improve China's current wildlife management system to reduce the probability of potential public health crisis. This paper also identifies some key research gaps in enhancing the role of biodiversity in protecting human health. The implementation of One Health in China should emphasize the importance of biodiversity research and conservation. By integrating research on landscape ecology, community and species interactions, climate change impacts, land-cover and land-use change with that on human health, One Health can improve its efficiency in addressing risks of public health and environmental health. At the same time, China should invest more resources in wildlife management, reinforce the linkage between biodiversity conservation and human health, and prevent and control epidemics from their very beginning.

Key words: biodiversity; public health; One Health; wildlife management

随着新冠肺炎(COVID-19)的暴发, 野生动物和人类健康的关系受到了前所未有的关注。不论是野生动物还是家养动物, 对于人类生活都极其重要。但是频繁近距离地接触动物及其环境, 也为疾病在动物与人之间的传播提供了机会(Romanelli et al, 2015)。气候变化和土地利用改变会对生态系统及其功能造成影响, 同时导致产生新的疾病传播途径。国际贸易和运输能力的增强, 使得疾病可以快速在全球传播, 造成严重的公共卫生威胁(Mace et al, 2012)。人类传染病60%来源于动物, 50%的动物传染病可传染给人类(Romanelli et al, 2015)。1970年至今, 新发和再发传染病中超过75%为人兽共患病(zoonosis) (聂恩琼等, 2016), 这与生物多样性丧失、畜牧业生产增加、集约化生产和交易方式都密切相关。人兽共患病的不断暴发严重影响人类健康并造成了巨大的经济损失和社会的动荡。随着全球化进程加快、人口数量与流动性增加, 导致对自然的干扰增强、人类与野生动物及其栖息地的接触几率增高。人类与动物、环境健康间的关系越来越紧密, 成为一个不可分割的整体。因此, 单独研究人类健康或环境健康, 会忽略重要的相互作用机制而无法有效妥善地解决公共卫生与安全的问题。近些年, 国际上已经达成共识: 任何一个单一的学科已经无法有效解决这样复杂的公共卫生问题, 这需要有生态系统、生物多样性、野生动物与家畜、人类医疗与公共卫生管理等诸多领域的研究与合作(Romanelli et al, 2014)。需要在有限的公共卫生资源条件下, 对疾病的监测、预防、应急响应和控制等作出有效调整, 也必须加强对生态环境和动物健康的关注和研究, 才能更好应对可能出现的公共危机。

在这样的背景下, One Health作为一种新的理念框架, 逐渐被应用于研究与解决人类健康问题。这个概念最开始为动物医学行业所接受并推动, 后来逐渐被其他国际机构以及生物多样性领域所认同。本文将回顾One Health的发展历史和进入生物多样性议程的过程, 探讨生物多样性与人类健康的关系, 以及如何利用One Health框架更好地推进中国的生物多样性与人类健康联系的研究。

1 One Health的定义及其发展历史

One Health涉及的学科众多, 其定义和涉及的边界也难以清晰界定(Gibbs, 2014)。其核心是通过

交叉学科的研究和行动来推动包括人、所有其他动物及环境的健康, 这与之前的Eco Health, One Medicine等理念类似(Romanelli et al, 2015)。One Health的定义为: 涉及人类、动物、环境卫生健康的一种跨学科跨地域(国家、地区、全球)协作和交流的新策略, 致力于共同促进人和动物健康, 维护和改善生态环境(聂恩琼等, 2016)。为了达成One Health的目标, 需要有包括动物医学、人类医学、生态和保护领域的交叉学科方法, 同时也需要例如经济、农业、政策及遥感等其他领域的参与(Patz et al, 2012; Cleaveland et al, 2014) (图1)。之后一些研究者把植物的健康也加入到One Health的框架当中(Romanelli et al, 2015)。

对于One Health的中文翻译, 因为不同研究人员的偏好, 一直没有统一。现有的翻译包括“同一(个)健康”“唯一健康”“大健康”“全健康”“一体化健康”等。笔者倾向于使用“同一健康”, 因为这个翻译与One Health本身的理念连接最为紧密, 即人类、动物、环境健康是密不可分、紧密相连的。同一健康, 代表着这三者健康其实是一个整体, 某一部分的变化都会影响到其他组成部分。为了避免中文翻译导致的理解偏差, 本文依旧使用英文“One Health”。

环境因素可以影响人类健康这一理念很早就已存在, 医药之父希波克拉底(Hippocrates)曾将“空气、水、土地”记载为可以影响人类健康的环境因素。随着“人兽共患病”一词的提出, 逐渐明确了人类医学和动物医学之间本来没有、也不应该有明显界限。近半个世纪以来, 新发和再发传染病尤其是人兽共患病的增加, 导致一些大规模甚至对人类有



图1 One Health框架(改编自[http://climvib.eu/? post_type=post&s=one+health](http://climvib.eu/?post_type=post&s=one+health))
Fig. 1 Framework for One Health (Adapted from [http://climvib.eu/? post_type=post&s=one+health](http://climvib.eu/?post_type=post&s=one+health))

高致死率的传染病暴发,推动了One Health理念的产生(Gibbs, 2005)。这些疾病包括疯牛病、严重急性呼吸综合征(SARS)、埃博拉、亨德拉、中东呼吸综合征(MERS)、尼帕病、急性呼吸综合征、西尼罗河热等。而这次引发全球动荡的新冠肺炎病毒是第七种确定可以感染人类的冠状病毒(Gibbs, 2014; Bonilla-Aldana et al, 2020)。

One Health希望推动跨学科的合作以应对日益增多的公共卫生危机。这个理念首先被兽医行业提出并积极推动,接着被一些关注人兽共患病的国际组织接受,例如联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)、世界动物卫生组织(Office International Des Epizooties, OIE)以及世界卫生组织(World Health Organization, WHO) (Gibbs, 2014)。2004年,世界野生生物保护学会(WCS)首次提出“One-World-One-Health”来推动人类和生态系统健康,并建议增强对人类、家畜和野生动物健康之间联系的认识,明确疾病不只威胁人类健康、食品安全和经济,还会对维持环境健康所必须的生物多样性和生态系统造成破坏性的影响(Gibbs, 2014)。同时世界野生生物保护学会提出了12条建议,以探索更为综合全面的方法来预防大范围疫情,维持生态系统健康完整,以保证其为人类和家养动物提供的健康保障。后来,这些建议被称为《曼哈顿原则》。其中第四条明确提出,人类健康相关项目可以帮助推进自然保护(Gibbs, 2014)。随着2007年美国医学会(American Medical Association)通过One Health决议来推动人医和兽医之间的合作,One Health正式进入医学和科学领域。

此后,One Health被全球不同机构所认同。2008年,联合国粮食及农业组织、世界动物卫生组织、世界卫生组织与儿童基金会、联合国系统流感协调项目和世界银行合作,制定了一个联合战略框架“Contributing the One World One Health”,以应对不断变化的新发和再发传染病风险。2009年美国成立了One Health委员会,专业合作伙伴有美国兽医协会、美国公共卫生协会、美国医学协会、美国医学院校协会、美国兽医医学院校协会、美国传染病学会和爱荷华州立大学健康联盟。2010年,联合国粮食及农业组织、世界动物卫生组织和世界卫生组织在河内达成“FAO-OIE-WHO”合作,即在动物-人类-环境方面共同担当责任,创建一个通过不同学

科不同部门的合作体制,来阻止、监测、控制、消除并及时响应动物和公众健康危机(FAO et al, 2008)。三家协作促成了全球包括人兽共患病在内的重大动物疾病全球早期预警系统(Global Early Warning System, GLEWS)的建立。随后,美国佛罗里达大学、杜克大学、英国爱丁堡大学等研究机构开始推行One Health研究并设立相应的课程。One Health理念在中国引入和研究起步较晚,但从2013年复旦大学闻玉梅院士发起“一健康基金”鼓励相关研究之后,2014年中山大学公共卫生学院在广州承办首届One Health研究国际论坛并建立中国第一个One Health网站(<http://www.healthonly.cn/>)及研究中心,中国的One Health研究有了实质性的进展(聂恩琼等, 2016)。

2 One Health进入生物多样性议程

从最开始的生态系统方法(ecosystem approach)到后期的One Health框架都强调生物多样性和人类健康之间的联系。图2总结了生态系统方法和One Health进入生物多样性议程的过程。1995年《生物多样性公约》(CBD)第二次缔约方大会第一次提及生态系统方法,即综合管理土地、水和生物资源,公平促进其保护与可持续利用的战略(图2)。2000年的千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment)以及《生物多样性公约》第五次缔约方大会正式将生态系统方法作为行动的基本框架,并且与适应性管理相联系来解决环境问题中的不确定性(Lajaunie & Mazzega, 2016)。在2002年的《生物多样性公约》第六次缔约方大会上确定需要将生态系统方法引入国家层面的政策和立法。在接下来的第七次缔约方大会中,《生物多样性公约》开始联手《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES),在同年CITES第13次缔约方大会上正式采用生态系统方法来解决生物多样性丧失的问题。随后在2005年世界卫生组织发布的对千年生态系统评估内关于人类健康的分析总结中显示,人类健康与环境变化之间的关系错综复杂,并且确定由《生物多样性公约》提出的生态系统方法正在延伸到人类健康领域以解决相应问题,例如传染病和慢性病(Wilcox & Gubler, 2005; Lajaunie & Morand, 2015)的防治。2008年,《野生动物迁徙物种保护公约》(The Convention on Migratory Species, CMS)和《国际重

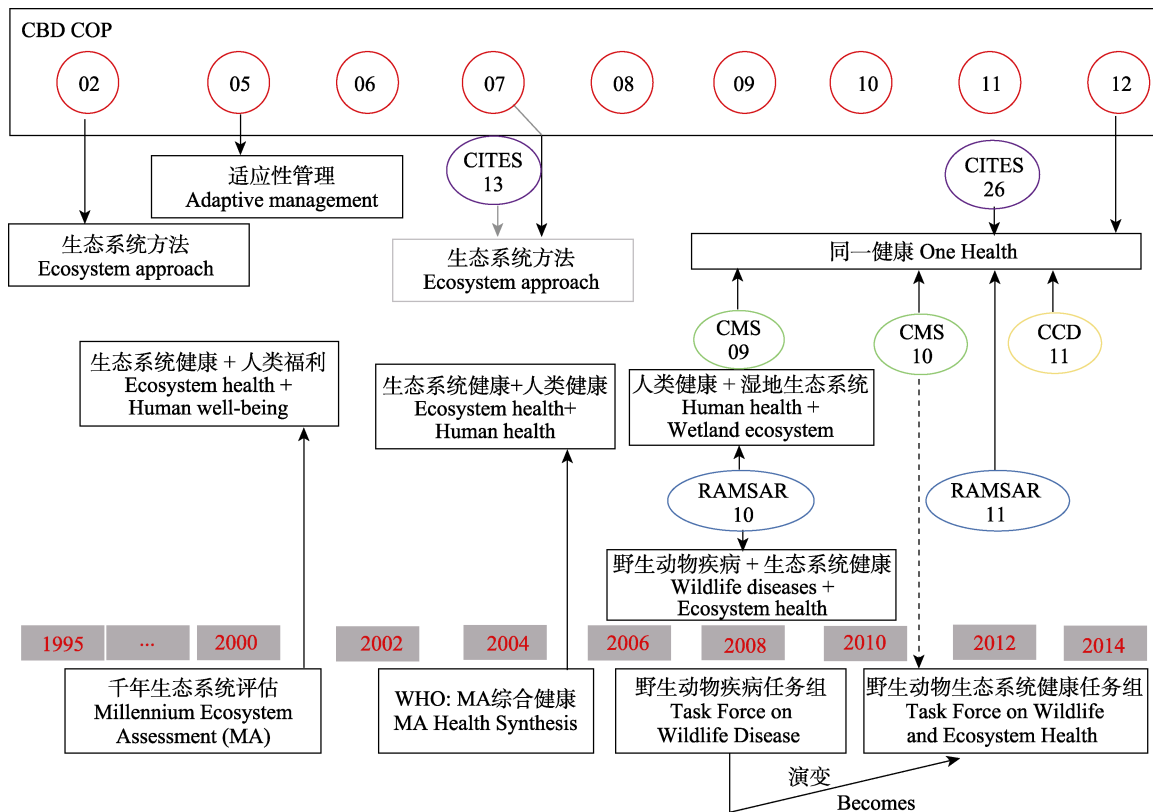


图2 生态系统方法和One Health进入生物多样性议程的过程(改编自Lajaunie & Mazzega, 2016)。CBD: 生物多样性公约; CCD: 防治荒漠化公约; COP: 缔约方大会; CITES: 濒危野生动植物种国际贸易公约; CMS: 野生动物迁徙物种保护公约; RAMSAR: 国际重要湿地公约。

Fig. 2 Process of the Ecosystem Approach and the One Health framework entering international biodiversity agenda (Adapted from Lajaunie & Mazzega, 2016). CBD, Convention on Biological Diversity; CCD, Convention to Combat Desertification; COP, Conference of the Parties; CITES, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora; CMS, The Convention on Migratory Species; RAMSAR, Ramsar Convention.

要湿地公约》(Ramsar Convention)分别明确了生态系统健康与野生动物和人类健康的关联。

同年,《野生动物迁徙物种保护公约》决定和联合国粮食及农业组织一起成立Task Force on Wildlife Disease并且采用One Health的框架,这也是One Health第一次出现在生物多样性相关的公约决定中(Lajaunie & Mazzega, 2016)。2011年《野生动物迁徙物种保护公约》将野生动物疾病任务组改名为野生动物与生态系统健康任务组,正式应用One Health框架。最终,2014年的《生物多样性公约》第12次缔约方大会确定使用One Health方法来完善野生动物管理,并且明确One Health可以用于解决生物多样性与人类健康问题的重要意义(<https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-12/>)。One Health框架中对于生物多样性的关注,从最初集中在野生动物作为传染源对于家禽家畜和人类健康的影响,发展

到关注一些对人类和家畜有影响的疾病跨物种传播到野生动物的过程(Cleveland et al, 2001)。

3 生物多样性与人类健康的关系

随着更多相关研究的推进,生物多样性与人类健康的联系也更为全面地被科学界认识。整体来说,生物多样性通过保障生态系统服务,包括提供食物、清洁的水和空气、调节气温与降水、减少自然灾害例如洪水的影响、降低传染性疾病预防风险、提高心理健康、增强体内微生物群落健康等方式影响人类的健康(图3)。下文针对生物多样性对传染性疾病、人类基础健康以及特定人群和地区的影响进行重点分析。

3.1 对传染性疾病的影响

(1)稀释效应(dilution effect)与土地利用变化的影响。研究表明,生物多样性可以通过稀释效应来

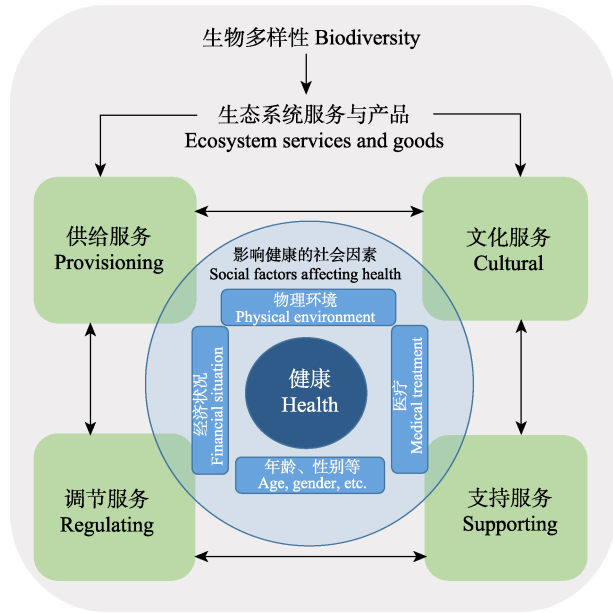


图3 生物多样性、生态系统与健康间的关系

Fig. 3 Relationship between biodiversity, ecosystem and health

降低疾病传播的可能性(Keesing et al, 2010; Rohr et al, 2020)。虽然生物多样性高的地方病原体数量也多,而且哺乳动物多样性也可以作为预测由野生动物引发人兽共患病的重要变量(Jones et al, 2008),但是单一的病原体数量多并不代表风险大,疾病传播过程高度依赖于接触频率(Bonds et al, 2012)。生物多样性可以通过宿主竞争和调节功能降低接触的可能性,提供保护作用(Romanelli et al, 2015)。在生物多样性高的地方,物种丰富度高,物种间相互制约,数量相对稳定且物种均匀度高。在这样的地区,由于宿主密度较低,细菌或是病毒难以在大范围内快速扩散开,可以有效抑制疾病的暴发(Ostfeld & Keesing, 2000; Bonds et al, 2012; Romanelli et al, 2015)。

人类导致的生态系统变化,包括土地利用变化、集约式的农业生产、抗微生物药品使用等,使得传染性疾病的传播的风险和影响增加。土地利用变化是导致野生生物引起的传染性疾病的增加的最主要因素(Romanelli et al, 2015)。在亚马逊流域的研究发现,当因砍伐等人为原因导致森林覆盖率降低4%时,疟疾的发病率提高了50%。因为被砍伐区域的水热条件恰好利于中间宿主蚊子的繁殖(Hahn et al, 2014)。栖息地消失、人类干扰增加、对土地利用的变化直接或间接改变宿主及病媒生物间的接

触频率、改变病媒生物的行为、分布、数量以及宿主群落组成,导致生物多样性的选择性丧失。很多情况下会使得一些不易感的物种数量减少,宿主或是病媒物种增加,从而增加疾病传播的可能性(Romanelli et al, 2015)。人类干扰很多时候并不直接带来物种多样性的变化,而是通过影响群落组成和种群动态导致病原体增加,提高其传播和传染的几率(Dornelas et al, 2014)。稀释效应解释最有效的一个例子就是莱姆病:因为经济发展导致森林消失和破碎化,顶级捕食者例如狼、狐狸、猫头鹰等的数量下降,使莱姆病菌的重要宿主白足鼠(*Peromyscus leucopus*)数量增长,增加了莱姆病通过蜱虫传播到人的可能性(Romanelli et al, 2015)。

当自然生态系统受到破坏,生物多样性下降,导致其保护作用下降。虽然有不少研究支持稀释效应,但是生物多样性下降和栖息地消失与疾病之间的关系并不总是稳定不变或是简单的线性关系,甚至对于单一疾病例如莱姆病来说,这种影响的强度和方向根据环境背景也会有很大的变化(Wood & Lafferty, 2013; Wood et al, 2014)。因此,需要更多的研究来阐明人类干扰-生物多样性-疾病间的关系,这种关系往往随着时间和空间不同而变化。

(2)野生动物贸易。野生动物贸易也会增加疾病传染的可能性。对于野生动物的消费不仅出现在发展中国家,发达国家例如北美和欧洲因为文化或饮食偏好也推动着这个市场的扩大。据统计,每年全球野生动物贸易额在210亿美元(Barrett & Osofsky, 2013),包括非法和合法野生动物的贸易估算在每年3,000亿美元(<http://www.grida.no/graphicslib/detail/>)。随着野生动物利用的增加,与野生动物接触增多所引发的人类健康问题也更为频繁(Romanelli et al, 2015)。很多传染性疾病的产生与野生动物的利用和贸易密切相关,比如食用野生动物和野生动物贸易引起的SARS、捕猎食用灵长类引起的艾滋病、异宠交易带来的猴痘病毒等(Gilbert et al, 2014)。在人类-野生动物-家畜接触频繁的情况下,传染性疾病同时威胁着这三者的健康。例如,高致病性的埃博拉病毒不仅导致高达90%的人类患病者死亡,也导致低地大猩猩(*Gorilla gorilla*)种群快速下降(Olson et al, 2012)。而随着国际贸易增多、跨国运输更为便捷,野生动物合法与非法贸易增加,使得区域甚至全球性传染性疾病的暴发可能性更高。同时,随

着对野生动物需求的增加,外来物种有意或无意的引入,带来了极高的人类健康风险,例如新型过敏反应、野生动物携带新型病原体等。这类风险会随着气候变化和生物入侵过程而加剧。因此,《曼哈顿原则》第五条提出,要减少人类对于野生动物及其制品的需求,以提高自然保护的收益,降低公共卫生的风险(Barrett & Osofsky, 2013)。

3.2 对人类基础健康的影响

(1)老朋友假说(old friends hypothesis)与生物多样性。这个假说认为人类的免疫系统和生存于人类消化系统的微生物协同进化,从而使得这些微生物成为免疫系统的一部分(Von Herzen et al, 2011)。因此,一个健康的免疫系统依赖于这些微生物的多样性,这种依赖性也扩展到人体消化和营养吸收功能上(Romanelli et al, 2015)。人体内共生的微生物多样性取决于环境和物理因素,例如土壤和水的质量等(Karpinets et al, 2018)。环境中的微生物可以补充人体内微生物的多样性和组成,帮助人体更好地适应新的食物及环境(Romanelli et al, 2015)。土壤在这其中尤为重要,不同区域的土壤可以支撑不同的植物根际环境和微生物群落组成,从而帮助人体适应相应的新环境(Karpinets et al, 2018)。但是城市化进程加快、人群与自然环境接触减少、生物多样性丧失以及抗生素等药物滥用,导致人体内微生物多样性降低、免疫系统缺陷与疾病的产生(Romanelli et al, 2015)。对高收入国家城市绿化的研究发现,住在植被覆盖率高的地方的人群,尤其是低收入家庭,人类健康受益非常大。但这种联系可能和更多的锻炼机会无关,而与环境中较高的微生物多样性联系更为紧密(Romanelli et al, 2015)。这些发现都强有力地支持了人类健康与环境因素和生物多样性之间的联系,成为One Health框架重要的理论依据。

(2)生物多样性与医药。生物多样性是研发新的药物和生物医药领域突破不可替代的基础与资源。从1981年到2010年,美国食品药品监督管理局(FDA)批准的抗菌素有75%都来源于自然界,而抗病毒和抗寄生虫药物的比例则更高(Romanelli et al, 2015)。然而,野生植物和动物,尤其是那些可以作为食物和医药资源的物种,因为过度采集或捕猎、栖息地破坏、气候变化等,其种群受到严重威胁。不可持续的野生生物利用不仅影响这些物种,也影

响依赖于这些资源来维持生计和健康的人类社会。另一方面,人类的药物也在反向影响自然环境。很多药物例如激素、抗生素、抗抑郁药物、抗真菌药物以及活性医药成分已经在全世界不同地区的河流和土壤中检测到,影响了野生动物和植物的正常生长和繁殖,降低生物多样性、破坏生态系统和生态系统服务,最终可能会威胁人类健康(Orlando & Guillette, 2007; Cardoso et al, 2014; Romanelli et al, 2015)。

(3)生物多样性与心理健康。经常接触绿色空间(green space)例如公园、森林、绿地的成年人某些疾病的患病率低、不适症状少,尤其是对心理疾病例如抑郁、焦虑和压力缓解效果最强(Sandifer et al, 2015)。抑郁症患者占全球人口的4.3%,超过3亿人,是导致残疾的前十位疾病之一,而女性更容易受到抑郁症的影响(WHO, 2013)。对于儿童及青少年,频繁地接触自然及自然环境中的宠物或野生动物会帮助治疗这些心理疾病(Markevych et al, 2014; Wells, 2014)。接触绿色空间还被证实可以提高住院病人的恢复效果并缩短恢复时间。有些研究认为这可能与接触到更高的微生物多样性以及对于生物多样性的感知提升相关(Shwartz et al, 2014)。同时,城市绿色空间尤其是生物多样性高的同类地区可以提高人类活动水平,减少心血管疾病、提高免疫力、增加预期寿命(Romanelli et al, 2015)。

(4)生物多样性对气候变化下人类健康的影响。气候变化给人类健康带来的影响不可小觑,例如,气候变化引起的热浪导致人体脱水、中风增加;降水、温度以及空气中CO₂浓度的变化影响农作物生长,造成减产,加重贫困和偏远地区的人群营养不良等现象(Butler, 2014)。生物多样性可以提高生态系统的韧性,降低灾害的影响,尤其是在气候变化的背景下,生物多样性可以帮助人类社会适应并应对相关健康风险(Huxham et al, 2010; McIvor et al, 2013)。

3.3 生物多样性对贫困地区的影响

全球保护地维系着周边超过10亿居民的生计(Bertzky et al, 2012)。这些地区生活着世界上最贫穷的一些人群,由于缺乏医疗支持(Cincotta et al, 2000; Patz et al, 2012),他们的健康非常依赖于生态健康和生态系统服务的稳定。生物多样性为这些贫穷的人群提供了应对食物安全、环境灾害和健康风险等

最为经济有效的保障(McShane et al, 2011)。生物多样性和自然生态环境持续恶化,对于很多生活在农村以及发展中地区的人来说,就意味着健康和可持续经济增长的危机。因此在生物多样性高的地区以及荒野周边建立健全公共卫生体制,明确生物多样性保护的意义,会为人类健康以及可持续发展提供重要保障。

4 中国应用One Health框架需增强生物多样性保护与人类健康间的关系

One Health重视多部门、跨领域合作来解决动物-环境-人类健康问题(Wu et al, 2016),应作为我国应对公共健康风险与生物多样性保护的重要框架。这次新冠肺炎的暴发,暴露出我国在野生动物和公共卫生研究与管理上的缺陷,即缺乏对生物多样性保护与公共健康间联系的重视。野生动物管理部门对于野生动物疫源疫病的监控还很薄弱,通常在出现大面积动物个体死亡时,才开始进行调查和干预,但这个时候往往疾病已经严重威胁到野生动物生存,并存在跨物种向家禽家畜及人类传播的可能性。对于人工繁育的野生动物,原来的许可证制度没有考虑潜在的对人类健康及生物安全的影响,对于是否具有成熟养殖技术以及是否具有相应卫生及防疫条件缺乏核查。同时兽医主管部门缺乏针对野生动物的检验检疫标准,一些野生动物按照同类的家禽家畜标准来检疫,例如雉鸡按照家禽来检疫,但蛙类、龟鳖、竹鼠等野生动物则根本没有检疫标准,直接进入市场,无法保障食品安全及公共卫生。对于兽医行业及主管部门来说,需要加强对野生动物医学的投入及重视。目前,大部分野生动物兽医人才都集中在动物园,而在基层野生动物主管部门、兽医主管部门或是研究部门的人员都非常匮乏。尤其是在动物疫源疫病监测和检验检疫方面,明显缺乏技术支持和专业兽医人才。由于一直缺乏对于野生动物与公共卫生联系的考虑,无论是检验检疫标准的制定、防疫的要求还是市场监管,都缺乏关注和投入。此时,推动One Health的理念与框架,明确人类、动物和环境的健康息息相关变得尤为必要。不同部门和学科需要加强合作,进行整体规划、研究和政策实施。

中国作为生物多样性最为丰富的国家之一,同时也面临着巨大的社会与经济发展需求,这导致土

地利用变化、森林及湿地等生态系统功能退化、野生生物栖息地丧失与破碎化。由于市场需求,对野生动植物偷盗的现象屡禁不止,非法野生动物贸易造成中华穿山甲(*Manis pentadactyla*)等物种野外种群急剧下降,威胁着物种的长期生存(Wu et al, 2016)。虽然近些年在生物多样性保护方面投入有所增强,但是仍面临巨大的挑战,无法获得公众和各级政府的充分重视。对生物多样性与人类健康联系的不不断认知,可以促进环境作为人类健康的重要基础和保障的公众认可,平衡保护与发展间的关系。很多情况下,可以通过生物多样性保护带来有益于人类健康的协同效应,但某些时候也需要进行两者间的平衡取舍。这不仅涉及到一个学科的研究和推进,也需要通过包括经济学、社会学、政策等其他学科间的协作,来了解其内在联系和建立完整的管理及干预体制。

应用One Health框架,首先可以通过加强环境保护管理、医学及公共卫生领域的合作,加强动物源性疾病的预防、控制相关政策和措施的实施,来保障公共卫生。公共卫生部门作为One Health框架下最重要的一个部分,需要重视其他部门例如野生动物主管部门、兽医部门、保护地管理部门等的作用,增强跨部门的合作(庞素芬和袁丽萍, 2015)。同时,需要将干预措施前移,制订预防性政策,考虑生态系统服务及生物多样性对人类健康的影响及其相应的市场价值。通过成本效益更好的综合性的疾病监测体系,来追踪监测野生动物、家畜家禽和人类的健康状况,建立提前预警系统,降低疾病暴发带来的巨大社会经济损失。这需要加强对野生动物兽医人才的培养、加强对于野生动物的疫源疫病监测与联动机制,并减少对于野生动植物资源的利用及栖息地的破坏,以降低潜在在人类健康风险(Zowalaty & Jarhult, 2020)。针对《中华人民共和国野生动物保护法》,需要进行修改并明确野生动物保护的意义应包括保障公共卫生与安全。应及时更新保护名录,根据物种野外种群变化和疫源疫病风险,严格管控野生动物利用范围和形式。《中华人民共和国动物防疫法》应补充野生动物相应内容与规定,在有相应检疫标准的前提下,才可以允许人工繁育野生动物。同时,要加强对于市场监管与执法的力度,保障野生动物利用的可持续性并降低带来的人类健康风险。对于经常接触野生动物的从业

者、经常进入野外活动的人与家禽家畜,应当加强相应疾病监测,降低由人及家养动物向野生动物传播疫病的可能性。

目前国内针对One Health的讨论主要集中在公共卫生领域,针对野生动物和生物多样性的研究和关注还非常缺乏。同时,由于COVID-19的影响,现有的讨论也主要集中在野生动物利用上面。但是,生态环境、野生动物和人类健康间的关系不仅局限于传染性疾病这一点,在社会老龄化、心理疾病增多、环境污染影响加剧、气候变化等大趋势下,关注点需从野生动物扩展到生物多样性及生态健康对于人类健康的影响。生物多样性与人类健康间的关系错综复杂,很多情况下也存在中间调控因子,两者的变化及关联在时间与空间上经常有差异,从而导致无法准确判别和量化两者间的联系(Romanelli et al, 2015)。因此从研究角度出发,需要填补生物多样性与人类健康关系的空缺来完善One Health的框架及实现途径。以下5点应作为研究的重点:

(1)确定不同生态系统及生物多样性维度对于人类健康的影响及途径。已有很多研究量化植被的影响,但是针对生态系统类型和生物多样性的研究非常匮乏(Romanelli et al, 2015)。未来的研究需要突破人类健康领域对于生物多样性关注的局限性,引入生物多样性的其他维度,例如功能多样性与系统发育多样性的概念。针对城市生态系统,量化不同生物多样性指标及物种组成带来的人类健康影响,通过城市生态及景观规划达到One Health的目标。

(2)确定及量化土地利用变化与栖息地消失导致的人类健康影响。影响的指标包括但不局限于不同人体生理指标、疾病患病率如传染性疾病及慢性疾病、生育率、新生儿健康状况、心理健康(压力、抑郁、焦虑等)、死亡率、预期寿命等。同时,研究并阐述其影响的途径和中间调控因素、时间及空间影响尺度。

(3)融合景观生态学与健康研究。One Health注重环境、动物及人类健康之间的联系,而这种联系很大程度上有空间特异性并且依赖于景观尺度上的生态过程。因此,未来的研究需要引入并加强景观生态学的研究角度及方法,确定景观格局对于物种分布影响导致的疾病传播变化、不同健康影响途径的空间尺度、空间格局特征及依赖的生态系统过程等。

(4)根据生态系统服务、生物多样性分布及这两者与人类健康的关系,对新发疫病、传播路径及暴发地区进行空间预测。在此过程中,探究不同影响因素如气候变化、土地利用改变、其他人类干扰形式(捕猎、捕捞、放牧、运输路线等)可能导致的人类健康影响并进行及时预测。

(5)气候变化导致的生物多样性改变对于人类健康的影响。气候变化对人类健康的直接影响相对关注较多,但是由于气候变化导致的物种分布及数量变化、动物迁徙路线的改变、生物群落组成改变、物种生命周期及行为改变等也会对人类健康产生不可忽视的影响(Romanelli et al, 2015)。因此,需要加强对于这方面的研究,预测其交互作用对不同健康指标的影响。

其中,(1)的推进可以为预警系统提供监测指标,(2)–(4)在空间尺度上进行规划和预测,推进更为精准的防控,(5)将这个框架放到动态变化中进行研究,提高监测和响应的灵活性与准确性。

这些研究方向将有利于建立更为精准的One Health监测体系和响应机制,根据生物多样性和环境的变化确定重点区域,减少对关键生态系统服务地区及物种栖息地的破坏,加强相应疫源疫病的监测,根据气候变化和人类干扰方式与强度变化,提前预警可能产生的人类健康危机。同时,把生物多样性保护作为基于自然的解决方案来推动人类健康问题的解决。

参考文献

- Barrett MA, Osofsky SA (2013) One Health: Interdependence of people, other species, and the planet. In: Jekel's Epidemiology, Biostatistics, Preventive Medicine, and Public Health, 4th edn (eds Katz DL, Elmore JG, Wild DMG, Lucan SC), pp. 364–377. Elsevier/Saunders, Philadelphia.
- Bertzky B, Corrigan C, Kemsey J, Kenney S, Ravilious C, Besançon C, Burgess N (2012) Protected Planet Report 2012: Tracking Progress Towards Global Targets for Protected Areas. United Nations Environment Programme's World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC), Cambridge.
- Bonds MH, Andrew PD, Donald CK (2012) Disease ecology, biodiversity, and the latitudinal gradient in income. *PLoS Biology*, 10, 12.
- Bonilla-Aldana, DK, Dhama K, Rodriguez-Morales AJ (2020) Revisiting the One Health approach in the context of COVID-19: A look into the ecology of this emerging disease. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 8, 234–237.

- Butler CD (2014) Climate change and global health: A new conceptual framework—Mini review. *CAB Reviews*, 9, 027.
- Cardoso O, Porcher JM, Sanchez W (2014) Factory discharged pharmaceuticals could be a relevant source of aquatic environment contamination: Review of evidence and need for knowledge. *Chemosphere*, 115, 20–30.
- Cincotta RP, Wisniewski J, Engelman R (2000) Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*, 404, 990–992.
- Cleaveland S, Borner M, Gislason M (2014) Ecology and conservation: Contributions to One Health. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 33, 615–627.
- Cleaveland S, Laurenson MK, Taylor LH (2001) Diseases of humans and their domestic mammals: Pathogen characteristics, host range and the risk of emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 356, 991–999.
- Dornelas M, Gotelli NJ, McGill B, Shimadzu H, Moyes F, Sievers C, Magurran AE (2014) Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. *Science*, 344, 296–299.
- FAO, OIE, WHO, UN System Influenza Coordination, UNICEF, the World Bank (2008) *Contributing to One World, One Health: A Strategic Framework for Reducing Risks of Infectious Diseases at the Animal-Human-Ecosystems Interface*. Geneva.
- Gibbs EPJ (2005) Emerging zoonotic epidemics in the interconnected global community. *Veterinary Record*, 157, 673–679.
- Gibbs EPJ (2014) The evolution of One Health: A decade of progress and challenges for the future. *Veterinary Record*, 174, 85–91.
- Gilbert M, Golding N, Zhou H, Wint GRW, Robinson TP, Tatem AJ, Lai S, Zhou S, Jiang H, Guo D, Huang Z, Messina JP, Xiao X, Linard C, Boeckel TP, Martin V, Bhatt S, Gething PW, Farrar JJ, Hay SI, Yu HJ (2014) Predicting the risk of avian influenza A H7N9 infection in live-poultry markets across Asia. *Nature Communications*, 5, 4116.
- Hahn MB, Gangnon RE, Barcellos C, Asner GP, Patz JA (2014) Influence of deforestation, logging, and fire on Malaria in the Brazilian Amazon. *PLoS ONE*, 9, e85725.
- Huxham M, Kumara MP, Jayatissa LP, Krauss KW, Kairo J, Langat J, Mencuccini M, Skov MW, Kirui B (2010) Intra- and interspecific facilitation in mangroves may increase resilience to climate change threats. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2127–2135.
- Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, Daszak P (2008) Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990–993.
- Karpinets TV, Vancheswaran G, Wargo J, Futreal AP, Christopher WS, Zhang J (2018) Linking associations of rare low-abundance species to their environments by association networks. *Frontiers in Microbiology*, 9, 297.
- Keesing F, Belden LK, Daszak P, Dobson A, Harvell CD, Holt RD, Hudson P, Jolles A, Jones KE, Mitchell CE, Myers SS, Bogich T, Ostfeld RS (2010) Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*, 468, 647–652.
- Lajaunie C, Mazzega P (2016) One Health and biodiversity conventions. The emergence of health issues in biodiversity conventions. *IUCN Academy of Environmental Law eJournal*, 7, 105–121.
- Lajaunie C, Morand S (2015) A legal tool for participatory methods in land systems science: The Thai model of Health Impact Assessment and the consideration of zoonotic diseases concerns into policies. *GLP Newsletter*, 11, 30–33.
- Mace GM, Norris K, Fitter AH (2012) Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends in Ecology and Evolution*, 27, 19–26.
- Markevych I, Tiesler CM, Fuertes E, Romanos M, Dadvand P, Nieuwenhuijsen MJ, Berdel D, Koletzko S, Heinrich J (2014) Access to urban green spaces and behavioural problems in children: Results from the GINIplus and LISAPlus studies. *Environment International*, 71, 29–35.
- McIvor AL, Möller I, Spencer T, Spalding M (2013) Mangroves as a sustainable coastal defence. In: *Proceeding of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts, APAC 2013*, pp. 956–963. Bali, Indonesia.
- McShane TO, Hirsch PD, Trung TC, Songorwa AN, Kinzig A, Monteferri B, Mutekanga D, Thang HV, Dammert JL, Pulgar-Vidal M, Welch-Devine M, Brosius JP, Coppolillo P, O'Connor S (2011) Hard choices: Making trade-offs between biodiversity conservation and human well-being. *Biological Conservation*, 144, 966–972.
- Nie EQ, Xia Y, Wang T, Lu JH (2016) One Health—A new approach to control emerging infectious diseases. *Journal of Microbes and Infection*, 11, 3–7. (in Chinese with English abstract) [聂恩琼, 夏尧, 汪涛, 陆家海 (2016) One Health——应对新发传染病的新理念. *微生物与感染*, 11, 3–7.]
- Olson SH, Reed P, Cameron, KN, Ssebide BJ, Johnson CK, Morse SS, Karesh WB, Mazet JAK, Joly DO (2012) Dead or alive: Animal sampling during Ebola hemorrhagic fever outbreaks in humans. *Emerging Health Threats Journal*, 5, 9134.
- Orlando EF, Guillette JLJ (2007) Sexual dimorphic responses in wildlife exposed to endocrine disrupting chemicals. *Environmental Research*, 104, 163–173.
- Ostfeld RS, Keesing F (2000) The function of biodiversity in the ecology of vector-borne zoonotic diseases. *Canadian Journal of Zoology*, 78, 2061–2078.
- Pang SF, Yuan LP (2015) Version and practice of OIE “One Health”. *China Animal Health Inspection*, 32(10), 58–60. (in Chinese with English abstract) [庞素芬, 袁丽萍 (2015) 世界动物卫生组织“同一健康”理念和实践. *中国动物检疫*, 32(10), 58–60.]

- Patz J, Corvalan C, Horwitz P, Campbell-Lendrum D, Watts N, Maiero M, Olson S, Hales J, Miller C, Campbell K, Romanelli C, Cooper D (2012) Our Planet, Our Health, Our Future. Human health and the Rio conventions: Biological diversity, climate change and desertification. WHO, Geneva.
- Rohr JR, Civitello DJ, Halliday FW, Hudson PJ, Lafferty KD, Wood CL, Mordecai EA (2020) Towards common ground in the biodiversity–disease debate. *Nature Ecology and Evolution*, 4, 24–33.
- Romanelli C, Cooper D, Campbell-Lendrum D, Maiero M, Karesh WB, Hunter D, Golden CD (2015) Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health: A State of Knowledge Review. World Health Organization & Secretariat of the UN Convention on Biological Diversity.
- Romanelli C, Cooper HD, de Souza Diaz BF (2014) The integration of biodiversity into One Health. *Revue Scientifique et Technique*, 33, 487–496.
- Sandifer PA, Sutton-Grier AE, Ward BP (2015) Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 12, 1–15.
- Shwartz A, Turbe A, Simon L, Julliard R (2014) Enhancing urban biodiversity and its influence on city-dwellers: An experiment. *Biological Conservation*, 171, 82–90.
- Von Hertzen L, Ilkka H, Tari H (2011) Natural immunity. *EMBO Reports* 12, 11, 1089–1093.
- Wells NM (2014) The role of nature in children’s resilience: Cognitive and social processes. In: *Greening in the Red Zone* (eds Tidball KG, Krasny ME), pp. 95–109. Springer, Dordrecht.
- Wilcox BA, Gubler DJ (2005) Disease ecology and the global emergence of zoonotic pathogens. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 10, 263–272.
- Wood CL, Lafferty KD (2013) Biodiversity and disease: A synthesis of ecological perspectives on Lyme disease transmission. *Trends in Ecology and Evolution*, 28, 239–247.
- Wood CL, Lafferty KD, DeLeo G, Young HS, Hudson PJ, Kuris AM (2014) Does biodiversity protect humans against infectious disease? *Ecology*, 95, 817–832.
- World Health Organization (WHO) (2013) *Mental Health Action Plan 2013–2020*. World Health Organization, Geneva.
- Wu J, Liu L, Wang G, Lu J (2016) One Health in China. *Infection Ecology & Epidemiology*, 6, 33843.
- Zowalaty ME, Järhult JD (2020) From SARS to COVID-19: A previously unknown SARS-CoV-2 virus of pandemic potential infecting humans—Call for a One Health approach. *One Health*, 100124.

(责任编辑: 华方圆 责任编辑: 黄祥忠)



•综述•

多学科视角下的野生动物消费需求 和消费行为研究进展

梁智健^{1,2#} 胡佳贝^{1,2#} 胡思帆^{1,2} 赵晶晶^{1,2} 周凯文^{1,2} 焦运波³
黄程^{1,2} 何霞^{1,2} 温嘉恩^{1,2} 李立姝⁴ 华方圆⁵ 李添明^{1,2,6*}

1 (中山大学生命科学院, 广州 510275)

2 (中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广州 510275)

3 (中山大学法学院, 广州 510275)

4 (野生生物保护学会, 北京 100012)

5 (北京大学城市与环境学院生态研究中心, 北京 100871)

6 (中山大学生态学院, 广州 510006)

摘要: 全球持续扩张的野生动物消费需求和相关非法贸易是生物多样性保护的重要威胁之一。近期新冠肺炎疫情暴发, 野生动物贸易和食用的公共卫生安全风险也引起了社会各界的关注。本文从社会学、心理学、行为科学等多学科的视角分析和理解我国野生动物消费的需求动因, 提出科学的行为改变对策。从我国野生动物消费现状来看, 功能性、社会性和体验性等非生活必需性需求凸显, 并受复杂因素影响。基于对需求动因的理解, 运用合适的行为改变框架, 以及宣传教育、社会影响、法律规范和行为助推等多种行为改变方法, 通过科学系统的阶段和步骤, 可有效地影响和改变野生动物消费行为。行为改变对策的实施需在具体情境下加强合作, 重视多学科运用、多主体合作和多尺度考虑。

关键词: 野生动物非法贸易; 需求动因; 减少需求; 行为改变; 多学科合作

Understanding and changing wildlife consumption behavior from a multidisciplinary perspective

Zhijian Liang^{1,2#}, Jiabei Hu^{1,2#}, Sifan Hu^{1,2}, Jingjing Zhao^{1,2}, Kaiwen Zhou^{1,2}, Yunbo Jiao³, Cheng Huang^{1,2}, Xia He^{1,2}, Anita Kar Yan Wan^{1,2}, Lishu Li⁴, Fangyuan Hua⁵, Tien Ming Lee^{1,2,6*}

1 School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

2 State Key Laboratory of Biological Control, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

3 School of Law, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

4 Wildlife Conservation Society, Beijing 100012

5 Institute of Ecology, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871

6 School of Ecology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006

Abstract: Escalating global demand for wildlife products and consequential illegal wildlife trade has become one of the major threats to biodiversity conservation. In the recent COVID-19 pandemic, growing public health risks of wildlife trade and consumption have triggered widespread public concern. In this review, we adopt a multidisciplinary perspective, including sociology, psychology, behavioral science and other disciplines, to understand the motivations for wildlife consumption in China, and to propose scientifically guided behavioral change countermeasures. The current state of wildlife consumption in China reveals certain functional, social, experiential and other non-essential needs of wildlife as major drivers of consumption, which are affected by a host of complex factors. Based on our understanding of the drivers of

收稿日期: 2020-04-01; 接受日期: 2020-05-19

基金项目: 海外高层次人才计划(41180944; 41180953)、广东省财政厅局级人才项目(42150016)、中山大学青年教师培育项目(20wkpy08)和欧盟委员会项目(ENV/2018/403-527)

共同第一作者 Co-first authors

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: leetm@mail.sysu.edu.cn

demand, we suggest using behavioral change frameworks, and a variety of behavioral change methods, including education, social influence, regulation and nudging, to effectively influence and change wildlife consumption behavior. For effective implementation of behavioral change strategies, collaboration needs to be strengthened, both among and across diverse disciplines, actors and scales of interest.

Key words: illegal wildlife trade; drivers of demand; demand reduction; behavioral change; multidisciplinary collaboration

野生动植物资源是自然生态系统的基本组成部分,也是人类赖以生存和发展的物质基础(Solís & Casas, 2019)。过去数十年来,受全球持续扩张的市场需求和非法贸易低风险、高收益特性所驱动,野生动物国际合法和非法贸易增长迅猛(UNODC, 2016; Harfoot et al, 2018)。过度利用和非法贸易不仅直接威胁濒危物种生存和生物多样性保护(Hughes, 2017; 王文霞等, 2017),而且可能导致疫病传播(Rosen & Smith, 2010)和外来物种入侵(Arena et al, 2012),危害地区和国家生态、公共卫生安全。野生动物贸易的管控因此不仅是自然资源利用的问题,更是全球尺度的社会问题(Brashares et al, 2014),需要多学科尤其是社会科学的运用以更好地理解 and 应对其复杂性(t Sas-Rolfes et al, 2019)。

2019年底暴发的新型冠状病毒肺炎疫情引发社会对野生动物贸易和食用潜在风险的关注,也凸显了打击野生动物非法贸易和规范引导野生动物消费行为的必要性。传统上应对野生动物非法贸易的手段主要集中在贸易链的供应端,如对市场的规范管理和执法打击。然而,近年来相关研究和保护实践越来越多地强调针对终端消费者的干预策略的重要性(UNEP, 2014; Thomas-Walters et al, 2020)。因此,本文围绕供应链的消费端就中国野生动物消费问题总结新现状、新理解和新对策,为野生动物保护实践提供更多科学的参考。

1 我国野生动物贸易及消费需求现状

在当前全球跨国跨区域的野生动物贸易链条中,我国是主要的消费国和贸易目的地之一(Nijman, 2010; UNODC, 2010)。近年来,随着我国经济实力和国人消费能力的大幅提升,加上传统野生动物消费文化以及“以商业繁育和利用促进野生动物保护”(赵学敏, 2004)的国家政策等多重影响,我国野生动物消费市场正经历快速的扩张。因栖息地破坏、非法猎捕和过度利用、环境污染等原因,国内野生动

物野外资源急剧减少(国家林业局, 2007–2016)。为填补供应缺口,我国部分市场需求逐渐转向国内人工繁育、国外合法进口和非法走私入境的野生动物。

2000–2016年间,全国注册的商业性野生动物驯养繁殖单位从6,057家增加到7,958家,年产值达到550亿元(国家林业局, 2007–2016)。2007–2016年间,我国进口受《濒危野生动植物种国际贸易公约》(The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)管制的野生动物,其总贸易额从2.6亿元上涨到14.5亿元(国家林业局, 2007–2016)。同期进口的哺乳类、两爬类、鸟类和鱼类的活体及其衍生物的WOEs^①数量也从28万个增加到58万个(数据来源: CITES Trade Database, <https://trade.cites.org/>)。近十余年我国野生动物非法走私一直屡禁不止,2010–2016年间案件数量逐渐增长,在2016年案件数量达到61件(王文霞等, 2019)。

与供应端情况相对应的是国内消费端需求的增长。在2004年与2012年在中国的5个城市(北京、上海、广州、昆明、南宁)进行的两次野生动物消费问卷调查中,均有约30%的受访者表示曾有过野生动物消费行为,其主要的需求类型包括食用、药品与补品、工艺品与纪念品、服装与饰品和宠物(Zhang et al, 2008; Zhang & Yin, 2014)。其中,食用是广州和南宁最主要的野生动物需求类型。国内野生动物人工养殖的调查数据证实食用正逐渐成为一些地方养殖产业发展的主要驱动力。例如,浙江省的食用类野生动物养殖单位数量占全省养殖单位总数的90%以上(朱桂寿等, 2008)。在云南德宏州,人工养殖的以食用为主要目的的蛇类和竹鼠的存栏数占全州人工养殖野生动物总存栏数的83% (李宏刚等, 2019)。在进口贸易方面,动物毛皮和宠物/观赏

^① WOEs (Whole-organism equivalents, 有机体): 一种转换单位,帮助人们理解不同种类的野生动物制品的贸易数量。例如一张完整北极狐毛皮被假设等于一个北极狐有机体,4只非洲狮爪等于1个非洲狮有机体。具体的WOEs的转换方法可以参见Harfoot等(2018)。

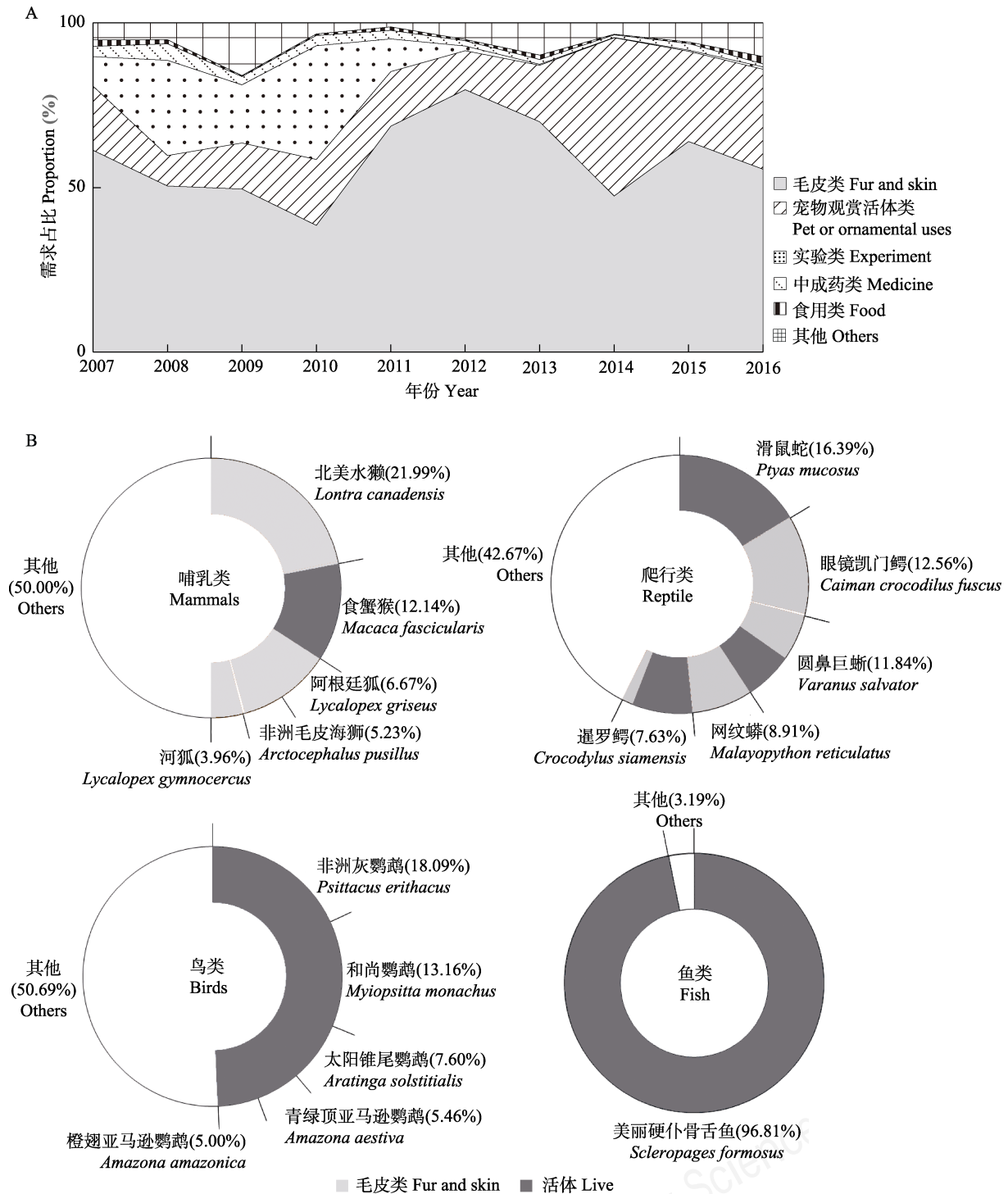


图1 我国野生动物进口主要需求类型和贸易物种。图A表示2007-2016年我国进口野生动物及其衍生物在动物毛皮、药用、食用(含保健品)、实验动物、宠物或观赏5个方面的占比逐年变化情况(数据来源于国家林业局);图B用圆环扇区大小表示各类野生动物主要贸易物种的占比(数据来源于CITES Trade Database, <https://trade.cites.org/>)。2007-2016年间,我国两栖类合法进口数量极少,10年间WOEs合法进口总数不足3,000个。

Fig. 1 Major demand types and traded species of China's wildlife import. (A) shows the annual change in proportion of wild animals and their derivatives imported into China between 2007 and 2016. Data is categorized into five trade commodity types—animal fur, medicinal, edible (including health care products), experimental animals, pets or ornamental uses (data retrieved from the State Forestry Administration); (B) shows the proportion of major traded species by sector size and the major trade commodity types (data retrieved from CITES Trade Database, <https://trade.cites.org/>). Between 2007 and 2016, the volume of China's legal amphibian import is very small, with total number of WOE's less than 3,000.

动物活体常年是我国野生动物进口的大类,过去十年,年度贸易额占总体野生动物进口的平均份额分别为58%和21%,而实验类动物进口额呈逐年下降趋势(图1A)。在进口的各类野生动物中,哺乳类以毛皮和实验动物活体为主,如北美水獭(*Lontra canadensis*)和食蟹猴(*Macaca fascicularis*);爬行类以用于皮革和乐器蒙皮原料以及混合用途的鳄鱼、蛇类和龟鳖类活体为主;鸟类以鹦鹉目活体为主,如多用于观赏的非洲灰鹦鹉(*Psittacus erithacus*);作观赏用途的美丽硬仆骨舌鱼,俗称金龙鱼(*Scleropages formosus*)自2005年起取代鲟鱼类成为我国鱼类进口的主要物种,占鱼类进口总数的97%(图1B)。与合法市场需求结构相比较,我国非法野生动物贸易涉及的物种主要包括装饰用、食用和药用的象牙、犀牛角、穿山甲(穿山甲肉、穿山甲片)、熊掌、虎(虎骨、虎皮)、豹(豹皮),以及蛇、蜥蜴和龟鳖类活体等高价值或大宗的野生动物及其衍生物(Jiao, 2016)。

综上所述,近20年来,在消费端食用、毛皮用、宠物或观赏用等需求的刺激下,我国国内以及和贸易来源国、中转国之间的贸易量在大幅增长,伴随而来的滥捕滥猎和非法贩运也相应增长。应对野生动物贸易的可持续性和非法贸易及其滋生的非传统安全风险,需要从根本上减少市场需求,特别是食用野味、消费异宠等非生活必需的、高公共健康风险的需求。因此,需要了解此类需求背后的社会心理动因及相关影响因素,以此为改变野生动物消费行为提供理论支撑。

2 理解野生动物消费需求的社会心理动因

野生动物消费通常是从消费者个体需求产生和驱动到行为决策和实施的过程(图2)。首先,消费者的需求多样,且受复杂因素影响(Schiffman & Wisenblit, 2019; Thomas-Walters et al, 2020)。其次,消费者购买野生动物或其制品来满足其特定需求,主要基于对野生动物及其制品功能特性的认知,而此类认知又多与消费者所处的社会和文化背景紧密相关(Davis et al, 2019)。最后,消费者最终的行为决策和实施又受到诸如法律、政策等外部因素的影响(Sung & Fong, 2018)。理解消费者的需求偏好、行为决策及其影响因素,对制定有效的推动消费者行为改变的措施十分关键。而社会科学视角如历史

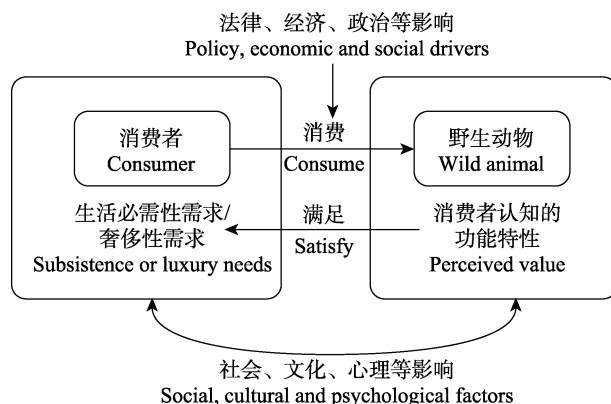


图2 野生动物消费的过程及影响因素

Fig. 2 Process and factors affecting wildlife consumption

学、社会学、心理学可以帮助更全面地理解消费需求和行为的决策过程(‘t Sas-Rolfes et al, 2019)。

从动因角度可以将野生动物消费的需求分为不同类别。Thomas-Walters等(2020)系统性地将其分为功能性、社会性、经济性、体验性和精神性等类别。文化、传统或习俗等往往会对消费需求产生影响,在具体情境下可能体现为上述不同的类别。例如受传统文化影响的犀牛角消费,当被用作中药时体现的是功能性需求,而作为礼物赠与他人时更多反映了社会性需求(Willemsen & Nguyen, 2017)。近年来我国民众对野生动物及其制品的非生活必需性消费不断增长,并突出体现了三类社会心理需求的驱动——功能性需求、社会性需求和体验性需求(Wasser & Jiao, 2010)。

2.1 功能性需求

受功能性需求主导的消费者追求野生动物产品的营养、保健或治疗等功能(Thomas-Walters et al, 2020)。例如非洲的丛林肉市场为当地提供食物来源(Brashares et al, 2011),而熊胆产品、穿山甲鳞片等被用于传统中药(Feng et al, 2009; Xu et al, 2016)。在我国,许多关于野生动物的食补和药用价值理念植根于传统的饮食和中医文化。长辈、家人、朋友以及消费者之间的口碑传播也是个体关于野生动物保健和药用功效信息的重要来源(Davis et al, 2019)。除此之外,媒体有意无意中也参与了消费观念的强化,例如一些旅游和烹饪节目对野生动物制品功效的展示(Wasser & Jiao, 2010)。基于传统理念或者他人经验,消费者对野生动物功能特性的认知可能是刻板、片面、不科学的。例如,穿山甲鳞片的药用功效虽是从古代医药著作传承下来的,却已被科学

证伪(Challender et al, 2015), 而消费者对穿山甲野生种群状况和维护生态平衡等方面的生态价值仍所知甚少。又例如, 消费者普遍认为野生来源的动物产品比人工繁育来源的功效更好, 因而即使在市场有充足替代品的情况下, 仍偏好选择野生来源的产品; 这种观念和态度直接导致野生来源的动物产品价格和利润相比于人工来源产品要高出许多, 也因此给野生动物种群带来极大压力(Dutton et al, 2011; 刘钊等, 2017)。

2.2 社会性需求

以往调查显示, 传统佳节聚会和商业聚会是野生动物消费的两个重要场合(Wasser & Jiao, 2010), 这凸显了野生动物消费需求的社会性一面。一些野生动物产品被赋予了财富、地位或权力等社会属性以及象征意义, 可以满足消费者的虚荣心(俗称的“面子”), 进而刺激了大量对野生动物产品的奢侈性消费(Wasser & Jiao, 2010; Drury, 2011)。一项关于象牙消费的研究表明炫耀财富和地位是驱动对象牙需求的因素之一(GlobeScan & National Geographic Society, 2015); 类似地, 鱼翅作为中国传统的名贵食品之一, 在一些地区的婚宴等场合中较为流行, 被认为能体现消费者的经济实力(Cheung & Chang, 2011)。除“面子”外, 社会性需求还可能反映“人情”。人情是可交换的资源。野生动物奢侈性消费中很大一部分是源于通过请客送礼来建立和拓展社会关系网, 为日后的社会资本转换成经济资本做准备(Drury, 2011; Lin, 2017)。近期在越南的一项研究发现, 熊胆产品通常被用作礼物赠与他人(Davis et al, 2019); 国内对海鲜餐饮消费的调查也显示, 高价的海鲜消费被商业群体视为拓展关系、获取商业机会的途径之一(Fabinyi & Liu, 2014)。野生动物消费的社会性需求在人际交往中不断强化, 甚至在某些社会群体里演变成为一种潜规则, 对群体的成员形成压力, 使其不得不接受这种规则(Drury, 2011)。有调查显示, 40%的受访者表示野味在商业圈子里无可避免(Wasser & Jiao, 2010); 有的受访者也表示参加宴会时, 受到主人和在场宾客的压力不得不吃野味, 以表示对主人的尊敬(Fabinyi et al, 2016; Margulies et al, 2019)。此种情景下的消费行为已不再是需求驱动, 而是由社会规范主导。

2.3 体验性需求

体验性需求指为了获得感官愉悦或满足好奇

心、刺激感而进行消费(Thomas-Walters et al, 2020)。食用野生动物、穿着动物毛皮服饰和旅游业中的野生动物消费体验都与这种需求相关(Curtin, 2005; Downes, 2018)。与此同时, 随着全球的异宠市场日趋兴起, 消费者对异宠体验的需求驱动了数百种野生动物的合法或非法交易, 其中涉及大量的濒危物种(Bush et al, 2014)。例如, 某些灵长类动物在我国被作为宠物进行非法交易, 其中懒猴(*Nycticebus bengalensis*)因其独特的外表而备受青睐(Ni et al, 2018)。随着互联网和新媒体的发展, 猎奇性的消费越来越多地暴露在人们的视野中, 一定程度上驱动野生动物产品的体验性消费在年轻人群中成为新的时尚。

3 改变野生动物消费行为的对策

在理解野生动物消费需求的基础上, 为减少非生活必需性需求, 实现消费行为的改变, 需要运用多种方法进行行为干预, 包括宣传教育、社会影响、法律规范和行为助推等。同时, 需要应用社会心理学、行为经济学等多学科理论, 制定可有效实施、推广、评估反馈及灵活改进的行为改变框架。在设计、选择和运用这些方法和框架的过程中, 还需考虑一系列基本原则(图3)。

3.1 行为改变方法

3.1.1 宣传教育

宣传教育被普遍用于减少野生动物消费, 尤其是针对信息或知识缺乏情况下的消费行为(Daut et al, 2015)。如瑞尔保护协会(Rare)发起的一系列生物多样性保护活动(Pride Campaigns), 通过海报、歌曲、社区宣传等多种形式提高人们对本土物种的认知和自豪感, 同时普及相关的法律知识, 有效减少了当地的贸易需求, 目前已在56个国家取得成果(Jenks et al, 2010; Butler et al, 2013)。其中, 一项成效评估研究表明, 在荷兰Bonaire岛的黄肩亚马逊鸮(*Amazona barbadensis*)保护活动中, 校园环境教育、社会营销活动和法律规范相比于其他因素更能降低盗猎以及对这种鸮的宠物消费需求, 有效地促进其种群数量的恢复(Salazar et al, 2019)。

然而并非所有宣传活动均可改变野生动物消费行为, 因为后者还受到社会情境、政策、文化以及消费者对宣传内容的信任程度等的影响(Olmedo et al, 2018)。因此, 利用宣传教育的方法对野生动物

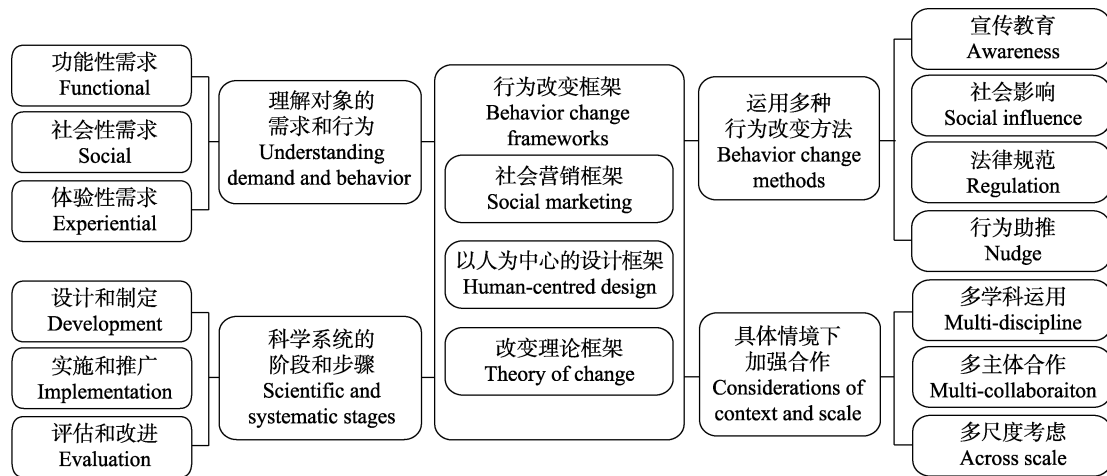


图3 改变野生动物消费行为的框架、原则与方法
Fig. 3 Framework, principles, and methods for changing wildlife consumption behaviors

消费行为进行干预, 需要应用科学的行为改变理论, 区分消费者的目的和动机、细化宣传目标群体、给予针对性的宣传内容(McKenzie-Mohr & Schultz, 2014; Veríssimo & Wan, 2018; McNamara et al, 2019)。具体来讲, 针对功能性需求, 可通过有效普及科学知识, 改变消费者对野生动物特殊功能的片面理解。例如使用“犀牛角等同于你的指甲”这样的宣传词。针对社会性消费需求, 可建立消费者与野生动物的情感联系, 激发共情心理, 抑制消费行为产生。例如国际爱护动物基金会(International Fund for Animal Welfare)开展的公益广告宣传“妈妈, 我长牙了”, 通过拟人化的描述, 使消费者知晓象牙只能来源于被猎杀或死亡后的大象。相关评估显示, 浏览广告后66%的象牙消费者明确表示不会再购买象牙制品(Rapid Asia, 2013; Margulies et al, 2019)。针对体验性消费需求, 可宣传相关法律知识或推荐替代产品。例如在酒店中设置醒目的标识牌引导境外旅客购买其他的合法纪念品(Wallen & Daut, 2017)。尽管如此, 大部分宣传教育活动仍缺乏效果评估, 或仅有自我报告的行为或行为意愿, 而缺乏科学的实际行为数据, 未来还需更长期的追踪以验证其实际效果(Olmedo et al, 2018)。

宣传教育除针对消费者外, 还应更多地在相关部门、利益相关者及公众中进行。对野生动物保护相关工作人员进行业务技能培训, 可提高其工作的专业性(朱晓雷等, 2013)。对药用、餐饮、野生动物驯养繁殖、宠物买卖等行业的工作人员进行全覆盖、网络式的教育, 有助于减少非法野生动物的利

用(朱晓雷等, 2013; TRAFFIC, 2015)。对公众进行环境或动物保护主题的宣传, 可增强公众对野生动物的科学认知与保护意识。例如世界自然基金会(World Wildlife Fund)、一个地球自然基金会(One Planet Foundation)发起的“发现身边的自然”在地环境教育项目(<http://www.wwfchina.org/pressdetail.php?id=1946>), 以及国内最大的生物多样性保护公众参与节日“劲草嘉年华”, 通过演讲、影展、市集等形式打造高品质、互动性强的生物多样性传播产品, 自2018年以来, 已在25座城市举办活动32场, 吸引线上线下3,400多万公众参与(<https://www.haogongyi.org.cn/home/product/detail/id/62.html>)。针对青少年和儿童的宣传, 可把拒绝非法消费的知识带入课堂, 通过学生影响家长, 达到全民教育的效果(史艳茹, 2017)。最后, 抓住特殊的情境和机遇进行宣传, 可让更多公众参与到对野生动物利用和贸易的讨论, 认识到野生动物保护的必要性(Hou et al, 2020)。例如2020年新冠肺炎疫情期间, 众多保护组织在自媒体平台积极发布野生动物科普内容, 同时由北京大学自然保护与社会发展研究中心、自然之友、山水自然保护中心等机构联合发起的《公众对野生动物消费、贸易、修法意愿的调查》, 获得了超过十万份公众反馈(<https://mp.weixin.qq.com/s/p-S3bmKtC1FXn3WkBVneVQ>), 引发社会各界对野生动物消费话题的广泛关注与讨论。

3.1.2 社会影响

社会影响是指个体受其社会关系中的他人或其所在的群体有意无意的影响而引起的思想、感情

或行动等的改变(Turner, 1991)。从社会心理学中引入的一系列社会影响方法,如社会规范性信息、公共承诺和群体领袖等,已被广泛应用于保护心理学和环境行为研究(Wallen & Daut, 2017),可为减少野生动物消费的对策制订提供借鉴。

社会规范性信息是应用最广泛的社会影响方法之一。它强调社会规范(即群体对特定情境下行为标准的共同意见)能通过社会性的激励或惩罚来引导或约束行为(Tyrrell et al, 2017; Wallen & Daut, 2017)。例如在刚果共和国的一项研究发现,运用参与式监控系统,通过组员间频繁与直接的互动反馈,可更显著地减少野生动物捕猎的数量(Marrocoli et al, 2018)。社会规范性信息可分为描述性规范信息(描述社会中普遍的、大多数人的行为)和指令性规范信息(说明被社会鼓励或禁止的行为)(Cialdini et al, 1991)。对于被社会谴责的不良行为(如野生动物消费),为避免干预对象产生心理抵触,应尽可能使用内容积极的描述性规范信息(如“大多数社会成员不食用野生动物”,而不是“野生动物的消费十分普遍”)(Cialdini, 2003),或是鼓励性的指令性规范信息(如“保护动物是负责任的行为”)。目前还没有公开的研究检验社会规范信息运用于减少非法野生动物消费的效果,但一项针对非法捕猎的研究发现,受访者对他人典型行为(即描述性规范)的感知会影响其自身的偷猎行为(St. John et al, 2015)。在社区层面,可尝试建立抵制非法野生动物消费的邻里监督制度,树立良好社区典型,逐步影响其他社区,促进形成保护野生动物的良好社会氛围。

公共承诺可发挥社会对个人承诺的监督作用,或通过社会压力达成个体行为的改变。向社会公开承诺后,尤其是当违反承诺面临的社会惩罚较为严厉时,个人往往更在意自身的言行一致(Kiesler, 1971)。已有研究发现,进行公共承诺的农业从业者更有可能以实际行动支持可持续农业,并影响带动周边的社区参与(Lokhorst, 2010)。同样,对购买野生动物产品持有矛盾或消极态度的个人,如果公开承诺不购买,则食言后可能面临的社会舆论压力可能促使其降低实际消费的可能性(Wallen & Daut, 2017)。因此可鼓励企业家、政府官员等公开发出“不食用野生动物”的承诺,或向社会公众发起“我承诺不吃野味”的公益活动,呼吁公众参与并在个人社交网络上公开分享承诺,实现切实的行为改变。

群体领袖是一个群体中具有影响力的成员;就特定的目标行为而言,这些成员已达成了目标行为,并自愿通过与他人沟通,教导其他未达成目标行为的人(Wallen & Daut, 2017)。群体领袖利用其与他人间的复杂社会网络,更容易与其他人之间互相理解、建立信任、产生共鸣,从而有效地影响他人的行为,进而扩大影响力与辐射人群(Rogers, 2003; Christakis & Fowler, 2009)。目前已有多项研究表明,群体领袖与社交网络对增加个体的再生资源回收行为有积极作用(Burn, 1991; Meneses & Palacio, 2007)。对于减少非法野生动物消费,可考虑通过社区中受人尊敬的老人或基层干部劝导家人、朋友、邻居、住户停止购买野生动物产品。又如在新加坡疫情期间,中国烹饪协会带头发起的“珍爱自然,拒烹野味”倡议书(https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5687414),通过各地餐饮业相关的社交网络迅速传播;餐饮企业老板或厨师长作为群体领袖表率,带动全产业抵制售卖或烹饪野生动物,体现了群体领袖运用社交网络影响公众行为的积极作用。

3.1.3 法律规范

为加强濒危野生动物的保护,国际与国内均有相应的法律法规。《濒危野生动植物种国际贸易公约》对野生动物国际贸易进行管制,采用物种分级与许可证的方式,旨在帮助实现对野生动物的可持续利用。我国长期为野生动物保护努力,自1988年起国家相继出台了《中华人民共和国野生动物保护法》、《中华人民共和国陆生野生动物保护实施条例》和《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》等相关法律。同时,针对特定濒危物种和特定事件制定了相应法规。例如2018年起我国正式实施的“象牙全面禁贸令”(中华人民共和国国务院, 2017),以及在新冠肺炎疫情下出台的《全国人民代表大会常务委员会关于全面禁止非法野生动物交易、革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康安全的决定》(<http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202002/c56b129850aa42acb584cf01ebb68ea4.shtml>),均旨在进一步打击野生动物非法贸易与过度消费。《决定》发布后,各省、区、直辖市也出台适宜本地区的相应决定。例如福建省率先发布《福建省人民代表大会常务委员会关于革除滥食野生动物陋习、切实保障人民群众生命健康安全的决定》(<http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202002/>

33728c88d54f4676866328530d5497cc.shtml)。湖北省发布《湖北省人民代表大会常务委员会关于严厉打击非法野生动物交易、全面禁止食用野生动物、切实保障人民群众生命健康安全的决定》(http://nyt.hubei.gov.cn/bmdt/ztl/zxzt/wcbgzyq/202003/t20200309_2176492.shtml)。截至2020年5月,江西省、广东省、广西壮族自治区、重庆市、山西省、北京市、天津市、湖南省已纷纷出台本省或直辖市的相关决定或条例。

合理明确的法律法规可打击野生动物非法贸易,抑制消费需求增长(Baillie et al, 2004; Sung & Fong, 2018)。例如2018年我国的“象牙全面禁贸令”实施后,调查显示受访的购买过象牙的消费者中,近80%的人表示未来不会购买象牙,自我报告一年内购买过象牙的人数比例也显著减少(GlobeScan, 2019)。尽管如此,消费者需求和购买意愿受当前法律政策的影响可能是短期的。例如调查显示,“象牙全面禁贸令”在2018年实施时对消费者的影响比2019年时大,购买象牙的渠道中海外旅游渠道的占比也由2018年的18%显著上升至2019年的27%(GlobeScan, 2019)。因此,有必要对法律规范的效果进行更长期且深入的监测和评估。还需要注意的是,在市场需求强劲的情况下,单纯地禁止贸易可能导致非法贸易的增加,而更严格的法律、更高的罚款、更强的公共执法,可能造成一系列的反作用,例如禁令发布前的需求增加或民众产生逆反心理(Challender et al, 2019; Ribeiro et al, 2020)。因此在法律颁布的同时,应重视相应的普法宣传,逐步引导社会规范和行为(Rivalan et al, 2007; 姜南和王邱文, 2018)。法律法规要发挥作用,也离不开高效的执法与监管体制(费宜玲等, 2019)。目前我国执法工作从野生动物驯养繁殖、经营利用、野保工作等方面开展(许岚, 2014),还需进一步完善执法监督机制,提高区域监管能力(费宜玲等, 2019)。此外,考虑到野生动物消费贸易链往往涉及跨国边境贸易,其相应约束法规相对缺乏,因此还需加强国际间与国内各法律的衔接与配合(Harrison et al, 2016)。在特殊时间节点,可积极开展保护野生动物资源的专项打击行动(姜南和王邱文, 2018)。例如在新型冠状病毒肺炎疫情期间,全国各地林草系统清理整治市场、餐馆等野生动物经营场所,严厉打击了野生动物违规交易行为。

3.1.4 行为助推

基于行为科学的视角,许多社会问题本质上是个体的行为问题,而行为又是个体决策选择的结果(何贵兵等, 2018)。适当改变人们面对的选择架构,可使人们的行为选择发生预期变化。这类行为干预方法被称为“助推”(Nudge; Thaler & Sunstein, 2008)。目前助推方法已运用于促进经济发展与环境保护以及提升居民的健康、教育与幸福等多方面(The Behavioural Insights Team, 2015)。例如在养老金计划情境中,把原来的默认“不参加”改为默认“参加”,参保率可由之前的30%提高到3个月后的90%(Thaler & Sunstein, 2008);在大学食堂中素食的供给比例增加1倍,素食销售增加了41%–79%,可减少肉类消费(Garnett et al, 2019);通过经济等手段来激励有效的节水管理,可使居民每月节约用水增加20倍(Nayar & Kanaka, 2017)。通过助推方法干预个体行为的成本低、效率高、效益大,同时不限制个体的选择自由,规避家长制和自由主义的弊端(何贵兵等, 2018)。这种方法也为减少野生动物消费提供了新思路和新方案。例如2019年国家医保局和人力资源社会保障部发布了新版《国家基本医疗保险、工伤保险和生育保险药品目录》(http://www.gov.cn/xinwen/2019-11/28/content_5456662.htm),明确表示穿山甲中药饮片不得纳入医保支付范围。此外,阿胶、燕窝、玳瑁、海马和麝香等含有野生动物成分的中药饮片也从医保支付范围内移除。这些举措是通过影响选择架构从而影响公众对药品购买的决策,将有助于减少市场对野生动物入药的需求。

3.2 行为改变框架与原则

为更有效地达成野生动物消费行为的改变,可利用合适的行为改变框架,包括社会营销框架(social marketing)、以人为中心的设计框架(human-centered design)和改变理论框架(theory of change)(Wallen & Daut, 2018)。社会营销框架运用市场营销概念、原则和方法,鼓励有益于社会的行为;其目标与优势在于在一段时间内利用有限的资源,通过高效的产出和可持续的过程,促成目标群体中大部分人积极的行为改变,从而影响政策、推进有利于社会的变革(Kotler & Zaltman, 1971; Schiffman & Wisenblit, 2019)。此框架可运用于减少野生动物消费的社会营销框架包括基于社区的社会营销和生物多样性保护营销(Wallen & Daut, 2018),目前已

成功运用于鼓励可持续的海产消费、减少野味消费以及川金丝猴(*Rhinopithecus roxellanae*)保护等实际问题中(DeWan et al, 2013; Wright et al, 2015; Chaves et al, 2017)。以人为中心的设计框架来源于参与性行动研究,是通过与利益相关的个人或社区直接合作,形成适合当地情况的行为改变战略。该框架与基于社区的社会营销类似,但更强调实际行动的发生和参与(Reason & Bradbury, 2008; Wallen & Daut, 2018)。例如应用于野生动物保护领域中,更多地考虑本地社区的价值观与需求,不强制贸易相关方与野生动物保护的目标一致或完全禁止贸易。改变理论框架通过设定预期的行为改变目标,并理清各干预环节间的发展路径和因果联系,为决策者提供每个行动或阶段的概念地图,帮助设计最佳对策并评估目标产出的可行性(Phelps et al, 2016; Wallen & Daut, 2018)。改变理论框架已被运用于设计多项野生动物非法贸易的干预途径,为政策制定与干预活动提供依据(Biggs et al, 2017)。

不同的行为改变方法和框架有其优势和限制。运用它们减少野生动物消费时,可整体考虑以下原则:(1)基于专业的行为科学理论,理解行为发生机制;(2)依据需求划分目标群体,确定营销内容;(3)针对特定的目标与情境,选择合理的行为改变框架与方法;(4)结合当地文化背景,推动社区与野生动物利益相关者的实际参与;(5)在实施过程中,加强多学科、多主体、多尺度的合作。

4 加强合作

基于野生动物消费动因、利益相关方、社会环境等的复杂性,在运用行为改变框架和方法以减少需求并改变消费行为时,需要综合运用多学科的方法,倡导多主体合作,同时考虑不同行为策略在多时空尺度下的适用性(Wallen & Daut, 2018; 't Sas-Rolfes et al, 2019),以实现有效且长久的野生动物消费行为改变和野生动物保护。

4.1 多学科运用

当今的野生动物贸易和消费很大程度上是全球范围的复杂问题,除了需要重视社会学、心理学、经济学、传播学以及公共卫生等多学科在理解动因和制定对策中的重要作用以外,也需要重视生态学在评估野生动物贸易生态影响中的基础作用,并在相关的研究和实践中综合运用多学科发展的多种

技术。野生动物贸易和消费对生态系统有巨大影响(Blair et al, 2017),因此生态科学对理解物种的种群动态、生态功能,以及贸易和消费对这些动态和功能的影响也至关重要(Wittemyer et al, 2014; Benítez-López et al, 2017)。生态学中引入的高新技术,如高分辨率卫星、无人机、红外相机、图像识别技术等,提供了更系统高效的研究手段和更精确的科学数据(李晟等, 2014; Gonzalez et al, 2016)。这些研究结果除应用于评估野生动物贸易和消费对生物多样性的影响外,还可为公众的生物多样性科普提供资料。

另外,腾讯、阿里巴巴等多家互联网企业成立的网络野生动植物非法贸易全球联盟,利用图像识别和自然语言等技术对旗下平台进行审查,年均处理违法信息约150万条,有效阻遏了非法贸易信息流通(Coalition to End Wildlife Trafficking Online, 2020)。同时,图像识别技术可推广用于执法过程、公众教育中的物种识别、资源系统监测中遥感图像处理等不同场景(Gonzalez et al, 2016; Wäldchen et al, 2018)。利用DNA条形码和同位素标记等方法可以定位被贸易个体所属的种群,有利于跨区域贸易链的精准打击和野生种群资源的精准保护(Blair et al, 2017; Natusch et al, 2017)。

4.2 多主体合作

减少野生动物消费需要强调各学科学者、政府、非政府组织、保护区工作人员、当地社区及公众等多方合作参与。例如此次新冠肺炎疫情中,公益组织、媒体、企业、自然教育机构、高校等多方合作,发起了一系列关于野生动物的教育宣传活动,包括多方联合邀请公众编制“中国野味红色名录”的活动(<https://mp.weixin.qq.com/s/sGsMqJPshOqms597GqPrFA>)。在应用多学科理论方法和新技术的基础上,构建各保护群体的合作机制和平台,可高效地共享资源,发挥不同主体各自的优势。例如社会和行为干预实践社区平台(Social and Behavioural Change Community of Practice, <https://www.changewildlifeconsumers.org/>),可实现各主体合作开发决策模型、工具包等干预野生动物消费者行为的工具,形成野生动物消费干预网络和体系(Wallen & Daut, 2018)。同时基于互联网技术建立高效透明的举报平台,如12315、腾讯110平台,可让更多的公众参与到打击非法野生动物贸易和消费行动中,发挥野生动物保护主体的作用。

野生动物非法贸易是一个在多个时空尺度上运作的系统(Gao & Clark, 2014), 其中涉及从物种捕获到消费等多个利益相关方(表1)。因此减少野生动物消费也需对贸易链条上的其他相关方进行干预。如2019年开始的一项由欧盟资助的在湄公河流域、马来西亚和中国开展的打击野生生物贩运和森林犯罪的国际合作计划(<http://wcs.org.cn/?whatwedo/lm/227.html>), 联合了多国政府、非政府组织、企业、高校等多方力量, 旨在实现对野生动物贸易链源头、中间商和消费者的全链条同步干预。

4.3 多尺度考虑

行为可以在不同的尺度上(即个人、群体或社会)表现和被影响(World Bank, 2015)。因此, 针对不同情境、不同消费群体实施野生动物消费行为的干预策略, 需要考虑不同尺度的适用性(McKenzie-Mohr & Schultz, 2014)。针对特定需求的目标群体, 在较

小的群体尺度上利用群体领袖等社会影响可以更有效地影响人们的行为。例如在医患群体中由传统医学从业者倡导患者在治疗过程中减少对濒危物种的使用, 以减少野生动物入药的需求(TRAFFIC, 2015)。而对于较大尺度上较为分散的消费群体, 则更适合利用公益广告、宣传教育等方法拒绝野生动物及其制品(Moorhouse et al, 2017)。

无论是何种干预策略, 都应该在长时间尺度中保持良好的效果, 因此评估系统和监管措施至关重要。干预效果可能随着时间的推移而变化, 因此对干预后的不同时间段(如1个月、3个月、半年、1年、2年等)进行评估, 有利于策略在长期实践中的适时调整和改进(Wallen & Daut, 2018)。对野生动物贸易的各个环节执行合理且严格的监管措施, 可以在一定程度上降低野生动物消费行为反弹的风险(‘t Sas-Rolfes et al, 2019)。现如今, 互联网和社交网络

表1 野生动物贸易中不同类型的利益相关方
Table 1 Typology of key actor roles in wildlife trade

贸易链 Trade chains	利益方类型 Category	说明 Description
供货方 Suppliers	生计型 Subsistence	满足自身基本物质需求 Non-commercial harvest for household or local use
	商业导向型 Specialist commercial	利用专业工具或技术、商业目的捕猎、养殖 Harvest and breed with an explicit commercial orientation that often involves specialist skills or technologies
	机会主义型 Opportunist	如在采集蘑菇过程中偶遇猎物 eg. in the process of gathering mushrooms, come across wild animals
	无意型 Bycatch	无意的捕猎, 如野生动物掉入水池 Unintentional harvest of non-target species (eg. wild animals fall into the pool)
	娱乐型 Recreational	以愉悦为目的 Harvest for enjoyment
	应对型 Reactionary	因为不满而捕猎, 如人兽冲突 Harvest associated with discontent or protest (eg. in reaction to conflict with wildlife)
	组织型 Logistician	组织偷猎、收货、计划贸易等 Involved in ordering, aggregation, finance and plan trade. etc.
中间商 Intermediaries	走私型 Specialized smuggler	跨境运输 Transboundary smuggling
	机构合谋型 Government colluder	利用职务之便纵容非法贸易 Involved in using an official government position
	不知情第三方 Unknowing third party	如快递公司 eg. express companies
	处理方 Processor	处理加工野生动物制品 Involved in product transformation
	批发、零售 Launderer and vendor	直接面对消费者的商家 Direct sale to consumers
消费者 Consumers	体验型 Experiential	追求感官体验或猎奇 Desire to fulfil hedonistic pleasure or satisfy curiosity
	社会型 Social	如通过消费展示财富、地位 eg. highlight wealth, social standing through consumption
	功能型 Functional	如使用保健品、药物 eg. use nutriments and medicines
	经济型 Financial	如投资动物制品或收费展示动物 eg. buy wildlife products as investment strategy or exhibition for income
	精神型 Spiritual	如宗教放生 eg. free captive animals for religious brief

表格内容改编自Phelps等(2016)和Thomas-Walters等(2020) Modified from Phelps et al (2016) and Thomas-Walters et al (2020)

的发展使信息的传播速度加快,覆盖人群更广,依托于互联网的干预效果评估也更加便捷(Webb et al, 2010),这也使得不同时空尺度上的干预策略都有了更多的可能性。

5 总结与展望

本文运用多学科视角,从消费端切入,以我国野生动物贸易现状为例,系统地概述了野生动物消费的需求动因、改变消费行为的对策以及对策实施过程中需要遵循的合作原则,以应对野生动物消费和非法贸易问题,为我国的野生动物保护事业提供新思路。未来研究还可通过整合更多视角、采用更多样的研究方法,探究其他因素对野生动物消费的影响(如民族、城乡居住状态等; Zhang et al, 2008; Zhang & Yin, 2014)或其他行为改变方法(如利用行为的溢出效应与代际效应实现积极行为的传递与扩散; Truelove et al, 2014; 杨永娇等, 2019)。考虑到野生动物贸易涉及到复杂的政治、经济、社会和环境问题(李义明, 2001),干预项目仍然存在着监管评估难落实及手段具局限性等问题,需要各研究单位进行数据共享,并开发公开、系统、操作性强的评估体系(Redford & Taber, 2000; Keene & Pullin, 2011; Miteva et al, 2012)。此次新冠肺炎疫情危机解除之后,人与野生动物的和谐相处之路应如何继续走下去,除了在法律层面治理非法交易和滥食等违法行为外,社会各界还应在移风易俗上共同努力,促使健康消费观成为社会共识,引导社会的约束力长效地对非法野生动物消费做出抵制。

参考文献

- Arena PC, Steedman C, Warwick C (2012) Amphibian and reptile pet markets in the EU: An investigation and assessment. Animal Protection Agency, Brighton, UK. [http://faada.org/userfiles/ARPM2012_v122\[2\].pdf](http://faada.org/userfiles/ARPM2012_v122[2].pdf). (accessed on 2020-03-10)
- Baillie JEM, Hilton-Taylor C, Stuart SN (2004) 2004 IUCN Red List of Threatened Species: A global species assessment. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Benítez-López A, Alkemade R, Schipper AM, Ingram DJ, Verweij PA, Eikelboom JAJ, Huijbregts MAJ (2017) The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. *Science*, 356, 180–183.
- Biggs D, Cooney R, Roe D, Dublin HT, Allan JR, Challender DWS, Skinner D (2017) Developing a theory of change for a community-based response to illegal wildlife trade. *Conservation Biology*, 31, 5–12.
- Blair ME, Le MD, Sethi G, Thach HM, Nguyen VTH, Amato G, Birchette M, Sterling EJ (2017) The importance of an interdisciplinary research approach to inform wildlife trade management in Southeast Asia. *BioScience*, 67, 995–1003.
- Brashares JS, Abrahms B, Fiorella KJ, Golden CD, Hojnowski CE, Marsh RA, McCauley DJ, Nuñez TA, Seto K, Withey L (2014) Wildlife decline and social conflict. *Science*, 345, 376–378.
- Brashares JS, Golden CD, Weinbaum KZ, Barrett CB, Okello GV (2011) Economic and geographic drivers of wildlife consumption in rural Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108, 13931–13936.
- Burn SM (1991) Social psychology and the stimulation of recycling behaviours: The block leader approach. *Journal of Applied Social Psychology*, 21, 611–629.
- Bush ER, Baker SE, Macdonald DW (2014) Global trade in exotic pets 2006–2012. *Conservation Biology*, 28, 663–676.
- Butler P, Green K, Galvin D (2013) The principles of Pride: The science behind the mascots. *Rare*, Arlington, VA. <https://www.rare.org/wp-content/uploads/2019/02/Rare-Principles-of-Pride.pdf>. (accessed on 2020-05-21)
- Challender DWS, Harrop SR, MacMillan DC (2015) Understanding markets to conserve trade-threatened species in CITES. *Biological Conservation*, 187, 249–259.
- Challender DWS, Hinsley A, Milner-Gulland EJ (2019) Inadequacies in establishing CITES trade bans. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17, 199–200.
- Chaves WA, Valle DR, Monroe MC, Wilkie DS, Sieving KE, Sadowsky B (2017) Changing wild meat consumption: An experiment in the central Amazon, Brazil. *Conservation Letters*, 11, e12391.
- Cheung GCK, Chang CY (2011) Cultural identities of Chinese business: Networks of the shark-fin business in Hong Kong. *Asia Pacific Business Review*, 17, 343–359.
- Christakis NA, Fowler JH (2009) *Connected: The Surprising Power of Our Social Networks and How They Shape Our Lives*. Little, Brown and Company, New York.
- Cialdini RB (2003) Crafting normative messages to protect the environment. *Current Directions in Psychological Science*, 12, 105–109.
- Cialdini RB, Kallgren CA, Reno RR (1991) A focus theory of normative conduct: A theoretical refinement and reevaluation of the role of norms in human behavior. *Advances in Experimental Social Psychology*, 24, 201–234.
- Coalition to End Wildlife Trafficking Online (2020) *Offline and in the wild: A progress report of the Coalition to End Wildlife Trafficking Online*. <https://static1.squarespace.com/static/5b53e9789772ae59ffa267ee/t/5e5c32496b59fb4d4cbaf55/1583100496539/Offline+and+In+the+Wild+-+Coalition+2020+Progress+Report.pdf>. (accessed on 2020-03-18)
- Curtin S (2005) Nature, wild animals and tourism: An experiential view. *Journal of Ecotourism*, 4, 1–15.
- Daut EF, Brightsmith DJ, Peterson MJ (2015) Role of non-governmental organizations in combating illegal wildlife-pet

- trade in Peru. *Journal for Nature Conservation*, 24, 72–82.
- Davis EO, Glikman JA, Crudge B, Dang V, Willemsen M, Nguyen T, O'Connor D, Bendixsen T (2019) Consumer demand and traditional medicine prescription of bear products in Vietnam. *Biological Conservation*, 235, 119–127.
- DeWan A, Green K, Li X, Hayden D (2013) Using social marketing tools to increase fuel-efficient stove adoption for conservation of the golden snub-nosed monkey, Gansu Province, China. *Conservation Evidence*, 10, 32–36.
- Downes E (2018) “A very good livelihood”: The native animal fur trade in Victoria. *History Australia*, 15, 89–112.
- Drury R (2011) Hungry for success: Urban consumer demand for wild animal products in Vietnam. *Conservation and Society*, 9, 247–257.
- Dutton AJ, Hepburn C, Macdonald DW (2011) A stated preference investigation into the Chinese demand for farmed vs. wild bear bile. *PLoS ONE*, 6, e21243.
- Fabinyi M, Liu N (2014) Seafood banquets in Beijing: Consumer perspectives and implications for environmental sustainability. *Conservation & Society*, 12, 218–229.
- Fabinyi M, Liu N, Song Q, Li R (2016) Aquatic product consumption patterns and perceptions among the Chinese middle class. *Regional Studies in Marine Science*, 7, 1–9.
- Fei YL, Zhou YW, Liu DW, Hou SL, Pan HC (2019) The harm and regulation of the networked illegal trade of wildlife. *Chinese Journal of Wildlife*, 40, 1031–1034. (in Chinese with English abstract) [费宜玲, 周用武, 刘大伟, 侯森林, 潘恒昌 (2019) 野生动物非法贸易网络化的危害和监管. *野生动物学报*, 40, 1031–1034.]
- Feng Y, Siu K, Wang N, Ng KM, Tsao SW, Nagamatsu T, Tong Y (2009) Bear bile: Dilemma of traditional medicinal use and animal protection. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5, 2.
- Gao Y, Clark SG (2014) Elephant ivory trade in China: Trends and drivers. *Biological Conservation*, 180, 23–30.
- Garnett EE, Balmford A, Sandbrook C, Pilling MA, Marteau TM (2019) Impact of increasing vegetarian availability on meal selection and sales in cafeterias. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 116, 20923–20929.
- General Office of the State Council (2017) Notice of the General Office of the State Council on the orderly cessation of commercial processing and sale of ivory and its products. *The Bulletin of the State Council of the People's Republic of China*, 3, 97–98. (in Chinese) [中华人民共和国国务院 (2017) 国务院办公厅关于有序停止商业性加工销售象牙及制品活动的通知. *中华人民共和国国务院公报*, 3, 97–98.]
- GlobeScan (2019) Demand under the Ban—China Ivory Consumption Research 2019. GlobeScan Incorporated, Hong Kong. https://d2ouvy59p0d6k.cloudfront.net/downloads/demand_under_the_ban_china_ivory_consumption_research_2019_final.pdf. (accessed on 2020-05-23)
- GlobeScan, National Geographic Society (2015) Reducing the Demand for Ivory: An International Study. GlobeScan Incorporated, Hong Kong. https://globescan.com/wp-content/uploads/2017/07/Reducing_Demand_For_Ivory_National_Geographic_Society_GlobeScan_Full_Report_11August2015.pdf. (accessed on 2020-05-23)
- Gonzalez LF, Montes GA, Puig E, Johnson S, Mengersen K, Gaston KJ (2016) unmanned aerial vehicles (UAVs) and artificial intelligence revolutionizing wildlife monitoring and conservation. *Sensors*, 16, 1–18.
- Harfoot M, Glaser SAM, Tittensor DP, Britten GL, McLardy C, Malsch K, Burgess ND (2018) Unveiling the patterns and trends in 40 years of global trade in CITES-listed wildlife. *Biological Conservation*, 223, 47–57.
- Harrison RD, Sreekar R, Brodie JF, Brook S, Luskin M, O'Kelly H, Rao M, Scheffers B, Velho N (2016) Impacts of hunting on tropical forests in Southeast Asia. *Conservation Biology*, 30, 972–981.
- He GB, Li S, Liang ZY (2018) Leveraging for maximal return: Behavioral decisions that drive social development. *Acta Psychologica Sinica*, 50, 5–15. (in Chinese) [何贵兵, 李纾, 梁竹苑 (2018) 以小拨大: 行为决策助推社会发展. *心理学报*, 50, 5–15.]
- Hou Z, Lin L, Lu L, Du F, Qian M, Liang Y, Zhang J, Yu H (2020) Public exposure to live animals, behavioural change, and support in containment measures in response to COVID-19 outbreak: A population-based cross sectional survey in China. *medRxiv*, doi: 10.1101/2020.02.21.20026146.
- Hughes AC (2017) Understanding the drivers of Southeast Asian biodiversity loss. *Ecosphere*, 8, e01624.
- Jenks B, Vaughan PW, Butler PJ (2010) The evolution of Rare Pride: Using evaluation to drive adaptive management in a biodiversity conservation organization. *Evaluation and Program Planning*, 33, 186–190.
- Jiang N, Wang QW (2018) Discussion on China's wildlife enforcement cost wave under its ivory ban policy. *Chinese Journal of Wildlife*, 39, 438–441. (in Chinese with English abstract) [姜南, 王邱文 (2018) 中国象牙禁贸政策对其野生动物执法成本的影响. *野生动物学报*, 39, 438–441.]
- Jiao Y (2016) Greater China and transnational environmental crime: Understanding criminal networks and enforcement responses. In: *Handbook of Transnational Environmental Crime* (eds Elliotts L, Schaedla W), pp. 255–275. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham, UK.
- Keene M, Pullin AS (2011) Realizing an effectiveness revolution in environmental management. *Journal of Environmental Management*, 92, 2130–2135.
- Kiesler CA (1971) *The Psychology of Commitment: Experiments Linking Behavior to Belief*. Academic Press, New York.
- Kotler P, Zaltman G (1971) Social marketing: An approach to planned social change. *Journal of Marketing*, 35(3), 3–12.
- Li HG, Zhang FY, Teng XJ, Hu HJ, Lv LB (2019) The status of wildlife breeding and utilization in Dehong prefecture. *Chinese Journal of Wildlife*, 40, 87–93. (in Chinese with English abstract) [李宏刚, 张飞燕, 滕雪娇, 胡恒嘉, 吕龙宝 (2019) 德宏州野生动物繁育利用的现状调查分析. *野生动物学报*, 40, 87–93.]

- Li S, Wang DJ, Xiao ZS, Li XH, Wang TM, Feng LM, Wang Y (2014) Camera-trapping in wildlife research and conservation in China: Review and outlook. *Biodiversity Science*, 22, 685–695. (in Chinese with English abstract) [李晟, 王大军, 肖治术, 李欣海, 王天明, 冯利民, 王云 (2014) 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景. *生物多样性*, 22, 685–695.]
- Li YM (2001) Advances in game hunting, wildlife trade and hunting sustainability. *Biodiversity Science*, 9, 414–421. (in Chinese with English abstract) [李义明 (2001) 野生动物狩猎、贸易和狩猎持续性研究进展. *生物多样性*, 9, 414–421.]
- Lin N (2017) Building a network theory of social capital. In: *Social Capital: Theory and Research* (eds Lin N, Cook K, Burt RS), pp. 3–29. Routledge, New York.
- Liu Z, Jiang ZG, Yang AF (2017) Research progress on trade and consumer behavior of wild animals. *Chinese Journal of Wildlife*, 38, 712–719. (in Chinese with English abstract) [刘钊, 蒋志刚, 杨爱芳 (2017) 野生动物消费行为研究进展. *野生动物学报*, 38, 712–719.]
- Lokhorst AM, van Dijk J, Staats H, van Dijk E, de Snoo G (2010) Using tailored information and public commitment to improve the environmental quality of farm lands: An example from the Netherlands. *Human Ecology: An Interdisciplinary Journal*, 38, 113–122.
- Margulies JD, Wong RW, Duffy R (2019) The imaginary “Asian super consumer”: A critique of demand reduction campaigns for the illegal wildlife trade. *Geoforum*, 107, 216–219.
- Marrocoli S, Gatiso TT, Morgan D, Nielsen MR, Kühl H (2018) Environmental uncertainty and self-monitoring in the commons: A common-pool resource experiment framed around bushmeat hunting in the Republic of Congo. *Ecological Economics*, 149, 274–284.
- McKenzie-Mohr D, Schultz PW (2014) Choosing effective behavior change tools. *Social Marketing Quarterly*, 20, 35–46.
- McNamara J, Fa JE, Ntiama-Baidu Y (2019) Understanding drivers of urban bushmeat demand in a Ghanaian market. *Biological Conservation*, 239, 1–8.
- Meneses GD, Palacio AB (2007) The response to the commitment with block-leader recycling promotion technique: A longitudinal approach. *Journal of Nonprofit & Public Sector Marketing*, 17, 83–102.
- Miteva DA, Pattanayak SK, Ferraro PJ (2012) Evaluation of biodiversity policy instruments: What works and, what doesn't? *Oxford Review of Economic Policy*, 28, 69–92.
- Moorhouse P, Balaskas M, D'Cruze N, Macdonald DW (2017) Information could reduce consumer demand for exotic pets. *Conservation Letters*, 10, 337–345.
- Natusch DJD, Carter JF, Aust PW, van Tri N, Tinggi U, Mumpuni, Riyanto A, Lyons JA (2017) Serpent's source: Determining the source and geographic origin of traded python skins using isotopic and elemental markers. *Biological Conservation*, 209, 406–414.
- Nayar A, Kanaka S (2017) A comparative study on water conservation through behavioral economics based nudging: Evidence from Indian city “a nudge in time can save nine”. *International Journal of Business and Social Science*, 8, 62–67.
- Ni Q, Wang Y, Weldon A, Xie M, Xu H, Yao Y, Zhang M, Li Y, Li Y, Zeng B, Nekaris KAI (2018) Conservation implications of primate trade in China over 18 years based on web news reports of confiscations. *PeerJ*, 6, e6069.
- Nijman V (2010) An overview of international wildlife trade from Southeast Asia. *Biodiversity and Conservation*, 19, 1101–1114.
- Olmedo A, Sharif V, Milner-Gulland EJ (2018) Evaluating the design of behaviour change interventions: A case study of rhino horn in Vietnam. *Conservation Letters*, 11, e12365.
- Phelps J, Biggs D, Webb EL (2016) Tools and terms for understanding illegal wildlife trade. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14, 479–489.
- Rapid Asia (2013) Rapid Asia Flash Report: Impact Evaluation on Ivory Trade in China. IFAW PSA: “Mom, I have teeth”. Rapid Asia Company Limited, Bangkok, Thailand. <https://s3.amazonaws.com/ifaw-pantheon/sites/default/files/legacy/ifaw-china-ivory-report.pdf>. (accessed on 2020-5-22)
- Reason P, Bradbury H (2008) *The SAGE Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice*. SAGE Publications Incorporated, London.
- Redford KH, Taber A (2000) Writing the wrongs: Developing a safe-fail culture in conservation. *Conservation Biology*, 14, 1567–1568.
- Ribeiro J, Bingre P, Strubbe D, Reino L (2020) Coronavirus: Why a permanent ban on wildlife trade might not work in China. *Nature*, 578, 217.
- Rivalan P, Delmas V, Angulo E, Bull LS, Hall RJ, Courchamp F, Rosser AM, Leader-Williams N (2007) Can bans stimulate wildlife trade? *Nature*, 447, 529–530.
- Rogers E (2003) *Diffusion of Innovations*. The Free Press of Glencoe, New York.
- Rosen GE, Smith KF (2010) Summarizing the evidence on the international trade in illegal wildlife. *EcoHealth*, 7, 24–32.
- Salazar G, Mills M, Verissimo D (2019) Qualitative impact evaluation of a social marketing campaign for conservation. *Conservation Biology*, 33, 634–644.
- Schiffman LG, Wisenblit JL (2019) *Consumer Behavior*, 12th edn. Pearson Education, Harlow.
- Shi YR (2017) Discussion on the publicity work of wildlife protection. *Friends of Farmers Getting Rich*, 7, 265. (in Chinese) [史艳茹 (2017) 关于野生动物保护宣传工作的探讨. *农民致富之友*, 7, 265.]
- Solís L, Casas A (2019) Cuicatec ethnozoology: Traditional knowledge, use, and management of fauna by people of San Lorenzo Pápalo, Oaxaca, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 15, 58.
- St. John FAV, Mai C-H, Pei KJ-C (2015) Evaluating deterrents of illegal behaviour in conservation: Carnivore killing in rural Taiwan. *Biological Conservation*, 189, 86–94.
- State Forestry Administration (2007–2016) *China Forestry Statistical Yearbook*. China Forestry Publishing House,

- Beijing. (in Chinese) [国家林业局 (2007–2016) 中国林业统计年鉴. 中国林业出版社, 北京.]
- Sung YH, Fong JJ (2018) Assessing consumer trends and illegal activity by monitoring the online wildlife trade. *Biological Conservation*, 227, 219–225.
- 't Sas-Rolfes M, Challender DWS, Hinsley A, Veríssimo D, Milner-Gulland EJ (2019) Illegal wildlife trade: Scale, processes, and governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 201–228.
- Thaler RH, Sunstein CR (2008) *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*. Yale University Press, New Haven, CT.
- The Behavioural Insights Team (2015) *The Behavioural Insights Team: Update Report 2013–2015*. Behavioural Insights Limited, London. http://www.behaviouralinsights.co.uk/wp-content/uploads/2015/07/BIT_Update-Report-Final-2013-2015.pdf. (accessed on 2020-05-21)
- Thomas-Walters L, Hinsley A, Bergin D, Doughty H, Eppel S, MacFarlane D, Meijer W, Lee TM, Phelps J, Smith RJ, Wan AKY, Veríssimo D (2020) Motivations for the use and consumption of wildlife products. *Conservation Biology* (in press)
- TRAFFIC (2015) *Traditional Medicine Practitioners in Viet Nam Pledge to Protect Threatened Wildlife*. TRAFFIC, Cambridge, UK. <https://www.traffic.org/news/traditional-medicine-practitioners-in-viet-nam-pledge-to-protect-threatened-wildlife/>. (accessed on 2020-03-05)
- Truelove HB, Carrico AR, Weber EU, Raimi KT, Vandenberg MP (2014) Positive and negative spillover of pro-environmental behavior: An integrative review and theoretical framework. *Global Environmental Change*, 29, 127–138.
- Turner JC (1991) *Social Influence*. Open University Press, Buckingham, UK.
- Tyrrell P, Russell S, Western D (2017) Seasonal movements of wildlife and livestock in a heterogenous pastoral landscape: Implications for coexistence and community based conservation. *Global Ecology and Conservation*, 12, 59–72.
- UNEP (The United Nations Environment Programme) (2014) *Illegal trade in wildlife: The environmental, social and economic consequences for sustainable development*. UNEP/EA.1/INF/19. United Nations Environment Assembly of the United Nations Programme, First Session, 23–27 June 2014, Nairobi, Kenya. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/20396>. (accessed on 2020-03-05)
- UNODC (The United Nations Office on Drugs and Crime) (2010) *The Globalization of Crime: A Transnational Organized Crime Threat Assessment*. United Nations Publication, New York. https://www.unodc.org/res/cld/bibliography/the-globalization-of-crime-a-transnational-organized-crime-threat-assessment_html/TOCTA_Report_2010_low_res.pdf. (accessed on 2020-03-05)
- UNODC (The United Nations Office on Drugs and Crime) (2016) *World Wildlife Crime Report: Trafficking in Protected Species*. United Nations Publication, New York. https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/wildlife/World_Wildlife_Crime_Report_2016_final.pdf. (accessed on 2020-03-05)
- Veríssimo D, Wan AKY (2018) Characterizing efforts to reduce consumer demand for wildlife products. *Conservation Biology*, 33, 623–633.
- Wäldchen J, Rzanny M, Seeland M, Mäder P (2018) Automated plant species identification—Trends and future directions. *PLoS Computational Biology*, 14(4), 1–19.
- Wallen KE, Daut EF (2017) Exploring social influence and social marketing to reduce consumer demand for illegal wildlife. *Asian Journal of Conservation Biology*, 6, 3–13.
- Wallen KE, Daut EF (2018) The challenge and opportunity of behaviour change methods and frameworks to reduce demand for illegal wildlife. *Nature Conservation*, 26, 55–75.
- Wang WX, Hu YJ, Chen SZ (2017) Current situation and enlightenment of global sustainable utilization and trade of wildlife resources. *World Forestry Research*, 30(3), 1–5. (in Chinese with English abstract) [王文霞, 胡延杰, 陈绍志 (2017) 全球野生动物资源可持续利用与贸易现状和启示. *世界林业研究*, 30(3), 1–5.]
- Wang WX, Yang LL, Hu YJ, Chen SZ (2019) Illegal smuggling of wild animals as recorded by China Customs Administration in recent years. *Chinese Journal of Wildlife*, 40, 797–800. (in Chinese with English abstract) [王文霞, 杨亮亮, 胡延杰, 陈绍志 (2019) 近年我国海关野生动物走私状况分析. *野生动物学报*, 40, 797–800.]
- Wasser RM, Jiao PB (2010) *Understanding the Motivations: The First Step Toward Influencing China's Unsustainable Wildlife Consumption*. TRAFFIC East Asia, China. <https://www.traffic.org/site/assets/files/6267/china-motivations-study.pdf>. (accessed on 2020-03-02)
- Webb TL, Joseph J, Yardley L, Michie S (2010) Using the internet to promote health behavior change: A systematic review and meta-analysis of the impact of theoretical basis, use of behavior change techniques, and mode of delivery on efficacy. *Journal of Medical Internet Research*, 12, 1–11.
- Willemsen M, Nguyen T (2017) *Chi Briefing Paper—Providing Insights of the Impact of a Behaviour Change Campaign to Reduce the Demand for Rhino Horn in Viet Nam*. TRAFFIC, Cambridge, UK. <https://changewildlifeconsumers.org/toolkit/chi-initiative-world-rhino-day-briefing-paper/>. (accessed on 2020-05-21)
- Wittemyer G, Northrup JM, Blanc J, Douglas-Hamilton I, Omondi P, Burnham KP (2014) Illegal killing for ivory drives global decline in African elephants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 111, 13117–13121.
- World Bank (2015) *World development report 2015: Mind, society, and behavior*. World Bank Group, Washington, DC. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2015>. (accessed on 2020-03-20)
- Wright AJ, Veríssimo D, Pilfold K, Parsons ECM, Ventre K, Cousins J, Jefferson R, Koldewey H, Llewellyn F, McKinley E (2015) Competitive outreach in the 21st century: Why we need conservation marketing. *Ocean & Coastal Management*, 115, 41–48.

- Xu L (2014) Discussion on some problems of administrative law enforcement in the wild animal protection. *Forest Resources Management*, (4), 29–33, 51. (in Chinese with English abstract) [许岚 (2014) 野生动物保护行政执法若干问题的探讨——以一起无证驯养黄金蟒行政纠纷案为视角. *林业资源管理*, (4), 29–33, 51.]
- Xu L, Guan J, Lau W, Xiao Y (2016) An Overview of Pangolin Trade in China. TRAFFIC Briefing Paper. TRAFFIC, Cambridge, UK. <https://www.traffic.org/site/assets/files/10569/pangolin-trade-in-china.pdf>. (accessed on 2020-5-23)
- Yang YJ, Shi YT, Zhang D (2019) Intergenerational effects on individual charitable donation: An innovative study on charitable donation in China. *Sociological Studies*, 34, 183–209, 245. (in Chinese with English abstract) [杨永娇, 史宇婷, 张东 (2019) 个体慈善捐赠行为的代际效应——中国慈善捐赠本土研究的新探索. *社会学研究*, 34, 183–209, 245.]
- Zhang L, Hua N, Sun S (2008) Wildlife trade, consumption and conservation awareness in southwest China. *Biodiversity and Conservation*, 17, 1493–1516.
- Zhang L, Yin F (2014) Wildlife consumption and conservation awareness in China: A long way to go. *Biodiversity and Conservation*, 23, 2371–2381.
- Zhao XM (2004) Adhering to the Scientific Outlook on Development, promoting the strategic shift in wildlife utilization from wild to captive sources. *Green China*, (9), 4–8. (in Chinese) [赵学敏 (2004) 坚持科学发展观实现野生动植物资源利用的战略转变. *绿色中国*, (9), 4–8.]
- Zhu GS, Ding LD, Yu GL, Zhou XL (2019) Wildlife domestication and propagation industry in Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 25, 109–113. (in Chinese with English abstract) [朱桂寿, 丁良冬, 俞根连, 周晓丽 (2019) 浙江省野生动物驯养繁殖业现状分析. *浙江林学院学报*, 25, 109–113.]
- Zhu XL, Sun ZZ, Li N, Wang L, Liu KJ (2013) Exploration and thinking of grass-roots wildlife protection publicity. *Henan Forestry Science and Technology*. 33(1), 60–62. (in Chinese) [朱晓雷, 孙振中, 李娜, 王璐, 刘可君 (2013) 基层野生动物保护宣传工作的探索与思考. *河南林业科技*, 33(1), 60–62.]

(责任编辑: 李彬彬 责任编辑: 时意专)



•综述•

全球中华鲎资源保护现状及对策建议

朱俊华¹ 吴宙^{1,2} 冯炳斌^{1,3} 邓帅帅¹ 甄文全¹
廖永岩¹ 颀晓勇⁴ Kit Yue Kwan^{1*}

1 (广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 北部湾大学海洋学院, 广西钦州 535011)

2 (浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江舟山 316022)

3 (南宁师范大学地理科学与规划学院, 南宁 530311)

4 (中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘要: 鲎是古老的海洋节肢动物。中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)是世界现存4种鲎中体型最大的一种, 是河口生态系统的标志物种, 同时其血液被用于生产医用检验试剂——鲎试剂。中华鲎的自然地理分布范围相当狭窄, 仅限于日本濑户内海向南延伸至印度尼西亚爪哇岛北岸以北的太平洋西岸海域, 其中在中国东岸和日本南部海域的历史产量较高。自20世纪50年代以来中华鲎种群数量出现了显著减少, 2019年中华鲎在IUCN红色名录中的濒危等级正式更新为濒危(EN), 明确了中华鲎资源呈现全球性衰退的状态, 究其原因可归纳为鲎生境破坏和过度捕捞两个方面。在开展鲎资源保护的实践工作中, 作者深刻反思当前鲎资源保护在海洋保护区划定、增殖放流及科普和野生动物保护法宣传中存在的问题并提出相应建议, 包括加快完善种群基线数据, 制定标准化种群和生境基线监测指南, 构建科学放流体系等, 以期推进全球范围内的中华鲎资源保护与科学管理。

关键词: 鲎; 濒危物种; 种群趋势; 海洋保护地; 增殖放流

Global conservation of *Tachypleus tridentatus*: Present status and recommendations

Junhua Zhu¹, Zhou Wu^{1,2}, Bingbin Feng^{1,3}, Shuaishuai Deng¹, Wenquan Zhen¹, Yongyan Liao¹, Xiaoyong Xie⁴, Kit Yue Kwan^{1*}

1 Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, College of Marine Sciences, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011

2 National Engineering Research Center for Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316022

3 School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530311

4 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300

Abstract: Horseshoe crabs are an ancient group of marine arthropods. The Chinese horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*) is the largest among the four extant species. *Tachypleus tridentatus* is regarded as the indicator species of estuarine ecosystems. Meanwhile, its blood is used to manufacture biomedical testing kits, i.e., *Tachypleus* amoebocyte lysate. The geographic distribution of *T. tridentatus* is constrained to the western Pacific Ocean, ranging from the Seto Inland Sea of Japan southwards to the North Jawa waters. A high historical population size of *T. tridentatus* was recorded in eastern China and southern Japan. *Tachypleus tridentatus* population decline has become apparent since the 1950s, and the species has been upgraded to “Endangered (EN)” under the IUCN Red List in 2019, depicting its global declining trend. Habitat destruction and overfishing are identified as the primary threats. We reexamined current conservation measures targeting *T. tridentatus*, including marine protected area establishment, captive breeding and restocking, and awareness programs and regulations. We provide recommendations to enhance the conservation and management of global *T. tridentatus* populations through: (1) expediting population baseline data collection;

收稿日期: 2019-12-18; 接受日期: 2020-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(41706183)、广西自然科学基金联合资助培育项目(2019JJA150098)、广西自然科学基金(2017GXNSFBA198181)、广西高校引进海外高层次人才“百人计划”和广西八桂青年学者人才专项

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: kityuekwan@bbgu.edu.cn

(2) developing standards for population/habitat monitoring; and (3) establishing scientifically sound restocking programs.

Key words: horseshoe crab; threatened species; population trend; marine protected area; captive breeding and restocking

鲎, 别名马蹄蟹(horseshoe crab), 是一种非常古老的海洋节肢动物, 其化石可追溯至4.75亿年前的早古生代奥陶纪, 时至今日其形态结构也未发生重大改变, 因此常被称为海洋“活化石”(Rudkin & Young, 2009)。当今世界仅存4种鲎, 即分布在北美洲东岸至墨西哥湾的美洲鲎(*Limulus polyphemus*)和亚洲地区的中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)、南方鲎(*T. gigas*)和圆尾鲎(*Carcinoscorpius rotundicauda*)。世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)世界自然保护大会(World Conservation Congress)在2012年通过了一项有关保护亚太区三种鲎的提议, 提出“鲎是维持生态系统正常运作的重要生物资源”、“鲎具文化象征的意义”、“鲎是需要持续管理的自然资源”, 并认为亚洲各国正面临鲎种群数量严重下滑的趋势(Jones, 2012)。

鲎的蓝色血液中蕴藏着许多功能特殊的生化活性物质, 目前已发现50多种, 是开发医用药物的宝库(洪水根, 2011)。其中, 鲎血液的变形细胞能与革兰氏阴性细菌内的毒素产生粘连作用, 被广泛用于生产医用检验试剂——鲎试剂(Gauvry, 2015)。鲎栖息于水交换能力较弱的内湾, 其幼体在河口附近潮间带生活8–10年, 高度依赖沿海地区的环境条件, 因此被确定为河口生态系统的标志物种(陈章波等, 2015)和前哨物种(sentinel species, Kwan et al, 2018)。鲎性成熟后会迁移到水深40 m以内的浅海区栖息与觅食, 对维持典型近岸生态和生物多样性结构稳定扮演重要的角色。本文从中华鲎生境破坏和过度捕捞两个主要角度出发, 分析中华鲎全球种群面临的状况, 讨论中华鲎资源保护在海洋保护区划定、增殖放流及科普和野生动物保护法宣传中存在的问题, 并提出相应对策建议与措施。

1 中华鲎全球种群现状

中华鲎的自然地理分布范围相当狭窄, 仅局限于太平洋西岸, 自日本濑户内海开始, 沿我国浙江、福建、广东、广西、海南、香港和台湾沿岸, 南

至印度尼西亚爪哇岛北岸以北、苏门答腊岛印度洋东侧的海域(附录1)。相对于东南亚沿岸, 中华鲎在中国东岸和日本南部海域的历史分布较广、产量较高(Laurie et al, 2019; Liao et al, 2019b)。

早在20世纪70年代, 中华鲎广泛分布于中国的东南部沿海, 是一种“随手可及”的海洋生物, 但随后的系统调查数据显示中华鲎资源出现了显著的衰退(翁朝红等, 2012; Hsieh & Chen, 2015; Liao et al, 2019a)。珠江口以北的海域已多年未见中华鲎上岸产卵; 福建平潭的中华鲎数量由1954年的日产量1,000对下降至2002年的4对(廖永岩和李晓梅, 2001); 中华鲎曾经广泛存在于我国台湾岛西岸、澎湖群岛和金门岛, 种群密度高, 但自20世纪60年代以来, 其在台湾西海岸出现区域性灭绝, 仅在金门岛有数量稀少的幼鲎(Hsieh & Chen, 2015); 广东省仅南部海域存有少量的中华鲎资源, 香港海域潮间带上的中华鲎幼体种群在2002–2009年的7年间数量减少了九成(Shin et al, 2009), 据2012年和2014年的鲎幼体资源分布调查, 目前香港仅有后海湾和东涌湾沿岸存在小而分散的中华鲎幼体种群, 并且低龄的幼鲎相对较少, 表明这些幼鲎种群较脆弱, 局部灭绝的可能性高(Kwan et al, 2016)。

最早研究中华鲎的学者光口晃一曾在他的 *Biology of Horseshoe Crab* 专著中提到北部湾是中华鲎最理想的栖息地(Sekiguchi, 1988), 同时国内外专家在20世纪80年代都曾在北部湾的北海沿岸滩涂见到成群的中华鲎上岸产卵, 场面壮观(Brockmann & Smith, 2009; Shuster & Sekiguchi, 2009; 翁朝红等, 2012), 因此北部湾连同周边的雷州湾及海南附近海域被认为是中华鲎在全球种群资源密度较高的“净土”。即便如此, 北部湾的中华鲎数量仍从20世纪90年代约每年60万对骤降为2010年的约30万对(陈章波等, 2015)。据2015年对广西北部湾地区30个沿海乡镇和村庄400名受访者的调查数据表明, 95%的受访者认为北部湾海域在2011–2016年间中华鲎的产量明显比之前少, 相比20世纪90年代的日均捕获量50–1,000只, 2011–2016年间渔民每日

仅能捕获0–30只,且曾见中华鲎上岸产卵的受访者年龄显著高于未见过的(Liao et al, 2019a),表明近30年来中华鲎资源发生了严重衰退。

20世纪50年代以来,日本各地的中华鲎种群数量也在急剧减少。濑户内海的所有海岸都曾有丰富的中华鲎资源,但至2003年几乎已经灭绝(Seino et al, 2003),2006年中华鲎在日本被评估为极危(CR)。1990–2007年间,越南的中华鲎数量和分布面积均下降了50%,收获产量下降了20% (Nguyen, 2007),2007年中华鲎在越南被评为易危(VU)。马来西亚和印度尼西亚对中华鲎种群的系统研究起步较晚,尚未对中华鲎进行濒危等级评估。目前马来西亚仅报道了婆罗洲东北部沙巴的中华鲎种群(Manca et al, 2017; Mohamad et al, 2019);而印度尼西亚爪哇岛北部海岸的渔民走访调查数据表明当地中华鲎的捕获量正在下降(Meilana & Fang, 2017)。2019年3月,中华鲎在IUCN红色名录中的濒危等级从原来的数据缺乏(DD)变更为濒危(EN; Laurie et al, 2019),明确了中华鲎资源正呈现全球性衰退的状态。

2 中华鲎种群威胁的识别

目前中华鲎面临全球性资源枯竭,归结起来主要原因为鲎生境破坏和过度捕捞两个方面。

2.1 生境破坏

中华鲎生活史各阶段(如卵胚胎、幼体和成体)的生长发育都对水文、地貌、水温等环境特征要求较高,所需生境类型从浅滩高潮线附近的产卵生境、潮间带的幼体栖息地到潮下带浅海区域的觅食生境等(Laurie et al, 2019),且不同生境的紧密连接对于其不同生命阶段的生长发育至关重要。潮间带沉积物中的叶绿素 a 与总有机碳含量可能是决定幼鲎密度与生长的重要因素(Hsieh & Chen, 2009; Xie et al, 2020),而盐度、温度和溶解氧等会直接对鲎胚胎发育和幼体生长产生影响(Jegla & Costlow, 1982; Hong et al, 2009)。从沉积环境而言,沉积物的颗粒组成会影响中华鲎幼体的分布(Kwan et al, 2016; Xie et al, 2020),滩涂坡角会影响幼鲎不同生长阶段在滩涂的分布(Rudloe, 1981),且高密度的鲎幼体集中在红树林外缘、潮沟出水口附近(Chen et al, 2015; Xie et al, 2020)或海草床附近(Morton & Lee, 2011; Kwan et al, 2016)。

海洋经济发展使鲎的栖息地很容易遭到海岸

带围垦、沿海基础设施建设、海砂抽取、海水养殖等活动的影响。在日本和中国沿海地区,填海项目和海岸基础设施的建设都造成其栖息地的直接丧失(Seino et al, 2003; Morton & Lee, 2011; 翁朝红等, 2012; Hsieh & Chen, 2015)。海砂抽取被认为是中国东南沿海与越南之间的中华鲎产卵生境退化的重要原因(Roby & Liu, 2011)。在越南,海洋和沿海水域支撑着大约2,000万人的生计,大面积的潮间带被建成蛤蜊池塘,潮间带红树林和海草生态系统的质量持续下降,逐步产生“沿海荒漠化”问题(Vietnam NBSAP, 2014)。在日本,水环境污染直接影响了中华鲎卵和胚胎发育以及间接减少了潮间带底栖生物量(Itow, 1993; Botton, 2001; Botton & Itow, 2009),导致当地中华鲎种群数量减少或消失。此外,海平面和水温的升高正逐步地影响中华鲎种群,海平面的上升将大大减少产卵地的面积,而沿岸城市化加快了这些栖息地消失的速度(Loveland & Botton, 2015)。例如,2016年1–8月间在日本北九州滩涂发现了490只中华鲎死亡(<https://mainichi.jp/english/articles/20160824/p2a/00m/0na/009000c>),为历年来最高,根据福冈渔业和海洋技术研究中心的水温监测数据,2016年5–8月间该海域的水温比历年高出0.9–1.6℃。

2.2 过度捕捞

中华鲎由于具有重要的医用和食用价值而遭到人类过度捕捞和任意捕杀,从而导致其种群资源急剧下降。在现代食品医药行业中,鲎的重要经济价值体现在从其变形细胞提取一种能与内毒素迅速形成凝胶的鲎试剂,并已被广泛应用于生物学、医学研究、药学及环境卫生学中的痕量内毒素的检测,具有灵敏、快速、简便、经济、重复性好的特点。目前鲎试剂主要从美洲鲎和中华鲎的血液中提取(Gauvry, 2015),利用基因工程手段生产鲎试剂还没有实现真正的产业化与普及化。有资料显示在亚洲大部分地区提取鲎血采用的是不可持续的做法,即杀死中华鲎活体而采集全部血液(洪水根, 2011; Gauvry, 2015),而在美国仅允许抽取鲎部分血液,且需在72 h内放归捕捞海域。在我国厦门、湛江等地有一定规模的鲎试剂生产工厂。鲎试剂是《中国药典》中需采用内毒素检测的300多种注射药品的检测试剂。为满足市场需求每年需生产1,000余万支(0.1 mL)鲎试剂,据此推测中国每年至少需要消耗

10万对中华鲎(李裕红等, 2018)。

野生动物的食用与消费一直以来是生物多样性的巨大威胁。在中国、越南、泰国和马来西亚等国的沿海城市, 鲎在历史上是一道很受欢迎的菜肴, 且被普遍认为能提高人体的免疫力(Christianus & Saad, 2007; Shin et al, 2009; Fu et al, 2019)。据统计, 广西沿海城市的海鲜餐厅一只约3 kg的中华鲎价格从1998年的约30元上涨到2018年的300元(Fu et al, 2019)。虽然早在20世纪90年代中国部分沿海省份已将中华鲎列入省级重点保护动物名录, 但在高利润的驱使下, 中华鲎渐渐从渔民饭桌常见的菜肴转变成沿海甚至内陆地区的高价“海鲜”。同时, 鲎的跨国走私贸易活动也开始萌芽, 例如从越南进入我国广西(Liao et al, 2019a)、从马来西亚和印度尼西亚走私到泰国等(Mohamad et al, 2015), 可见东盟各国的鲎资源已无法满足当地市场需求。其中, 为食用鲎卵, 雌鲎常常是重点捕捞对象, 进而导致自然环境中鲎的雌雄比例失调, 总产卵量持续降低。

3 反思与建议

各国在中华鲎资源保护方面已采取了不同的措施, 如中国的浙江、福建、广东和广西等省(区)已将其列为“省级重点保护水生野生动物”, 针对鲎划定的海洋保护区在广东省有6处(中华人民共和国生态环境部, 2013), 香港于2012年底颁布法规禁止底拖捕捞作业。印度尼西亚环境和林业部2018年对政府条例进行了升级并颁布了新法规, 以保护其境内的包括中华鲎在内的3种鲎(Laurie et al, 2019)。马来西亚则对生物资源的收集、研究和出口有非常严格的规定, 每个州都建立了一个生物多样性委员会来履行监督和审核职能(SaBC, 2017)。

作者团队在开展鲎资源保护的多年实践工作中, 感受到中华鲎资源保护中存在以下值得商榷的问题, 并提出相应建议供大家探讨。

3.1 划定保护地不足以逆转中华鲎资源下降的趋势

海洋保护地的划定是为了避免人为因素导致中华鲎繁育与觅食生境的直接丧失。我国的海洋保护地数量从1990年的5处增加至2014年的249处(曾江宁等, 2016), 但由于管理资金投入不足、执法力度低、管理体系复杂等因素的影响, 许多保护地沦为有名无实的“纸上公园”。近15年来在保护地划定

和野生动物法规的“护航”下, 中华鲎种群资源仍呈持续下降趋势, 保护效果极不理想。

一个切实有效的珍稀物种保护框架应包括系统评估、规划和公众参与等过程, 可以概括为STEPS的5个方面, 即S(地点、物种、替代物)、T(威胁因素)、E(评估)、P(规划、政策)以及S(公众意识、利益相关方态度)(黄祥麟个人通讯, 2019)。而在中华鲎保护地的划定与实施过程中, STEPS框架中的第一个S即种群具体分布位置、数量及趋势的本底数据几乎空白, 大大阻碍了中华鲎保护规划和行动的有效实施。通过采集中华鲎成年种群数据建立有效的种群增长模型, 是最直接的鲎种群评估方法, 但传统的成鲎种群评估需依赖底拖网完成, 成本高、人力和时间投入大, 对底栖生态环境影响大。因此, 中华鲎种群评估工作多以成鲎重要产卵生境和幼体栖息地替代成年种群数据来评估。我国广西北部湾、香港和台湾地区以及新加坡已开展系统的幼体种群调查, 明确了亚洲3种鲎在该地区幼体栖息地的重要分布位置(Hsieh & Chen, 2015; Kwan et al, 2016; Xie et al, 2020)。Xie等(2020)调查了广西北部湾沿岸适合作为鲎幼体成长生境的18个滩涂, 其中14个是中华鲎的幼体栖息地, 有6个种群密度较香港高。但受限于幼鲎种群调查方法不同, 其研究结果无法与中国台湾地区以及新加坡和菲律宾的幼鲎种群数据进行比对, 因此各地的鲎科学工作者迫切需要制订统一和标准化的种群和环境基线监测指南(Wang et al, 2019)。中华鲎的产卵、觅食生境的核心分布区在哪? 这些生境的环境怎样? 鲎苗是如何从高潮线扩散到红树林外缘, 又如何移动到潮下带觅食? 这些生物学和生态学信息的缺乏是中华鲎资源保护之路上的一大障碍。

3.2 明确增殖放流对鲎资源的修复效果

通过人工大量培育中华鲎苗种并进行野外放流, 是现今对中华鲎种质资源修复最重要且可靠的异地保护(*ex-situ* conservation)措施(Carmichael & Brush, 2012)。目前最常见的放流方法为乘船到较深海域或在码头将中华鲎成体或苗种投入海中, 苗种多为刚从胚胎孵化出来的1龄鲎, 每只1龄鲎的竞标价从0.8元至1.5元不等(表1)。1龄中华鲎体长约10 mm (Sekiguchi, 1988), 个体太小导致标记难度过大, 放流效果评估难以开展。胡梦红等(2013)初步尝试采用可视嵌入性荧光标记技术对2龄幼鲎进行

标记放流, 而Kwan等(2015)则将被动式追踪芯片 (passive integrated transponder) 嵌入7-10龄幼鲎以量化其在滩涂上的活动面积, 但仍无法解决标记物的

稳定性(易回捕)、持久性(不易脱落)和适应性(不对个体造成影响、能标记小个体)三大难题。此外, 幼鲎在6龄以前在自然环境下的自然死亡率高达80%

表1 近十年在中国沿岸放流中华鲎的报道

Table 1 Reports on *Tachypleus tridentatus* restocking programs along the Chinese coast for the last 10 years

放流日期 Date of release	放流选址 Site selection for release	鲎生长阶段 Growth stage of horseshoe crab	数量 Number	组织单位 Organization(s)
2019.11	广东湛江遂溪县 Suixi County, Zhanjiang City, Guangdong	1龄 1 st instar	460,000	北部湾大学、广西大学 Beibu Gulf University and Guangxi University
2019.08	福建泉州丰泽滨海公园 Fengze Seaside Park, Quanzhou City, Fujian	1龄 1 st instar	5,000	福建省淡水水产研究所、华侨大学、集美大学等 Freshwater Fisheries Research Institute of Fujian, Huaqiao University, Jimei University etc.
2019.08	广东汕头潮南区田心湾 Tianxin Bay, Chaonan District, Shantou City, Guangdong	成年 Adult	315	广东省汕头市潮南区海洋与渔业局 Marine and Fishery Bureau of Chaonan District, Shantou City, Guangdong Province
2019.06	广西防城港 Fangchenggang City, Guangxi	1龄 1 st instar	60,000	中国水产科学研究院南海水产研究所 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences
2018.11	广西北海 Beihai City, Guangxi	成年 Adult	2,000	湛江博康海洋生物有限公司北海分公司 Zhanjiang Bokang Marine Biotechnology Co. Ltd., Beihai
2018.10	广西钦州三娘湾 Sanniang Bay, Qinzhou City, Guangxi	1龄 1 st instar	5,170,000	北部湾大学、广西大学 Beibu Gulf University and Guangxi University
2018.08	广西防城港 Fangchenggang City, Guangxi	1龄 1 st instar	30,000	中国水产科学研究院南海水产研究所 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences
2018.06	福建平潭敖东镇山歧澳中华鲎保护区 Shanqi'ao Chinese Horseshoe Crab Protected Area, Aodong Town, Pingtan City, Fujian	1龄 1 st instar	215,730	平潭综合实验区农村发展局 Rural Development Bureau of Pingtan Comprehensive Experimental Area
2018.05	广东湛江东海岛东南码头 Dongnan Pier, Donghai Island, Zhanjiang City, Guangdong	1龄 1 st instar	77,000	湛江市海洋与渔业局 Zhanjiang Marine and Fishery Bureau
2017.07	广西北海侨港镇南部水域 Southern waters of Qiaogang Town, Beihai City, Guangxi	1龄 1 st instar	550,000	北海市海洋与渔业局 Beihai Marine and Fishery Bureau
2017.07	福建福州市海域 Fuzhou City waters, Fujian	1龄 1 st instar	134,600	福州市海洋与渔业局 Fuzhou Marine and Fishery Bureau
2017.06	广东阳江东平镇南鹏岛海域 Nanpeng Island waters, Dongping Town, Yangjiang City, Guangdong	1龄 1 st instar	1,000	阳江市海洋与渔业局 Yangjiang Marine and Fishery Bureau
2017.02	广东湛江东海岛东南码头 Dongnan Pier, Donghai Island, Zhanjiang City, Guangdong	1龄 1 st instar	100,000	湛江市海洋与渔业局 Zhanjiang Marine and Fishery Bureau
2015.06	福建福州长乐区五显鼻渔港码头外海域 Coastal waters outside Wuxianbi Fish Pier, Changle District, Fuzhou City, Fujian	1龄 1 st instar	81,000	福州市海洋与渔业局 Fuzhou Marine and Fishery Bureau
2015.06	福建闽江口川石岛海域 Chuanshi Island waters, Minjiang Estuary, Fujian	1龄 1 st instar	110,000	福建省海洋渔业厅 Administration of Ocean and Fisheries of Fujian Province
2015.05	广东湛江东海岛东南码头 Southeast Pier, Donghai Island, Zhanjiang City, Guangdong	1龄 1 st instar	200,000	湛江市相关政府部门 Zhanjiang local governments
2014.05	福建金門烈屿乡埔头 Putou, Lieyuxiang Village, Kinmen County, Fujian	1龄 1 st instar	20,000	金门县政府 Kinmen County Government
2013.05	广东汕头南澳县前江港务码头 Qianjiang Wharf, Nan'ao County, Shantou City, Guangdong	不明 Unknown	不明 Unknown	不明 Unknown
2010.06	广东阳江海陵岛大角湾畔 Dajiao Bayside, Hailing Island, Yangjiang City, Guangdong	成年 Adult	200	国家农业农村部、广东省政府 Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the P. R. China and People's Government of Guangdong Province

(Carmichael et al, 2003), 再加上组织放流的单位对鲨幼体栖息地的位置与环境特征的认知有限, 常导致放流成功但成效难以保障的现状。放流鲨成体也是不明智的, 因为鲨生长周期8–10年, 而目前人工养殖技术无法将苗种饲养至成体, 所以成体都是从自然种群获取, 除了非法贸易被收缴的或生产鲨试剂被抽血的鲨以外, 不建议捕捞野生的鲨成体用作放流。

一个严谨的放流方案应包括合理的放流地点、时间及放流效果评估。我们建议在水温高于20℃的海水退潮期间, 在已知的中华鲨幼体生境滩涂上进行鲨苗放流; 若附近海岸线已被破坏, 可选择与已识别的中华鲨幼体栖息地特征(Xie et al, 2020)类似的潮间带。高密度的幼鲨种群多集中在红树林外缘、潮沟出水口附近或海草床附近(Chen et al, 2015; Kwan et al, 2016; Xie et al, 2020)。若条件允许, 建议选择自然死亡率较低的6–7龄幼鲨(头胸甲宽度8–10 mm)进行放流。同时也应考虑因长期养殖对种质的影响(Kwan et al, 2014)。有关政府部门可组织科研单位、公益组织和其他有关利益方一同开展放流活动, 严格采取科学把关以保障放流效果, 也可进行社区共管的方式改善市民的保护意识, 以形成政府主导、公众参与的生动局面。

3.3 加强科普教育和海洋野生动物保护法的宣传

珍稀物种保护的成败很大程度上取决于公众意识(social awareness)和利益相关方的态度(stakeholders' perception), 即STEPS框架最后的S。我国福建、广东、广西、香港和台湾地区开展了一系列科普宣教活动, 如“七夕海峡两岸中华鲨保育日”、“马蹄蟹校园保姆计划”、“不吃鲨消费倡导活动”、“水生野生动物保护宣传月活动”、“北部湾滨海湿地和鲨野外种群调查”等。2019年第四届国际鲨科学与保护研讨会首次在我国广西召开, 来自全球的100多名专家学者共同发布《全球鲨保护北部湾宣言》, 并将每年的6月20日正式确定为“国际鲨保育日”, 呼吁社会各界联动保护鲨资源。

科普活动需要公众长期参与, 在情感上建立联系, 才能有效改变环保态度、提升环保意识。例如, 在“马蹄蟹校园保姆计划”中, 参与的中学生负责幼鲨的饲养、为低年级学生或家长讲解鲨知识, 夏天将幼鲨放归野外; 在长时间的接触中与鲨建立了感情, 能显著提升中学生的野生动物保护意识与行动

力(Kwan et al, 2017)。在开展长期自然教育活动的同时, 也应探索社区共管方式的可能性, 如建立一套举报奖励机制, 鼓励公众协助巡逻监管、渔民有偿参与鲨捕捞数据的收集、组建志愿队伍定期在邻近海域开展幼鲨资源调查、提供社区鲨苗养殖技术支持并回购幼鲨进行增殖放流等。Plummer和Taylor (2004)发现, 公众参与环境保护工作的主动性和积极性, 很大程度上取决于有关政府部门是否提供社区参与的机会与机制。

鲨保护也可从食物安全的角度切入。据2017年广西北部湾沿岸市民的访谈资料可知, 40%的受访者知道圆尾鲨含河豚毒素(Fu et al, 2019), 食用后可引发急性食物中毒, 但只有59%的受访者能正确辨认不同种类的鲨。2018年7月广西防城港发生食鲨集体中毒事件后, 有关部门加强了市场巡查, 严禁售卖鲨(http://www.fcgs.gov.cn/xxgk/zdlyxxgk/spypaq/jgdt/201808/t20180809_62804.html), 间接保护鲨的效果显著。

通过自然教育或公众科普宣教方式提升鲨保护意识虽然取得了一定进展, 但要改变整个社会的公众环境保护意识和态度所需周期很长, 在中华鲨资源急速下降的情况下应采用多种方式大力加强科普和海洋野生动物保护法宣传。海洋珍稀物种保护的成效, 尤其是关注度不高的无脊椎生物, 不仅需要扎实的种群生态学研究支撑, 更取决于长期有效的管理规划以及公众积极正向的态度。政府部门、科研机构、环境宣教组织和其他利益相关方应加强联系、开展合作, 多方位、多角度保障中华鲨资源的可持续利用与发展。

参考文献

- Botton ML (2001) The conservation of horseshoe crabs: What can we learn from the Japanese experience? In: *Limulus in the Limelight: A Species 350 Million Years in the Making and in Peril?* (ed. Tanacredi JT), pp. 41–51. Springer, New York.
- Botton ML, Itow T (2009) The effects of water quality on horseshoe crab embryos and larvae. In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 439–454. Springer, New York.
- Brockmann HJ, Smith MD (2009) Reproductive competition and sexual selection in horseshoe crabs. In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 199–221. Springer, New York.
- Carmichael RH, Brush E (2012) Three decades of horseshoe

- crab rearing: A review of conditions for captive growth and survival. *Reviews in Aquaculture*, 4, 32–43.
- Carmichael RH, Rutecki D, Valiela I (2003) Abundance and population structure of the Atlantic horseshoe crab *Limulus polyphemus* in Pleasant Bay, Cape Cod. *Marine Ecology Progress Series*, 246, 225–239.
- Chen CP, Fan HQ, Liao YY, Qiu GL, Hsieh HL, Lin WY (2015) Horseshoe crab, the living fossil, is facing survival threats. *Science*, 67(3), 60–62. (in Chinese) [陈章波, 范航清, 廖永岩, 邱广龙, 谢蕙莲, 林吴颖 (2015) 面临生存困境的动物活化石——鲎. *科学*, 67(3), 60–62.]
- Chen CP, Yang MC, Fan LF, Qiu GL, Liao YY, Hsieh HL (2015) Co-occurrence of juvenile horseshoe crabs *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* in an estuarine bay, southwestern China. *Aquatic Biology*, 24, 117–126.
- Christianus A, Saad CR (2007) Horseshoe crabs in Malaysia and the world. *Fishery Mail*, 16, 8–9.
- Fu Y, Huang S, Wu Z, Wang CC, Su M, Wang X, Xu P, Huang X, Wu H, Wang Y, Wang J (2019) Socio-demographic drivers and public perceptions of consumption and conservation of Asian horseshoe crabs in northern Beibu Gulf, China. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29, 1268–1277.
- Gauvry G (2015) Current horseshoe crab harvesting practices cannot support global demand for TAL/LAL: The pharmaceutical and medical device industries' role in the sustainability of horseshoe crabs. In: *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management* (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 475–482. Springer International Publishing, Cham.
- Hong S, Zhang X, Zhao Y, Xie Y, Zhang Y, Xu H (2009) Effect of sediment type on growth and survival of juvenile horseshoe crabs (*Tachypleus tridentatus*). In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 535–540. Springer, New York.
- Hong SG (2011) *Biology of Horseshoe Crabs, Tachypleus tridentatus*. Xiamen University Press, Xiamen. (in Chinese) [洪水根 (2011) 中华鲎生物学研究. 厦门大学出版社, 厦门.]
- Hsieh HL, Chen CP (2009) Conservation program for the Asian horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* in Taiwan: Characterizing the microhabitat of nursery grounds and restoring spawning grounds. In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 417–438. Springer, New York.
- Hsieh HL, Chen CP (2015) Current status of *Tachypleus tridentatus* in Taiwan for Red List assessment. In: *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management* (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 383–396. Springer International Publishing, Cham.
- Hu MH, Wu FL, Li QZ, Gan H, Gong ZL, Wang YJ (2013) Habitat selection of released juvenile Chinese horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* tagged with visible implant elastomer. *Marine Environmental Science*, 32, 907–910. (in Chinese with English abstract) [胡梦红, 吴芳丽, 李琼珍, 甘晖, 龚竹林, 王有基 (2013) 应用可视嵌入式荧光标记技术研究中华鲎幼体野外放流后的生境选择. *海洋环境科学*, 32, 907–910.]
- Itow T (1993) Crisis in the Seto Inland Sea: Decimation of the horseshoe crab. *EMECs Newsletter*, 3, 10–11.
- Jegla TC, Costlow JD (1982) Temperature and salinity effects on developmental and early posthatch stages of *Limulus*. *Progress in Clinical Biology Research*, 81, 103–113.
- Jones T (2012) Resolutions and Recommendations: World Conservation Congress, Jeju, Republic of Korea. IUCN, Switzerland.
- Kwan BKY, Chan AKY, Cheung SG, Shin PKS (2014) Hemolymph quality as indicator of health status in juvenile Chinese horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* (Xiphosura) under laboratory culture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 457, 135–142.
- Kwan BKY, Cheung JHY, Law ACK, Cheung SG, Shin PKS (2017) Conservation education program for threatened Asian horseshoe crabs: A step towards reducing community apathy to environmental conservation. *Journal for Nature Conservation*, 35, 53–65.
- Kwan BKY, Hsieh HL, Cheung SG (2016) Present population and habitat status of potentially threatened Asian horseshoe crabs *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* in Hong Kong: A proposal for marine protected area. *Biodiversity and Conservation*, 25, 673–692.
- Kwan BKY, Shin PKS, Cheung SG (2015) Preliminary home range study of juvenile Chinese horseshoe crabs, *Tachypleus tridentatus* (Xiphosura), using passive tracking methods. In: *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management* (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 149–166. Springer International Publishing, Cham.
- Kwan BKY, Un VKY, Cheung SG, Shin PKS (2018) Horseshoe crabs as potential sentinel species for coastal health: Juvenile hemolymph quality and relationship to habitat conditions. *Marine and Freshwater Research*, 69, 894–905.
- Laurie K, Chen CP, Cheung SG, Do V, Hsieh H, John A, Mohamad F, Seino S, Nishida S, Shin P, Yang M (2019) *Tachypleus tridentatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T21309A149768986. [http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T21309A149768986/en/](http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T21309A149768986.en/) (accessed on 2019-12-11)
- Li YH, Xie XY, Kwan KY (2018) Endangered status and declaration on conservation of the “living fossil” *Tachypleus tridentatus*. *Wetland Science*, 16, 690–692. (in Chinese with English abstract) [李裕红, 颜晓勇, 关杰耀 (2018) 活化石中华鲎濒危现状及抢救性保护宣言. *湿地科学*, 16,

690–692.]

- Liao YY, Hsieh HY, Xu SQ, Zhong QP, Lei J, Liang MZ, Fang HY, Xu LL, Lin WY, Xiao XB, Chen CP, Cheung SG, Kwan BKY (2019a) Wisdom of crowds reveals clear decline of Asian horseshoe crabs in Beibu Gulf, China. *Oryx*, 53, 222–229.
- Liao YY, Li XM (2001) Present situation of horseshoe crab resources in the sea area of China and tactics of preservation. *Resources Science*, 23(2), 55–59. (in Chinese with English abstract) [廖永岩, 李晓梅 (2001) 中国海域鲎资源现状及保护策略. *资源科学*, 23(2), 55–59.]
- Liao YY, Liu K, Wu HP, Xu YH, Huang H, Xu SQ, Kwan KY (2019b) How survival and food intake of tri-spine horseshoe crabs, *Tachypleus tridentatus* respond to thermal variation: Implications for understanding its distribution limit. *Journal of Natural History*, 53, 1951–1960.
- Loveland RE, Botton ML (2015) Sea level rise in Delaware Bay, USA: Adaptations of spawning horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) to the glacial past, and the rapidly changing shoreline of the bay. In: *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management* (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 41–63. Springer International Publishing, Cham.
- Manca A, Mohamad F, Ahmad A, Sofa MF, Ismail N (2017) Tri-spine horseshoe crab, *Tachypleus tridentatus* (L.) in Sabah, Malaysia: The adult body sizes and population estimate. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10, 355–361.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China (2013) Nature Reserves in Guangdong Province. (in Chinese) [中华人民共和国生态环境部 (2013) 广东省自然保护区名录] http://www.mee.gov.cn/stbh/zrbhq/qgzrbhqml/201605/t20160522_342675_wap.shtml/. (accessed on 2019-12-11)
- Meilana L, Fang QH (2017) Siting and sustainability analysis for horseshoe crabs conservation in Indonesia. *Malaysian Journal of Halal Research*, 1, 4–7.
- Mohamad F, Ismail N, Ahmad AB, Manca A, Rahman MZFA, Bahri MFS, Sofa MFAM, Ghaffar IHA, Alia'm AA, Abdulllah NH, Kasturi MMM (2015) The population size and movement of coastal horseshoe crab, *Tachypleus gigas* (Müller) on the East Coast of Peninsular Malaysia. In: *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management* (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 213–228. Springer International Publishing, Cham.
- Mohamad F, Sofa MFAM, Manca A, Ismail N, Che CZ, Ahmad AB (2019) Nests placements and spawning in the endangered horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819) (Merostomata: Xiphosurida: Limulidae) in Sabah, Malaysia. *The Journal of Crustacean Biology*, 39, 695–702.
- Morton B, Lee CN (2011) Spatial and temporal distributions of juvenile horseshoe crabs (Arthropoda: Chelicerate) approaching extirpation along the northwestern shoreline of the New Territories of Hong Kong SAR, China. *Journal of Natural History*, 45, 227–251.
- Nguyen KS (2007) Vietnam Red Data Book. Natural Science and Technology Publishing House, Hanoi.
- Plummer J, Taylor J (2004) Community Participation in China: Issues and Processes for Capacity Building. Earthscan, London.
- Roby D, Liu YG (2011) Terminal Evaluation of the Biodiversity Management in the Coastal Area of the China's South Sea Project. <https://erc.undp.org/evaluation/documents/download/6330/>. (accessed on 2019-12-11)
- Rudkin DM, Young GA (2009) Horseshoe crabs—An ancient ancestry revealed. In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 25–44. Springer, New York.
- Rudloe A (1981) Aspects of the biology of juvenile horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*. *Bulletin of Marine Science*, 31, 125–133.
- SaBC (Sabah Biodiversity Centre) (2017) Export Licence. <http://www.sabc.sabah.gov.my/?q=content/export-licence-application-form/>. (accessed on 2019-12-11)
- Seino S, Uda T, Tsuchiya Y, Tsuchiya K (2003) Conservation history of horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* and its spawning ground, a designated natural monument in Kasaoka Bay in Okayama Prefecture. *Asian and Pacific Coasts*, 18, 551–556.
- Sekiguchi K (1988) Biology of Horseshoe Crab. Tokyo Science House Co. Ltd., Tokyo.
- Shin PKS, Li HY, Cheung SG (2009) Horseshoe crabs in Hong Kong: Current population status and human exploitation. In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 347–360. Springer, New York.
- Shuster CN, Sekiguchi K (2009) Basic habitat requirements of the extant species of horseshoe crabs (Limulacea). In: *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs* (eds Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR), pp. 115–129. Springer, New York.
- Vietnam NBSAP (National Biodiversity Strategies and Action Plans) (2014) Vietnam's Fifth International Report to the United Nations Convention on Biological Diversity. Reporting period: 2009–2013. Ministry of Natural Resources and Environment, Hanoi.
- Wang CC, Huang SL, Wang XP, Xu P, Huang X, Liao YY, Xie XY, Kwan KY (2019) Conserving the understudied invertebrates: A call for a systematic monitoring protocol for Asian horseshoe crabs in nursery habitats. *Endangered Species Research*, 40, 369–373.
- Weng ZH, Xie YJ, Xiao ZQ, Huang LM, Li J, Wang SH, Zhang YZ (2012) Distribution and resource of Chinese horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*) in Fujian and other coast water of China. *Chinese Journal of Zoology*, 47(3), 40–48. (in Chinese with English abstract) [翁朝红, 谢仰杰,

- 肖志群, 黄良敏, 李军, 王淑红, 张雅芝 (2012) 福建及中国其他沿岸海域中华鲎资源分布现状调查. 动物学杂志, 47(3), 40–48.]
- Xie XY, Wu Z, Wang CC, Fu YJ, Wang XP, Xu P, Huang X, Liao YY, Huang SL, Kwan KY (2020) Nursery habitat for Asian horseshoe crabs along the northern Beibu Gulf, China: Implications for conservation management under baseline gaps. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30, 260–272.
- Zeng JN, Chen QZ, Huang W, Du P, Yang H (2016) Reform of the marine ecological protection system in China: From marine protected areas to marine ecological redline regions. *Acta Ecologica Sinica*, 36, 1–10. (in Chinese with English abstract) [曾江宁, 陈全震, 黄伟, 杜萍, 杨辉 (2016) 中国海洋生态保护制度的转型发展——从海洋保护区走向海洋生态红线区. *生态学报*, 36, 1–10.]

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 中华鲎在世界海域的分布记录

Appendix 1 Global distribution records of *Tachypleus tridentatus*

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019401-1.pdf>

附录1 中华鲎在世界海域的分布记录

Appendix 1 Global distribution records of *Tachypleus tridentatus*

分布 (调查年份) Occurrence (year of investigation)	参考文献 Reference
中国 China	
浙江省 Zhejiang Province	
舟山宁海三门湾; 温州洞头岛(2006) Sanmen Bay, Ninghai County, Zhoushan City; Dongtou Island, Wenzhou City (2006)	翁朝红等(2012)
福建省 Fujian Province	
东山湾; 厦门后田、澳头和南安石井; 古雷半岛龙口海滩(2006–2007) Dongshan Bay; Houtian, Aotou and Nananshijing in Xiamen; Longkou Beach, Gulei Peninsular (2006–2007)	翁朝红等(2012)
广东省 Guangdong Province	
雷州湾、珠江口海域以及潮汕地区海域(2009) Leizhou Bay, Zhujiang and Chaoshan waters (2009)	翁朝红等(2012)
湛江雷州湾东南岛(未交代调查年份) Dongnan Island, Leizhou Bay, Zhanjiang City (unknown date)	Liao et al (2012)
广西壮族自治区 Guangxi Zhuang Autonomous Region	
防城港市山心、交东、渔洲坪、榄埠、沙螺辽; 钦州市中三墩; 北海市西背岭、下村、金海湾、竹林、铁山港、沙田港、榕根山(2018) Shanxin, Jiaodong, Yuzhouping, Lanbu and Shaluoliao in Fangchenggang City; Zhongsandun in Qinzhou City; Xibeiling, Xiacun, Jinhaiwan, Zhulin, Tieshangang, Shatiangang and Ronggenshan in Beihai City (2018)	Xie et al (2020)
海南省 Hainan Province	
北部湾西北和东北海域、儋州湾(2009) Northwestern and northeastern waters of Beibu Gulf, Danzhou Bay (2009)	翁朝红等(2012)
台湾省 Taiwan Province	
台湾西岸、澎湖列岛、金门岛(2013) West coast of Taiwan Island, Penghu Islands Archipelago, Kinmen Island (2013)	Hsieh & Chen (2015)
香港特别行政区 Hong Kong Special Administrative Region	
尖鼻咀、下白泥、白泥、东涌、磡头、深屈、水口(2014) Tsim Bei Tsui, Ha Pak Nai, Pak Nai, Tung Chung, San Tau, Sham Wat, Shui Hau (2014)	Kwan et al (2016)
日本 Japan	
九州北部 Northern Kyushu	
大分、福岡、佐贺和长崎县(未交代调查年份) Oita, Fukuoka, Saga and Nagasaki prefectures (unknown date)	Nishida et al (2015)
濑户内海 Seto Inland Sea	
冈山、广岛、山口和爱媛县(未交代调查年份) Okayama, Hiroshima, Yamaguchi and Ehime prefectures (unknown date)	Nishida et al (2015)

越南 Vietnam

- 集中在中部沿海省份(2007) Nguyen (2007)
Mainly in the central coastal provinces (2007)

马来西亚 Malaysia

沙巴 Sabah

- 帕帕、丹绒利茂、贾邦根岛、哥打毛律、亚庇、孟加塔尔河、山打根、敦萨 Manca et al (2017a)
卡兰海洋公园、仙本那群岛公园和英德拉萨巴(2014–2015)
Papar, Tanjung Limau, Jambongan Island, Kota Belud, Kota Kinabalu, Mengattal
River, Sandakan, Tun Sakaran Marine Park, Semporna Islands Park and
Inderasabah (2014–2015)

砂拉越 Sarawak

- 鹿通河、美里和瓜拉尼拉劳海滩(2013–2014) Jawahir et al (2017)
Lutong River, Miri and Kuala Nyalau Beach (2013–2014)

Indonesia 印尼

- 北苏门答腊 North Sumatra** (未交代调查年份) Sekiguchi (1988)
西博尔加 Sibolga (unknown date)

- 西苏门答腊 West Sumatra** (未交代调查年份)
巴东 Padang (unknown date)

- 北苏拉威西 North Sulawesi** (未交代调查年份)
万鸦老 Manado (unknown date)

加里曼丹 Kalimantan

- 彭纳贾帕瑟北和巴厘巴板(2017–2018) Meilana & Fang (2020)
Penajam Paser Utara and Balikpapan (2017–2018)

西爪哇 West Java

- 万丹, 因德拉马尤和梳邦(2016) Mashar et al (2017b)
Banten, Indramayu and Subang (2016)

中爪哇 Central Java

- 三宝垄 Semarang (2016)

东爪哇 East Java

- 格雷西克、潘苏鲁安、图班和泗水(2016)
Gresik, Pansuruan, Tuban and Surabaya (2016)

菲律宾 Philippines

- 巴拉望岛(2017) Kaiser & Schoppe
Palawan Island (2017) (2018)
-

附录参考文献

- Hsieh HL, Chen CP (2015) Current status of *Tachypleus tridentatus* in Taiwan for Red List assessment. In: Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 383–396. Springer International Publishing, Cham.
Jawahir AN, Samsur M, Shabdin ML, Adha AK (2017) Distribution of two species of Asian horseshoe crabs at west coast of Sarawak's Waters, East Malaysia. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 43, 135–140.

- Kaiser D, Schoppe S (2018) Postembryonic development of the tri-spine horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* (Merostomata: Xiphosura) in a nursery habitat in the Philippines. *Journal of Threatened Taxa*, 10, 12916–12932.
- Kwan BKY, Hsieh HL, Cheung SG (2016) Present population and habitat status of potentially threatened Asian horseshoe crabs *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* in Hong Kong: A proposal for marine protected area. *Biodiversity and Conservation*, 25, 673–692.
- Liao YY, Chen CP, Hsieh HL, Cao YC, Chen JJ (2012) Sallow-skin horseshoe crabs (late juvenile *Tachypleus tridentatus*) as osmoconformers. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92, 463–468.
- Manca A, Mohamad F, Ahmad A, Sofa MFAM, Ismail N (2017a) Tri-spine horseshoe crab, *Tachypleus tridentatus* (L.) in Sabah, Malaysia: The adult body sizes and population estimate. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10, 355–361.
- Mashar A, Butet NA, Juliandi B, Qonita Y, Hakim AA, Wardiatno Y (2017b) Biodiversity and distribution of horseshoe crabs in northern coast of Java and southern coast of Madura. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54, 012076.
- Meilana L, Fang Q (2020) Local knowledge-based study on the status of horseshoe crabs along the Indonesian coast. *Regional Studies in Marine Science*, 36, 101252.
- Nguyen KS (2007) Vietnam Red Data Book. Natural Science and Technology Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- Nishida S, Kuroyanagi K, Koike H (2015) Genetic features of *Tachypleus tridentatus* in Japan and an alien (non-native) population founded at Ise-Mikawa Bay, Chubu region, central Japan. In: *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management* (eds Carmichael RH, Botton ML, Shin PKS, Cheung SG), pp. 129–146. Springer International Publishing, Cham.
- Sekiguchi K (1988) *Biology of Horseshoe Crab*, 1st edn. Tokyo Science House Co. Ltd., Tokyo.
- Weng ZH, Xie YJ, Xiao ZQ, Huang LM, Li J, Wang SH, Zhang YZ (2012) Distribution and resource of Chinese horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*) in Fujian and other coast water of China. *Chinese Journal of Zoology*, 47, 40–48. (in Chinese with English abstract) [翁朝红, 谢仰杰, 肖志群, 黄良敏, 李军, 王淑红, 张雅芝 (2012) 福建及中国其他沿岸海域中华鲎资源分布现状调查. *动物学杂志*, 47, 40–48.]
- Xie XY, Wu Z, Wang CC, Fu YJ, Wang XP, Xu P, Huang X, Liao YY, Huang SL, Kwan KY (2020) Nursery habitat for Asian horseshoe crabs along the northern Beibu Gulf, China: Implications for conservation management under baseline gaps. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30, 260–272.



•研究报告•

新冠肺炎疫情时期公众对野生动物 消费和贸易意愿的调查

史湘莹^{2,3} 张晓川¹ 肖凌云¹ 李彬彬⁴ 刘金梅⁵
杨方义⁶ 赵翔³ 程琛³ 吕植^{1,3*}

1 (北京大学生命科学学院自然保护与社会发展研究中心, 北京 100871)

2 (北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871)

3 (山水自然保护中心, 北京 100871)

4 (昆山杜克大学环境研究中心, 江苏苏州 215316)

5 (自然之友, 北京 100029)

6 (桃花源生态保护基金会, 北京 100011)

摘要: 新冠肺炎疫情的暴发, 使得对野生动物的消费与贸易中的公共健康安全问题引起广泛关注。为了给相关的立法和政策制定提供参考, 我们通过网络对于全国及部分海外华人发放问卷进行了调查, 共收回74,040份有效问卷。根据问卷调查结果, 本文对普通公众对于野生动物消费和贸易立法意愿及影响因素进行了分析。研究结果包括: (1) 公众对全面取缔野味餐馆和集市、禁止消费野味、禁止野生动物及其制品的买卖以及禁止野生动物商业性活体展演的立法动议持赞成态度的比例均超过90%; (2) 现有野生动物消费群体经历新冠肺炎疫情后倾向于停止消费行为; (3) 曾经消费野生动物或周围有人从事野生动物相关产业的群体相比其他人更有可能不支持全面禁止对野生动物的消费和贸易。结果表明, 全国人民代表大会常务委员会禁食野生动物的决定和修改野生动物保护法的动议在受高等教育者和城镇居民中有良好的公众基础。

关键词: 野生动物消费; 野生动物贸易; 公共健康安全; 保护政策

Public perception of wildlife consumption and trade during the COVID-19 outbreak

Xiangying Shi^{2,3}, Xiaochuan Zhang¹, Lingyun Xiao¹, Binbin V Li⁴, Jinmei Liu⁵, Fangyi Yang⁶, Xiang Zhao³, Chen Cheng³, Zhi Lü^{1,3*}

1 Center for Nature and Society, School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 College of Environmental Science and Engineering, Peking University, Beijing 100871

3 Shanshui Conservation Center, Beijing 100871

4 Environmental Research Center, Kunshan Duke University, Suzhou, Jiangsu 215316

5 Friends of Nature, Beijing 100029

6 Paradise International Foundation, Beijing 100011

Abstract: The COVID-19 pandemic has drawn great attention to the potential public health risks associated with the consumption and trade of wildlife. To inform legislative revision and policy changes, we conducted a web-based survey of the general public, attracting 74,040 responses. The survey examined public support for revising legislation and policy related to wildlife consumption and trade management. The results and analysis revealed: (1) The overwhelming majority (> 90%) of constituents supported more stringent policy and legislation on wildlife consumption, trade, and commercial exhibitions. (2) The consumption of wildlife is likely to fall due to COVID-19. (3) People that engaged either directly or indirectly in wildlife-related industries showed less support for more stringent policy and legislation on wildlife consumption and trade. Based on these results and concerns for public health security, a ban on wildlife consumption and revised legislation

收稿日期: 2020-04-01; 接受日期: 2020-06-08

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: luzhi@pku.edu.cn

by the Standing Committee of the National People's Congress was widely supported, particularly among educated, urban respondents.

Key words: wildlife consumption; wildlife trade; public health security; conservation policy

新冠肺炎(COVID-19)从2019年12月下旬被发现,已给全球人民的生产生活造成了巨大的影响。由于新冠病毒(SARS-CoV-2)与自然界尤其是野生动物可能的关联,引起了社会公众对野生动物利用和贸易管理议题的广泛讨论。尽管现有研究尚未完全确认病毒的源头和传播途径,但是目前的流行病学研究多指向病毒来源与野生动物的关联(Wang et al, 2020):蝙蝠(*Chiroptera* spp.)很可能是新冠病毒的储存宿主(Zhou et al, 2020),马来穿山甲(*Manis javanica*)等野生动物有可能是病毒传播和突变过程中的中间宿主(Ji et al, 2020; Lam et al, 2020; Liu et al, 2020; Zhang et al, 2020)。

除了新冠肺炎以外,已有研究表明很多人兽共患传染病的流行与野生动物贸易有密切的关系(Karesh et al, 2005, 2007; Swift et al, 2007)。事实上,近些年来世界各地出现的新发传染病,如严重急性呼吸综合症(SARS)、亨德拉病毒感染、尼帕病毒感染、人感染H7N9禽流感、埃博拉出血热、中东呼吸综合征等,都是人兽共患疾病。统计发现,1940–2004年全球335种新发传染性疾病中,有60.3%由人兽共患病病原引起,而其中71.8%的病来源于野生动物(张劲硕等, 2003; Jones et al, 2008; 秦川, 2008)。在野生动物贸易,尤其是食用类野生动物贸易过程中的猎捕、养殖、活体交易、消费等场景中,野生动物的活体密集聚集、物种间接触以及与人的密切接触等,是造成传染性动物疾病及人兽共患病暴发的重要原因(Karesh et al, 2005)。随着全球化进程的发展,世界范围交通的便利和人口的流动使得流行性传染病暴发和传播的影响大大增加(Hufnagel et al, 2004)。可以说,野生动物的消费和贸易对于公共健康的风险已经成为公共安全问題。

与我国陆生野生动物的利用和贸易相关的法律主要是《中华人民共和国野生动物保护法》,其中规定了野生动物特许猎捕证和狩猎证分别是猎捕国家重点保护动物和非国家重点保护动物需要的许可,野生动物驯养繁育许可证是国家重点保护动物驯养必须获得的许可;野生动物经营利用许可证则是非国家重点保护动物通过人工繁育后进行

利用必须获得的行政许可。然而,《中华人民共和国野生动物保护法》等现有法律政策对野生动物贸易和消费中存在的公共卫生安全隐患仍然存在监管和执法漏洞。例如对蝙蝠、旱獭(*Marmota himalayana*)等有潜在公共卫生安全风险的陆生野生动物物种没有规定限制猎捕、驯养和利用。另一方面,很多用于食用的野生动物在实际繁育、经营利用中缺乏检验检疫的规程和技术,对于公共健康隐患的防范和监督尚不完善。

新冠肺炎疫情的暴发引发了各界对禁食野生动物以及修订相关法律的呼吁。全国人民代表大会常务委员会在2020年2月24日也做出决定,全面禁止野生动物的食用和相关贸易,并将尽快修订《中华人民共和国野生动物保护法》以及相关配套规定。

公众的意愿,无论是普通消费者还是相关利益群体,对法律和规定修订的方向,特别是之后的执行是否有效起着关键的作用。越来越多的生态学研究,尤其是针对与社会公众和政策管理相关的议题,经常使用问卷调查的方法来量化分析人们的行为,例如对生态保护政策的看法和态度。问卷调查常采用系统抽样(systematic sampling)、综合抽样(comprehensive sampling)、便利抽样(opportunistic sampling)的形式,其中电话、邮件、入户等调查方法更适合进行系统抽样、综合抽样等,但成本较高(White et al, 2005)。近年来网络问卷调查的使用越来越多,具有成本低、速度快的特点(Marta-Pedroso et al, 2007),但其抽样方法属于便利抽样,可能存在样本选择偏差,其结果需要通过抽样概率加权调整等方法进行处理(Zeng et al, 2001)。基于成本和时间两方面考虑,我们设计并通过网络发放了“公众对野生动物消费、贸易、立法意愿的调查问卷”,希望了解普通公众对于野生动物的消费和贸易以及相关法律修订的意愿,以期为进一步野生动物利用管理政策的制定和保护行动提供依据。

1 方法

1.1 调查方法

本研究采取方便抽样的调查方法,问卷全部通

过网络进行发放和回收, 问卷填写的对象为普通公众, 地理范围主要以中国国内为主。问卷在网络数据平台灵析(<https://www.lingxi360.com/>)发布, 通过社交媒体平台如山水自然保护中心等多个微信公众号、微博及微信朋友圈等多种方式转发传播, 通过问卷提交收集结果。从2020年1月28日开始汉语问卷的投放收集, 2月13日停止收集; 从2月1日起, 通过一些藏语微信公众号投放藏语版本的相同问卷, 同样于2月13日停止收集。一共收到10,1172份反馈, 其中汉语问卷有97,094份, 藏语问卷有4,078份。剔除重复提交及信息不全的问卷, 有效问卷共74,070份, 有效问卷率为73.2%。

整体问卷设计以公众对野生动物消费和贸易的态度、在新冠肺炎疫情背景下对野生动物利用的态度和行为改变的意愿以及对修订法律禁止野生动物食用和相关利用和贸易的意愿为主要内容。在这个问卷中, 我们所关注的野生动物仅限于陆生脊椎动物, 即人类驯化的家养动物之外的所有陆生脊椎动物(不包括水生生物及海产品、昆虫等)。野味指含上述野生动物的活体及制成品。其中, 国家重点保护野生动物名录见国家林草局官网(<http://www.forestry.gov.cn/main/3954/content-1063883.html>)。

问卷共设计27道问题, 其中非开放性问题21道(附录1)。主要内容有以下五类:

(1)背景信息: 分别为年龄、性别、居住地、城乡、教育程度、收入区间、职业类型(含其他)、工作/兴趣是否与保护相关。

(2)社会认知与态度: 包括对食用野味、使用野生动物制品(毛皮、骨制品、药剂等)以及人工驯养野生动物的态度。大部分关于行为、态度和意愿的问题都是直接提问, 只有关于受访者与野生动物利用关系的问题采用了较为婉转的问法, 即“周围是否有人从事野生动物繁育和利用相关产业”(“周围”包括自身从事及身边接触、社会交往中有人从事相关产业)、“是否看到过有人吃野生动物”两个问题。“吃野生动物”主要包括在使用野生动物作为食材的餐馆食用野味, 及在集市购买野生动物用于食用的行为。既可能包含自己也包含社会交往中接触的人, 因此更多指的是对食用野生动物行为的接触而不直接指向被调查者本身是消费者, 但一定程度上体现了是否有食用野生动物的社会环境。

(3)法律认知: 包括对野生动物保护相关法规

的了解情况和野生动物利用相关许可证制度了解情况两个问题。对《中华人民共和国野生动物保护法》等相关法律法规及相关许可证的了解, 可以反映公众对相关法律知识的了解程度和关注度, 也会为未来政策普及和执行工作提供依据。因此, 我们针对法律知识的了解程度也设置了相关问题。

(4)疫情对行为的影响: 包括疫情对野生动物消费行为的影响(含其他)和对野生动物观察行为的影响(含其他)两个问题。在新冠肺炎暴发之后, 由于疫情起源和野生动物可能的关系, 一方面引发了一些公众对于野生动物的恐慌排斥心理, 消费利用和户外观察等接触可能会减少; 另一方面相关议题的讨论也有可能激发公众对野生动物保护议题的关注。因此, 我们设计了针对野生动物消费和观察行为的问题来了解调查人群中有关观察野生动物爱好和习惯的群体的比例。

消费野生动物的内涵比前面所问到的“吃野生动物”的行为含义更广, 包含食用、使用制品等多种消费行为。通过此问题, 我们可以将疫情之前本身有消费野生动物行为的人鉴别为野生动物消费者, 作为疫情前是否消费野生动物的变量之一放入后续分析。

(5)对假设的立法动议的态度: 包括对是否取缔野味餐馆和集市、是否禁止食用野生动物、是否禁止野生动物制品交易、是否禁止动物园外野生动物活体展演的意愿。这4个问题分别设定了强烈赞成、倾向赞成、中立、不倾向赞成和强烈不赞成5个意愿量度。

1.2 问卷数据处理及描述性统计

将全部样本问卷收齐之后, 使用Excel 2019软件整合所有数据, 进行初步描述性统计。选取全部回答完整的问卷作为有效问卷, 数据处理用Stata 14实现。网络调查问卷属于便利抽样方法, 其样本可能存在对于部分人群过度抽样的问题。在全部的有效问卷中, 女性占60.3%, 严重偏离我国总人口中女性的比例48.7%, 常住城镇人口比例(87.0%)也严重偏离社会总体参考城镇人口比例49.7% (中华人民共和国国家统计局, 2011)。因此按照中国第六次人口普查(<http://www.stats.gov.cn/tjsj/pcsj/rkpc/6rp/indexce.htm>)的性别比例和城镇人口比例为社会总体人口特征参考值, 以总体抽样概率与样本抽样概率的比值作为权重(inverse probability weight), 对全部有效问卷

数据总体进行加权处理(Zeng et al, 2001); 并在模型分析中, 比较抽样概率加权模型(inverse probability weight model)与全样本模型(full sample model)的估计结果是否仍然一致。

1.3 样本数据有效性检验

对于通过问卷、访谈调查而获得的心理因素数据, 需要进行信度、效度分析来测度数据的质量。本研究使用克隆巴赫系数(Cronbach's α)检验数值型因变量的3个系列内部一致性来进行信度分析, 使用组合信度(composite reliability, CR)和平均变异萃取量(average variance extracted, AVE)检验因子的统计有效性来进行效度分析。对于3个数据系列, 如果Cronbach's $\alpha > 0.7$, CR > 0.7 , AVE > 0.5 , 则说明可观测变量设置具有高信度, 以及测量模型具有高聚合效度(Cronbach, 1951; Cronbach & Shavelson, 2004)。

1.4 对影响野生动物相关法律认知、行为变化及立法动议态度等因素的排序及二元Logit模型分析

分别利用二元选择Logit模型及排序Logit模型(ordered Logit model)对于本调查关心的3个问题进行分析: 对野生动物相关法律认知、疫情对消费及观察行为变化及对立法动议的态度问题。

在计量经济学模型中, 如果被解释变量是离散的, 则被称为离散选择模型, 其中如果被解释变量只存在两种选择, 则被称为二元选择模型, 如果存在多种选择则被称为多元选择模型。多元选择模型如果有排序特征, 则适用于排序模型。如果离散选择模型的被解释变量为非线性, 需要转化为随机效用模型(random utility model), 假设受到自变量影响的不可观测的随机效用将影响人群作出行为选择。以立法动议的意愿为例, 有5个赞成意愿程度(强烈不赞成为1, 不倾向赞成为2, 中立为3, 倾向赞成为4和强烈赞成为5), 为有序分类变量。假设个体的随机效用为不可观测的变量 $y^* = x'\beta + \varepsilon$, x' 为影响随机效用的自变量, 而选择赞成意愿的规则为:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{若 } y^* \leq r_1 \\ 2, & \text{若 } r_1 < y^* \leq r_2 \\ 3, & \text{若 } r_2 < y^* \leq r_3 \\ 4, & \text{若 } r_3 < y^* \leq r_4 \\ 5, & \text{若 } r_4 < y^* \end{cases} \quad (1)$$

其中 r_1-r_4 为阈值。假设扰动项服从Logit分布, 通过最大似然法(maximum likelihood estimation method)可对模型中的回归系数和阈值进行估计。自变量的回归系数为正说明这个因素越大将倾向于更高的意愿, 为负说明这个因素越大将倾向于更低的意愿。

分析哪些人群的野生动物消费和自然观察行为更容易受到此次疫情的影响。有3种行为改变的二元选择: 本来消费野生动物的消费者选择继续消费还是停止消费, 本来观察野生动物的自然爱好者选择继续自然观察还是停止自然观察, 本来不是自然爱好者的人选择仍然不观察还是开始自然观察, 因此我们选择二元Logit模型进行分析。自变量的回归系数为正说明这个因素越大将越倾向于值为1的选择, 为负则越大越倾向于值为0的选择。

继而, 我们感兴趣的是, 这些相关人群是否对法律和许可证更了解, 以及他们对于立法动议的意愿是否更强烈, 以及其他因素如何影响这些态度。本调查中, 对法律的了解程度(不了解为1, 有一些了解为2, 很了解为3)和证照的了解程度(不了解为1, 听说但不了解为2, 很了解为3)为离散有序变量, 都使用排序Logit模型进行估计。自变量的回归系数为正说明这个因素越大倾向于更了解, 为负则这个因素越大倾向于更不了解。

本调查收集到的自变量大部分为分类变量, 其中, 食用野生动物行为的遇见率、年龄、教育水平、收入都为有序分类变量, 但因为等级间距不同, 且不同等级对因变量的影响效应不一致, 因此将这些变量都按照分类变量分别设置虚拟变量, 与最低等级进行比较。变量的名称、类型与含义详见表1。

2 结果

2.1 受访者背景

在问卷填写者中, 39.7%是男性, 60.3%是女性, 男女比例为0.66:1。城镇居民占87.0%, 农村13.0%。从年龄分布来看, 19-30岁35.5%, 31-55岁53.5%, 0-18岁和55岁以上的分别占3.4%和7.6%。在教育程度上, 学历分布比例见图1, 小学及以下1.8%, 初高中13.2%, 大学及以上学历85.0% (大学60.6%, 研究生及以上24.4%)。职业分布上, 专业技术人员、教育与科研从业者及学生占据了60.6% (图2)。在收入分布上, 月收入在1,000元及以下的占13.9%, 1,000-5,000元的占27.9%, 5,000-10,000元占31.9%,

表1 调查问卷变量名称及定义
Table 1 Questionnaire variables and definitions

变量 Variables	类型 Type	定义 Definition
背景特征 Background		
性别 Gender (GND)	分类 Categorical	女: 1; 男: 0 Female, 1; Male, 0
省份 Province (PRV)	分类 Categorical	每个省生成一个虚拟变量 Provincial dummies
城乡 Urbanization (URB)	分类 Categorical	城镇: 1; 农村: 0 Urban, 1; rural, 0
年龄 Age (AGE)	分类 Categorical	虚拟变量(1, 0): AGE1: 0–18岁; AGE2: 19–30岁; AGE3: 31–55岁; AGE4, 56岁以上 Dummies (1, 0): AGE1, 0–18 years old; AGE2, 19–30 years old; AGE3, 31–55 years old; AGE4, above 56 years old
教育程度 Education level (EDU)	分类 Categorical	虚拟变量(1, 0): EDU1: 小学及以下; EDU2: 初高中; EDU3: 大学; EDU4: 研究生及以上 Dummies (1, 0): EDU1, Below primary school; EDU2, Middle or high school; EDU3, Graduate; EDU4, Post graduate
月收入 Monthly income level (CNY) (INC)	分类 Categorical	虚拟变量(1, 0): INC1: 0–1,000元; INC2: 1,000–5,000元; INC3: 5,000–10,000元; INC4: 10,000–30,000元; INC5: 大于30,000元 Dummies (1, 0): INC1, 0–1,000 CNY; INC2, 1,000–5,000 CNY; INC3, 5,000–10,000 CNY; INC4, 10,000–30,000 CNY; INC5, above 30,000 CNY
看到周围有人吃野味次数 See surrounding people eat wildlife (times) (EAT)	分类 Categorical	虚拟变量(1, 0): EAT1: 无; EAT2: 1–3次; EAT3: 3–10次; EAT4: 10次以上 Dummies (1, 0): EAT1, None; EAT2, 1–3 times; EAT3, 3–10 times; EAT4, above 10 times
工作/兴趣是否自然保护相关 Engaged or interested in nature conservation (CSV)	分类 Categorical	是: 1; 否: 0 Yes, 1; No, 0
周围有人从事野生动物利用相关产业 Engaged either directly or indirectly in wildlife-related industries (IND)	分类 Categorical	有任意类型: 1; 无: 0 Any type, 1; None, 0
过去有消费野生动物行为 Consumed wildlife in the past (CSM)	分类 Categorical	有: 1; 无: 0 Yes, 1; No, 0
过去消费野生动物, 现在停止 Consumed wildlife in the past but tend to stop now (STOPCSM)	分类 Categorical	有: 1; 无: 0 Yes, 1; No, 0
过去有自然观察野生动物行为 Observed wildlife in the past (WAT)	分类 Categorical	有: 1; 无: 0 Yes, 1; No, 0
过去有自然观察, 现在停止 Observed wildlife in the past but stop now (STOPWAT)	分类 Categorical	有: 1; 无: 0 Yes, 1; No, 0
过去无自然观察, 现在开始 Never observe wildlife before but will start to observe wildlife now (MOREWAT)	分类 Categorical	有: 1; 无: 0 Yes, 1; No, 0
对相关法规了解情况 Knowledge about related laws (LAW)	有序 Ordinal	否: 1; 听说过一些: 2; 是: 3 No, 1; Some, 2; Yes, 3
对相关许可证了解情况 Knowledge about related certificates (CER)	有序 Ordinal	不了解: 1; 听过但不了解: 2; 了解: 3 No, 1; Have heard but don't know much, 2; Know very well, 3
对立法动议的态度 Attitude towards legislation motion		
取缔野味集市和餐馆 Ban on wildlife markets and restaurants (BMKT)	有序 Ordinal	强烈不赞成: 1; 不倾向赞成: 2; 中立: 3; 倾向赞成: 4; 强烈赞成: 5 Strongly disagree, 1; Disagree, 2; Neutral, 3; Agree, 4; Strongly agree, 5
禁止消费者食用野味 Ban on wildlife eating (BEAT)	有序 Ordinal	强烈不赞成: 1; 不倾向赞成: 2; 中立: 3; 倾向赞成: 4; 强烈赞成: 5 Strongly disagree, 1; Disagree, 2; Neutral, 3; Agree, 4; Strongly agree, 5
禁止野生动物及制品买卖 Ban on wildlife and wildlife product trade (BPDT)	有序 Ordinal	强烈不赞成: 1; 不倾向赞成: 2; 中立: 3; 倾向赞成: 4; 强烈赞成: 5 Strongly disagree, 1; Disagree, 2; Neutral, 3; Agree, 4; Strongly agree, 5
禁止在动物园之外展示野生动物活体展演 Ban commercial exhibition of wild animals outside zoos (BSHW)	有序 Ordinal	强烈不赞成: 1; 不倾向赞成: 2; 中立: 3; 倾向赞成: 4; 强烈赞成: 5 Strongly disagree, 1; Disagree, 2; Neutral, 3; Agree, 4; Strongly agree, 5

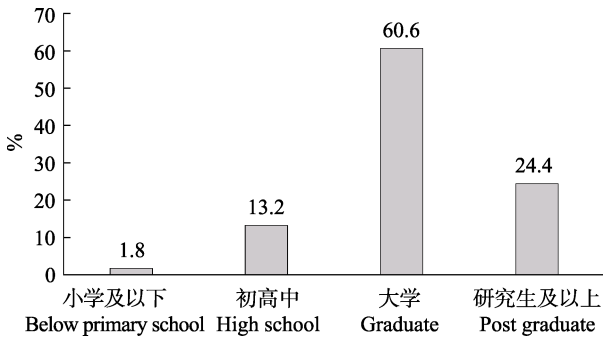


图1 调查样本学历分布比例

Fig. 1 The percentage of education levels in the survey sample

10,000–30,000 元的占 21.2%，30,000 元以上的占 5.1%。从地区来看，填表人群较为集中在北上广等人口密集的城市地区(占 30.2%)，在海外和港澳台也有分布。

2.2 受访者的从业和行为与野生动物的关联

在填表人群中，有 14.2% 是周围有人从事陆生野生动物繁育和利用相关产业的(“周围”包括自身

从事及身边接触、社会交往中有人从事相关产业)，包括陆生野生动物繁育、制品利用、经营交易和活体展演等(图3)。这个问题并不能定位直接从事相关产业的人，但一定程度上代表了产业利益相关的群体。

另一方面，在受调查者中，工作或者兴趣与自然保护相关的占了 37.1%。新冠肺炎疫情之前，有 40.9% 的人有过观察野生动物的行为，例如观鸟等。这两类人群也有可能更有兴趣填写本问卷。

新冠肺炎疫情之前，有 12.3% 的人有过消费野生动物的行为，可以代表野生动物的消费者。调查中与消费相关的另一个问题是看到过周围人吃野生动物的次数，66.1% 的人从未见过有人吃野生动物。在接触过野生动物食用行为的人群中，看到过 3 次以下的人占 23.2%，3–10 次的人占 7.4%，10 次以上的占 3.3%。因为这个问题中包含受调查者自己及观察到别人的行为，所以更适合解读为代表吃野味的社会习俗和可及性的变量。

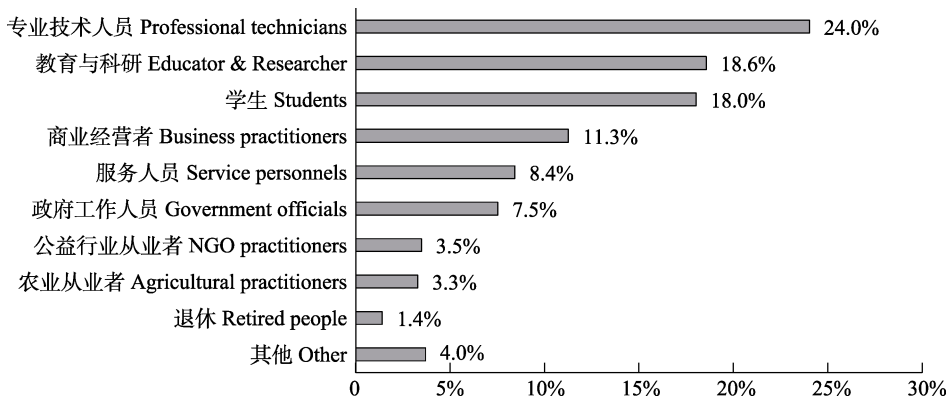


图2 调查样本职业分布比例

Fig. 2 The percentage distribution of occupations in the survey sample

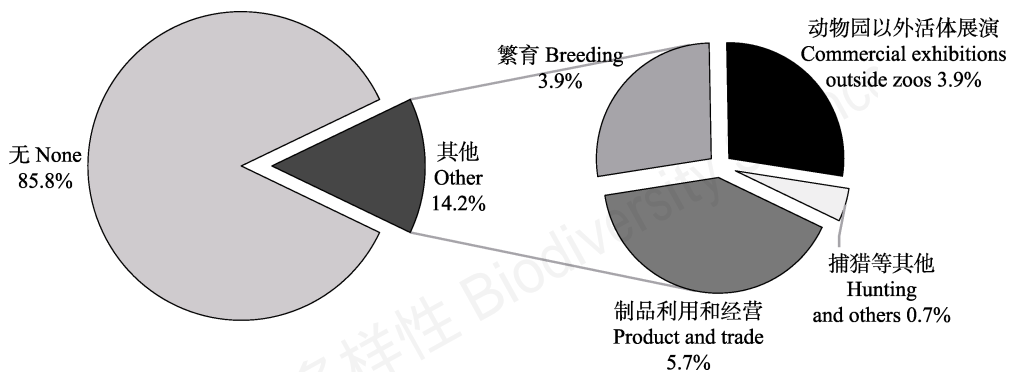


图3 调查样本中周围是否有人从事野生动物繁育利用相关产业的分布情况

Fig. 3 The percentage distribution of the people with other people around or themselves engaged in wildlife related industry in the survey sample

2.3 新冠肺炎疫情造成的态度与行为改变意愿

在新冠肺炎疫情发生前, 占总数12.3%的人有消费野生动物的行为; 在新冠肺炎疫情发生后, 占总数11.7%的人将放弃消费野生动物。而另有87.4%的人表示从不消费野生动物(图4)。

占总数56.7%的填表者本身并非有观察野生动物的爱好和习惯的群体(图5); 其中, 占总数18.0%的人受到此次事件影响, 未来会开始观察野生动物。占总数42.2%的填表者本来就对自然感兴趣、有自然观察行为; 其中, 占总数15.2%的人受到此次事件的影响, 决定以后不观察。也有一部分表示将继续观察野生动物, 但是会更加注重安全。

使用Logit模型分析了哪些因素会影响新冠肺炎疫情对人群消费野生动物、观察野生动物行为的影响(表2)。我们分为3个因变量, 分别对于过去消费野生动物的人群在新冠肺炎后决定停止消费, 过去观察野生动物的人群在发生新冠肺炎后决定停止

自然观察, 过去不观察野生动物的人群在发生新冠肺炎后决定以后开始增加观察这3种行为变化情况进行分析。对各个变量进行多重共线性检验, 没有发现变量间显著的多重共线性。

在疫情前就有野生动物消费行为的人群中, 看到过周围10次以上吃野味行为的人, 周围有相关从业者、有自然观察行为和工作或兴趣与自然保护相关的人, 回归系数都为负, 占比也很小, 可以解释为相比普通公众这部分与野生动物深度密切相关的人群并没有受疫情影响, 坚持继续消费野生动物(表2)。

在疫情前就有自然观察野生动物行为的人群中, 周围有从事相关行业、工作或兴趣与自然保护相关的人则更倾向于不受影响继续坚持自然观察行为。在疫情前没有自然观察野生动物行为的人群中, 周围有从事相关行业和工作兴趣与自然保护相关的人群都更倾向于疫情之后开始关注和自然观

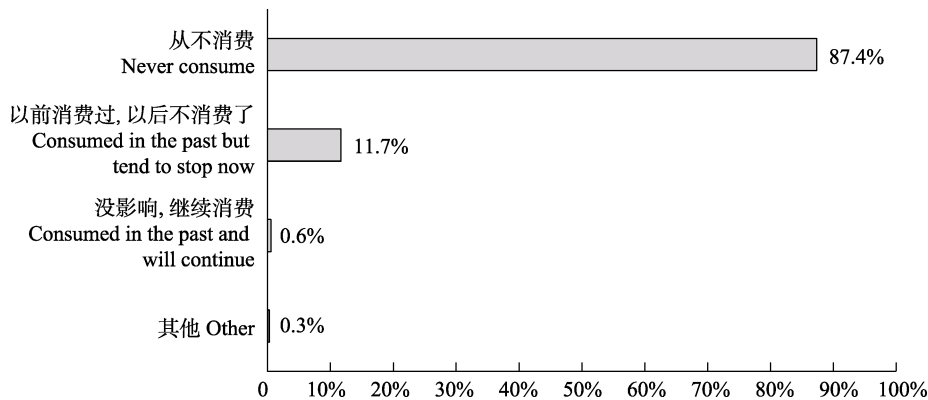


图4 新冠肺炎对野生动物消费行为的影响

Fig. 4 The COVID-19 impact on wildlife consumption behavior

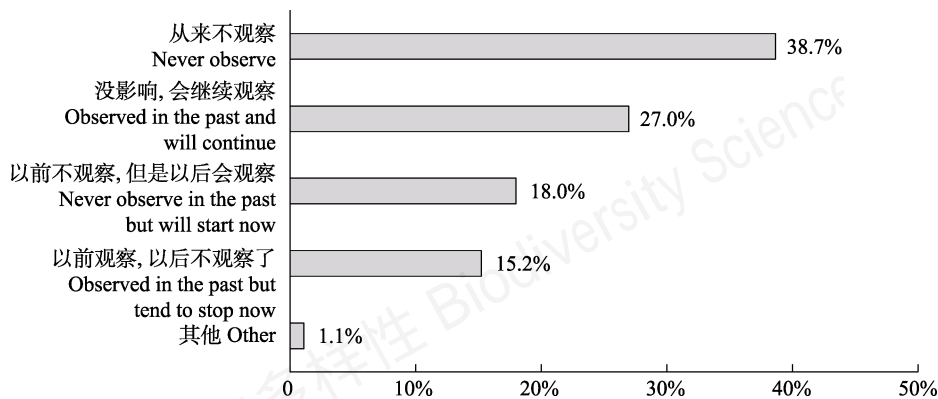


图5 新冠肺炎对野外观察野生动物行为的影响

Fig. 5 The COVID-19 impact on wildlife observation behavior

察野生动物。各模型的准 R^2 较小,与样本量较大、可收集的解釋变量不足有关(表2)。

2.4 对野生动物利用的认知与态度

有高达96.6%的人是不赞成吃野味的,只有2.1%的人赞成。有78.9%的人不赞成使用野生动物制品(毛皮、骨制品、药剂等),而有15.2%的人部分赞成,只有0.9%的人是完全赞成,其余人则选择没考虑或其他。对人工驯养野生动物用于商业目的的态度,75.8%的人是不赞成的,而11.6%的人赞成,其余人则选择没考虑。

2.5 法律知识的了解

从对《中华人民共和国野生动物保护法》中对食用和购买野生动物及其制品的相关法律规定的了解来看,有12.7%的人持完全肯定回答,有30.3%的人完全不了解,有57.0%的人表示听说过一些。从对野生动物狩猎证、野生动物驯养繁育许可证和野生动物经营利用许可证的了解来看,只有8.5%的人是了解的,有42.5%的人完全不了解,而49.0%的人听说过但不了解。

通过使用排序Logit模型我们分析了哪些因素会影响人群对于野生动物相关法律规定和相关证照的了解(表3)。对各个变量进行多重共线性检验,没有发现变量间显著的多重共线性。从模型结果中

可以看出,周围有从事野生动物相关产业、周围吃野味次数较多、有自然观察行为和工作兴趣与自然保护相关的回归系数显著为正,说明周围有从事相关者、食用野生动物的遇见率高、有自然观察行为和工作兴趣与自然保护相关的人都比普通人群更加了解相关的法律和证照知识。但是在疫情之前有消费野生动物行为的人对相关法规的了解相对较少,说明宣传普及法律知识对于减少野生动物消费行为很重要。从控制变量的系数也可以看到,城镇居民相比乡村居民、男性相比女性、教育程度较高、收入更高人群都更有可能了解相关的法律和证照知识。各模型的准 R^2 较小,与样本量较大、可收集的解釋变量不足有关。

2.6 对立法动议的态度

对4个立法动议的态度,整体调查结果如图6所示。对取缔野味集市和野味饭馆的立法动议,有95.0%的人持强烈赞成或倾向赞成的态度,3.6%的人选择不倾向赞成或者强烈不赞成,其余选择中立。对周围有人从事野生动物繁育及利用产业的人群中,则有92.7%的人倾向于强烈赞成或赞成,有4.7%选择不倾向赞成或强烈不赞成,这部分人群中,不赞成取缔野味集市和野味饭馆的比例比整体人群略高,但大部分仍然是持赞成态度的。

表2 对新冠肺炎后野生动物消费和观察行为变化的Logit模型估计结果

Table 2 The Logit model on the factors affecting wildlife consumption and observation behavior change after COVID-19

变量 Variables	停止消费 Stop consumption	停止观察 Stop observation	增加观察 More observation	变量 Variables	停止消费 Stop consumption	停止观察 Stop observation	增加观察 More observation
IND	-1.175*** (-9.54)	-0.100* (-1.67)	0.094* (1.75)	EDU2	0.608** (2.34)	0.109 (0.82)	0.249** (2.18)
CSV	-0.485*** (-2.92)	-2.089*** (-46.58)	1.872*** (46.85)	EDU3	1.078*** (4.02)	-0.393*** (-2.95)	0.031 (0.27)
WAT	-0.423*** (-2.69)	-	-	EDU4	0.972*** (3.31)	-0.629*** (-4.43)	-0.217* (-1.78)
CSM	-	0.104* (1.76)	0.271*** (4.83)	INC2	0.264 (1.29)	0.156** (2.16)	0.151** (2.56)
URB	0.487*** (2.83)	-0.641*** (-10.45)	-0.274*** (-5.31)	INC3	0.026 (0.12)	-0.017 (-0.21)	0.097 (1.54)
GND	1.329*** (7.98)	0.355*** (7.74)	-0.039 (-1.00)	INC4	-0.196 (-0.82)	-0.208** (-2.32)	-0.001 (-0.01)
EAT2	0.408*** (2.67)	-0.198*** (-3.80)	0.147*** (3.30)	INC5	-0.291 (-1.06)	-0.111 (-0.90)	0.197* (1.76)
EAT3	0.245 (1.29)	-0.075 (-0.94)	0.101 (1.34)	PRV	YES	YES	YES
EAT4	-0.575*** (-3.23)	0.191* (1.87)	0.592*** (6.21)	截距	1.573*** (3.42)	0.187 (0.97)	-2.963*** (-17.53)
AGE2	-0.433 (-1.39)	-0.086 (-0.69)	0.352*** (3.16)	Constant			
AGE3	0.365 (1.16)	0.174 (1.40)	0.522*** (4.69)	样本量	6,166	20,234	34,220
AGE4	1.103*** (2.72)	0.129 (0.92)	0.508*** (4.15)	Observations			
				准 R^2	0.182	0.217	0.151
				Pseudo R^2			
				似然比	-1,106	-7,612	-11,525
				Loglikelihood			

省略省份虚拟变量的系数;括号内为稳健Z统计量;“-”表示未放入此变量。变量含义见表1。*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ 。

Coefficients for provincial dummies not reported; Robust z-statistics in parentheses; “-” means the variable is not included. See Table 1 for the definition of variables. *** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$.

表3 对野生动物利用相关法规和证照了解情况的排序Logit模型估计结果

Table 3 The ordered Logit model on the factors affecting knowledge about wildlife related laws and certificates

变量 Variables	对相关法规了解情况 Knowledge about related laws		对相关许可证了解情况 Knowledge about related certificates		变量 Variables	对相关法规了解情况 Knowledge about related laws		对相关许可证了解情况 Knowledge about related certificates	
IND	0.458***	(10.11)	0.642***	(14.39)	EDU3	0.143*	(1.65)	0.400***	(4.85)
CSV	0.416***	(11.69)	0.398***	(11.33)	EDU4	0.033	(0.36)	0.487***	(5.52)
WAT	0.251***	(6.91)	0.366***	(10.32)	INC2	0.169***	(3.87)	0.121***	(2.76)
CSM	-0.058	(-1.26)	0.070	(1.57)	INC3	0.171***	(3.56)	0.135***	(2.85)
EAT2	0.193***	(5.73)	0.270***	(8.13)	INC4	0.132**	(2.41)	0.116**	(2.16)
EAT3	0.264***	(4.32)	0.430***	(7.82)	INC5	0.064	(0.78)	0.167**	(2.15)
EAT4	0.507***	(5.95)	0.626***	(7.87)	PRV	YES		YES	
URB	0.104***	(3.42)	0.209***	(6.81)	截距项1 Constant cut1	-0.016	(-0.13)	0.223*	(1.95)
GND	-0.161***	(-5.95)	-0.350***	(-12.95)	截距项2 Constant cut2	2.766***	(22.19)	2.973***	(25.67)
AGE2	-0.329***	(-3.71)	-0.610***	(-7.54)	样本量 Observations			54,315	54,310
AGE3	0.058	(0.66)	-0.545***	(-6.73)	准R ² Pseudo R ²			0.0376	0.0518
AGE4	0.483***	(5.05)	-0.298***	(-3.33)	似然比 Loglikelihood			-52,011	-49,248
EDU2	0.206**	(2.36)	0.246***	(2.96)					

省略省份虚拟变量的系数; 括号内为稳健Z统计量。变量含义见表1。*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ 。

Coefficients for provincial dummies not reported; Robust Z-statistics in parentheses. See Table 1 for the definition of variables. *** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$.

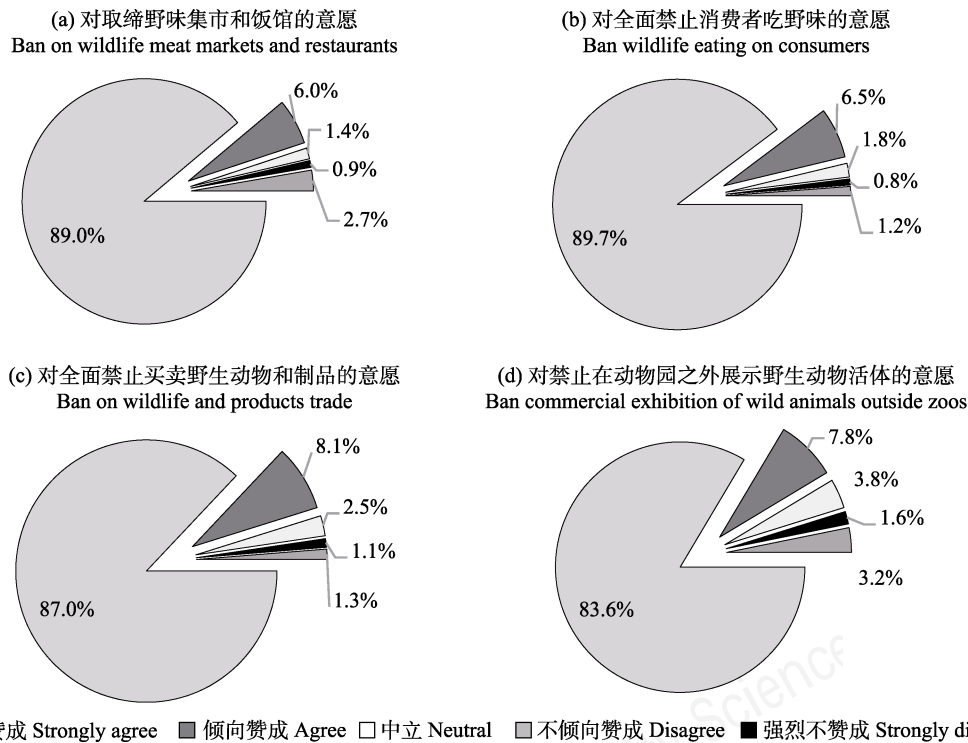


图6 对4种立法政策情景的意愿

Fig. 6 The public perception on 4 legislation motions

对全面禁止消费者吃野味(含重点保护动物和非重点保护动物)的立法动议, 有96.2%的人持赞成态度, 有2.0%的人不倾向赞成或者强烈不赞成, 其余选择中立。对周围有人从事野生动物繁育及利用

产业的人群中, 则有93.4%的人倾向于强烈赞成或赞成, 有3.6%选择不倾向赞成或强烈不赞成, 这部分人群中, 不赞成全面禁止消费者吃野味的比例比整体人群略高, 但大部分仍然持赞成态度。

对全面禁止买卖野生动物和制品(含重点保护动物和非重点保护动物)的立法动议, 有95.1%的人持强烈赞成或者倾向于赞成的态度, 2.4%的人表示不倾向赞成或者强烈不赞成, 其余选择中立。相比之下, 对于周围有人从事野生动物繁育利用相关产业的人群来说, 有5.1%不倾向赞成或者强烈不赞成, 比例略高于普通人群, 但仍有90.8%的人持赞成态度。

对禁止在动物园之外(娱乐场所、商场、酒店等)展示野生动物活体(含重点保护动物和非重点保护动物)的立法动议, 91.4%的人持强烈赞成或倾向赞

成, 4.8%的人不倾向赞成或者强烈不赞成, 其余选择中立。相比之下, 对于周围有人从事野生动物繁育利用相关产业的人群来说, 持强烈赞成或倾向赞成态度的占87.6%, 有7.3%不倾向赞成或者强烈不赞成, 比例较整体人群略高, 但是大多数仍持倾向赞成态度。

为了更好地了解对立法动议态度的影响因素, 对4个立法动议的态度意愿用排序Logit模型进行分析。对各个变量进行多重共线性检验, 没有发现变量间显著的多重共线性(表4)。从每一项立法动议来

表4 对立法动议态度影响因素的排序Logit模型估计结果

Table 4 The ordered Logit model on the factors affect perception on 4 legislation motions

变量 Variables	取缔野味集市和餐馆 Ban on wildlife meat markets and restaurants		禁止消费者食用野味 Ban on wildlife eating on consumers		禁止野生动物及制品买卖 Ban on wildlife and wildlife product trade		禁止动物园之外展示野生动物活体 Ban commercial exhibition of wild animals outside zoos	
IND	-0.239***	(-4.20)	-0.338***	(-5.74)	-0.464***	(-8.41)	-0.379***	(-7.67)
CSV	-0.123**	(-2.25)	-0.130**	(-2.19)	-0.139**	(-2.55)	-0.079*	(-1.65)
WAT	0.072	(1.37)	-0.038	(-0.66)	-0.131**	(-2.52)	-0.121***	(-2.63)
CSM	-0.598***	(-11.03)	-0.653***	(-11.62)	-0.631***	(-11.83)	-0.389***	(-7.89)
EAT2	0.099**	(1.96)	0.078	(1.51)	0.040	(0.83)	0.048	(1.11)
EAT3	0.231***	(2.98)	0.130*	(1.65)	0.154**	(2.08)	0.164**	(2.44)
EAT4	0.339***	(3.38)	0.331***	(3.08)	0.514***	(4.67)	0.263***	(2.86)
URB	0.417***	(9.95)	0.240***	(5.20)	0.014	(0.31)	0.192***	(4.95)
GND	0.393***	(8.49)	0.762***	(15.76)	0.724***	(16.47)	0.592***	(15.55)
AGE2	0.394***	(4.05)	0.169	(1.58)	0.260***	(2.63)	0.292***	(3.33)
AGE3	0.680***	(6.85)	0.533***	(4.88)	0.729***	(7.18)	0.552***	(6.20)
AGE4	0.799***	(6.46)	0.608***	(4.55)	0.855***	(6.84)	0.359***	(3.44)
EDU2	0.110	(1.04)	0.206*	(1.77)	0.070	(0.58)	0.023	(0.24)
EDU3	0.439***	(4.15)	0.415***	(3.58)	0.284**	(2.37)	0.343***	(3.47)
EDU4	0.541***	(4.70)	0.416***	(3.39)	0.244*	(1.96)	0.381***	(3.61)
INC2	0.017	(0.28)	0.154**	(2.33)	0.147**	(2.30)	0.032	(0.57)
INC3	0.245***	(3.54)	0.299***	(4.12)	0.214***	(3.13)	0.083	(1.37)
INC4	0.111	(1.39)	0.123	(1.50)	0.083	(1.08)	-0.034	(-0.50)
INC5	0.078	(0.67)	0.050	(0.43)	0.040	(0.38)	-0.125	(-1.27)
PRV	YES		YES		YES		YES	
截距1 Constant cut1	-2.198***	(-13.92)	-3.121***	(-17.94)	-3.111***	(-19.01)	-2.541***	(-18.04)
截距2 Constant cut2	-1.827***	(-11.59)	-2.658***	(-15.54)	-2.599***	(-16.09)	-2.056***	(-14.71)
截距3 Constant cut3	-1.451***	(-9.22)	-2.002***	(-11.90)	-1.896***	(-11.95)	-1.397***	(-10.04)
截距4 Constant cut4	-0.741***	(-4.73)	-1.061***	(-6.38)	-0.914***	(-5.83)	-0.706***	(-5.10)
样本量 Observations	54,454		54,454		54,449		54,453	
准R ² Pseudo R ²	0.0365		0.0413		0.0399		0.0267	
似然比 Loglikelihood	-33,619		-29,045		-31,312		-40,879	

省略省份虚拟变量的系数; 括号内为稳健Z统计量; 变量含义见表1。*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ 。

Coefficients for provincial dummies not reported; Robust Z-statistics in parentheses. See Table 1 for the definition of variables. *** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$.

看,在疫情之前有消费野生动物行为、周围有人吃野味、有人从事相关产业和工作或兴趣与自然保护相关的人,回归系数均显著为负,说明这些群体整体上比不相关人群更不赞成这4类立法动议。其中,工作或兴趣与自然保护相关可能包含了本身对野生动物的繁育、宠物饲养等有兴趣的人群,以及保护野生动物而希望禁止野生动物利用的人群,所以这个变量所代表的人群立场更为复杂。

从控制变量上看,女性比男性、城镇比乡村居民、年龄较大、教育水平较高的居民在取缔野生动物集市和饭馆、禁止食用野生动物的立法动议上显著更倾向于赞成态度。在禁止野生动物及其制品买卖方面,女性比男性、年龄较大的居民都更倾向于赞成态度。在禁止野生动物商业展演方面,城镇居民、女性、年龄较大、教育程度较高的人更倾向于持赞成态度。各模型的准 R^2 较小,与样本量较大、可收集的解释变量不足有关,也表明不同变量在不同模型中解释的变异有限,拟合度有限。

3 讨论

3.1 可能的不足和稳健性检验

从样本抽样的方式可以看出,网络调查问卷属于不具有随机性的概率抽样,而是受到网络传播渠道、看到问卷的人的回答意愿等因素影响,由受访者主动反馈。主动受访样本往往容易造成一定程度的样本选择性偏差。但是网络调查的优点在于成本较低,可以提供较大样本量(White et al, 2005)。

此次填表人群的分布特征与全国人口普查的平均分布特征有较大不同,主要是因为问卷发放方式通过社交网络传播,愿意填写问卷的人群可能会受到对相关议题的关注度、教育水平、性别、年龄、人际网络及职业等因素影响。因此,本问卷的结果主要反映了城镇地区及较高教育水平的人群对本议题的意愿和态度。女性的参与度也更高。

为了检验我们的结论是否仍然稳健,首先通过在模型中单独对与相关产业关联、行为特征等关键变量回归,及加入是否城镇人口、性别、年龄、教育程度和收入程度的控制变量进行检验,发现对系数的大小、符号方向和显著性影响不大,结论一致。我们还通过重新加权合成的方式调整性别和城乡比例匹配符合整体中国人口普查统计学特征的样本,减少这部分样本偏差。加权处理后,关于取缔

野味市场餐馆、禁止食用野味、禁止使用制品和禁止商业展演4个问题持赞成态度的比例分别为93.5%、95.9%、95.2%和90.4%,仍与加权前统计结果一致。在关于了解法律和证照程度、对立法动议态度的排序Logit模型分析中,抽样概率加权模型与原样本模型的估计结果仍然保持一致,证明结论是稳健的(稳健性检验和模型选择结果见附录2-4)。

其次,因为问卷未设置全部问题必答,并且有两道问题是在开始发放后新加的,因此收回的问卷中存在漏答情况,统计有效问卷之后损失了部分没有完整回答所有问题的受访者样本的信息,因此为了稳健性检验,保留全部样本对每道题分别进行统计,关于取缔野味市场餐馆、禁止食用野味、禁止使用制品和禁止商业展演4个问题,答题者中持强烈赞成和倾向赞成态度的比例分别为94.8%、96.4%、97.4%和91.5%,仍与使用有效问卷样本的结果一致。

另外,涉及人群对于野生动物的认知问题,不同的人群可能对于野生动物概念的认知不同,从而对问卷产生不同的解读。根据《中华人民共和国野生动物保护法》的定义,陆生野生动物指国家或地方重点保护,及具有生态、经济、科学价值的动物。而根据我国国家林草局对野生动物养殖和利用的定义,非家畜家禽类的动物养殖都计入野生动物繁育和利用产业,在一些地方被称为“特种经济动物养殖”。如果根据林草部门对食用类野生动物的统计,则涉及较多已经广泛养殖的野生动物物种,例如中国大鲵(*Andrias davidianus*)、竹鼠(*Rhizomys*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)等。根据对一些填表者的访谈了解,有的人不认为竹鼠是野生动物,这些人工养殖的野生动物应该参照家畜家禽进行饲养和检疫管理。如果受调查者低估了野生动物所涵盖的范围,那么本问卷可能高估了公众对于赞成禁止野生动物消费、利用和贸易的真实意愿。如果受调查者没有注意到表单开头注明的不包含水生动物的提醒,由此认为食用海鲜也可能是野生动物被禁止食用的范围,则将低估这部分受调查者对于禁食政策的意愿。关于不同社会文化语境的公众对于“野生动物”概念的认知和理解可能不同,在不同研究、国内法和国际法背景下,野生动物这个概念也有不同的定义和适用范围,已有一系列研究进行过讨论(周志华和蒋志刚, 2004; 曾岩等, 2020)。在未来对

野生动物利用的公众态度及法律政策的相关研究中,也应当根据人类对动物驯化和控制程度、生存繁殖环境、生态安全和物种管理等方面进行定义区分和研究。

最后,此问卷调查是在疫情迅速蔓延的过程中进行的,参与者的态度整体上难免受到对疫情的焦虑和应激反应的影响,可能与疫情平复之后的反应会有不同。决策应该参照更加全面和长久的公众意愿。但这是一份宝贵的记录,对日后分析对比此次疫情中和之后人们在不同情境下的意愿和反应很有帮助。

3.2 针对调查结果的解读

(1) 公众对修订法律加强对野生动物利用和贸易的管理持赞成态度

本调查结果表明,超过90%的受访者对取缔经营野味的餐馆和集市、禁止食用野味、禁止买卖野生动物及制品以及禁止在动物园外展示持赞成或倾向赞成的意见。鉴于本问卷发放的时间正处于疫情严重时期及网络问卷的发放形式,不排除情绪和样本选择偏差对问卷结果的影响,但是无论是从所有回答问卷的样本、所有有效问卷的样本、对符合人口普查特征的重新加权合成样本,还是接触野生动物消费和生产行为的受访者样本都得到较为一致的赞成态度,说明了结论的稳健性。

(2) 现有野生动物消费群体经历新冠肺炎疫情后倾向于不再消费

从调查结果中可以看到,过去曾经消费野生动物的人回答再也不消费了的占94.9%,虽然这个结果因为疫情的原因,回答的真实性可能在样本量上存在一定的偏差,但是,改变原有行为意愿的存在说明本次疫情可能给现有野生动物消费群体带来了显著的影响。一方面可能因为新冠肺炎和野生动物消费之间的关联的媒体传播和初步研究结果导致很多人担心自己的健康风险而产生消费行为改变的意愿,另一方面则有可能是公众舆论对野生动物消费者造成了社会压力,导致其回答将停止野生动物消费行为。同时,从对消费人群的分析可以看到,较少接触吃野味行为的人更倾向于停止野生动物消费,可以推测猎奇式的消费将会明显减少。

当然,我们也充分意识到,这些行为改变很可能受到疫情时期的情绪和舆论影响,是否会落实到行为上,是短期还是长期的改变,仍然需要更长的

时间来检验。如果新冠肺炎疫情对野生动物消费群体行为的改变是长期的,那么即使没有相关的政策改变,也极有可能出现消费需求下降的情况。因此,一方面,疫情之后加强相关野生动物管理政策是顺应疫情造成的消费市场变化的自然选择;另一方面,通过消费心理和市场需求的作用引导生产者逐步退出也是一个长期的策略。

(3) 野生动物繁育和利用的群体相比其他人群更有可能不支持对野生动物食用消费和贸易全面禁止的政策

从调查结果中可以看到,周围有人从事野生动物繁育和利用行业的人群在对所有禁止野生动物利用立法意愿的回答中更倾向于不赞成,看到较多吃野味的人群也更倾向于不赞成禁食野味,直接反映了这部分接近深度消费者和生产者的人群的意愿。从解释原因的回答中也可以看到,野生动物的养殖和贸易关系到众多消费者和生产者的利益,尤其是农户的生计。很多农户是在政府的大力优惠政策扶持下贷款开展野生动物养殖产业的,禁止野生动物食用的政策将会对他们造成很大的经济损失,这也是决策部门在制定相关政策时应当充分考虑并妥善解决的。

3.3 政策启示和建议

本调查仅仅是基于网络经济、快速的特点进行的一个初步尝试,但这份问卷受到的关注度和扩散速度可以侧面反映在新冠肺炎疫情迅速发展的时期,信息资讯和舆论传播的速度之快,影响之大。本调查尽管在人群的代表性上有偏差,但所提供的一些结果和分析仍然可以为决策提供参考。2020年2月24日,十三届全国人民代表大会常务委员会第十六次会议决定,“凡《中华人民共和国野生动物保护法》和其他有关法律禁止猎捕、交易、运输、食用野生动物的,必须严格禁止。全面禁止食用国家保护的‘有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物’以及其他陆生野生动物,包括人工繁育、人工饲养的陆生野生动物。全面禁止以食用为目的猎捕、交易、运输在野外环境自然生长繁殖的陆生野生动物。”(http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/24/content_5482759.htm)。本研究的结果也表明,全国人民代表大会常务委员会禁食野生动物的决定和修改野生动物保护法的意向在受高等教育者和城镇居民中有良好的公众基础。

基于本调查,我们呼吁和建议加强对野生动物食用和消费、贸易的监管,全面贯彻检验检疫规程和监督执法。野生动物消费和贸易管理政策应充分考虑公共卫生安全风险及政策成本,减少政策可能带来的负面影响。在全球化的今天,全球性传染病的暴发与流行已经是难以预料风险和损失规模的极端事件,一旦暴发将给社会带来难以承受的损失,对于公共卫生风险控制提出了极大挑战。并且,野生动物的直接消费是导致生物多样性下降的直接原因之一。加强对野生动物食用和消费、贸易的监管,对保护野生动物种群也有重要意义(Karesh et al, 2005)。只有通过更科学的政策制定、持续的执法监督、全社会的教育倡导,才能更有效地降低野生动物消费和贸易中的公共卫生和生态环境风险。

致谢:感谢中国社会科学院社会学所折小叶教授等对问卷设计的指导及北京大学国家发展研究院徐晋涛教授对模型分析的指导。感谢本调查的发起机构包括北京大学自然保护与社会发展研究中心、自然之友、桃花源生态保护基金会、阿拉善SEE基金会、昆山杜克大学、江苏省农村专业技术协会、守护荒野共享志愿服务平台、印象识堂、山水自然保护中心。感谢年保玉则生态环境保护协会、甘加环保志愿者团队和高煜芳博士对藏语问卷翻译、发放和分析的支持。感谢中国猫科动物保护联盟和国际野生生物保护学会等机构在信息补充和问卷发放方面的帮助。感谢中国绿化基金会广汽丰田公益基金、益心华泰“一个长江”项目的支持。本调查得到众多公众填写和转发问卷的支持,特此感谢!

参考文献

- Cronbach LJ (1951) Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297–334.
- Cronbach LJ, Shavelson RJ (2004) My current thoughts on coefficient alpha and successor procedures. *Educational and Psychological Measurement*, 64, 391–418.
- Hufnagel L, Brockmann D, Geisel T (2004) Forecast and control of epidemics in a globalized world. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 101, 15124–15129.
- Ji W, Wang W, Zhao X, Zai J, Li X (2020) Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV. *Journal of Medical Virology*, 92, 433–440.
- Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, Daszak P (2008) Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990–993.
- Karesh WB, Cook RA, Bennett EL, Newcomb J (2005) Wildlife trade and global disease emergence. *Emerging Infectious Diseases*, 11, 1000.
- Karesh WB, Cook RA, Gilbert M, Newcomb J (2007) Implications of wildlife trade on the movement of avian influenza and other infectious diseases. *Journal of Wildlife Diseases*, 43(Suppl. 3), S55.
- Lam TT, Shum MH, Zhu HC, Tong YG, Ni XB, Liao YS, Wei W, Cheung WY, Li WJ, Li LF, Leung GM (2020) Identifying SARS-CoV-2 related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*, 583, 282–285.
- Liu Z, Xiao X, Wei X, Li J, Yang J, Tan H, Zhu J, Zhang Q, Wu J, Liu L (2020) Composition and divergence of coronavirus spike proteins and host ACE2 receptors predict potential intermediate hosts of SARS-CoV-2. *Journal of Medical Virology*, 92, 595–601.
- Marta-Pedroso C, Freitas H, Domingos T (2007) Testing for the survey mode effect on contingent valuation data quality: A case study of web based versus in-person interviews. *Ecological Economics*, 62, 388–398.
- National Statistic Administration (2011) 2010 China's Sixth National Population Census data report (No.1). *China Journal of Family Planning*, 19(8), 65–66. (in Chinese) [中华人民共和国国家统计局 (2011) 2010年第六次全国人口普查主要数据公报(第1号). *中国计划生育学杂志*, 19(8), 65–66.]
- Qin C (2008) The animals and emerging infectious diseases. *Laboratory Animal and Comparative Medicine*, 28(3), 133–137. (in Chinese with English abstract) [秦川 (2008) 动物与新发传染病. *实验动物与比较医学*, 28(3), 133–137.]
- Swift L, Hunter PR, Lees AC, Bell DJ (2007) Wildlife trade and the emergence of infectious diseases. *EcoHealth*, 4, 25.
- Wang LS, Wang YR, Ye DW, Liu QQ (2020) A review of the 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) based on current evidence. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55, 105948.
- White PC, Jennings NV, Renwick AR, Barker NH (2005) Questionnaires in ecology: A review of past use and recommendations for best practice. *Journal of Applied Ecology*, 42, 421–430.
- Zeng Y, Ping XG, Wei FW (2020) A conceptual framework and definitions for the term “wild animal”. *Biodiversity Science*, 28, 541–549. (in Chinese with English abstract) [曾岩, 平晓鸽, 魏辅文 (2020) “野生动物”的概念框架和术语定义. *生物多样性*, 28, 541–549.]
- Zeng Y, Vaupel JW, Xiao Z, Zhang C, Liu Y (2001) The healthy longevity survey and the active life expectancy of the oldest old in China. *Population: An English Selection*, 13(1), 95–116.
- Zhang JS, Liang B, Zhang SY (2003) Zoonosis based on wildlife and human: Elementary introduction. *Chinese Journal of Zoology*, 38(4), 123–127. (in Chinese with English abstract) [张劲硕, 梁冰, 张树义 (2003) 浅议野生动物与

- 人类共患疾病. 动物学杂志, 38(4), 123–127.]
- Zhang T, Wu Q, Zhang Z (2020) Probable pangolin origin of SARS-CoV-2 associated with the COVID-19 outbreak. *Current Biology*, 30, 1078.
- Zhou P, Yang XL, Wang XG, Hu B, Zhang L, Zhang W, Si HR, Zhu Y, Li B, Huang CL, Chen HD (2020) A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579, 270–273.
- Zhou ZH, Jiang ZG (2004) Definition and extension of the concepts “wildlife”, “wild fauna and flora” and “wild origin”. *Acta Ecologica Sinica*, 24, 302–307. (in Chinese with English abstract) [周志华, 蒋志刚 (2004) 野生生物、野生动植物和野生来源的定义及范畴. *生态学报*, 24, 302–307.]

(责任编辑: 王彦平 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Materials

附录1 公众对野生动物消费、贸易、立法的意愿调查问卷原文

Appendix 1 The original questionnaires on the *Public Perception of Wildlife Consumption and Trade*
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020134-1.pdf>

附录2 对新冠肺炎后野生动物消费和观察行为变化的Logit模型稳健性检验

Appendix 2 Robustness check for the Logit model on the factors affecting wildlife consumption and observation behavior change after COVID-19
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020134-2.pdf>

附录3 对野生动物利用相关法规和证照了解情况的排序Logit模型稳健性检验

Appendix 3 Robustness check for the ordered Logit model on the factors affecting knowledge about wildlife related laws and certificates
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020134-3.pdf>

附录4 对立法动议态度影响因素的排序Logit模型稳健性检验

Appendix 4 Robustness check for the ordered Logit model on the factors affecting attitudes towards legislation motions
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020134-4.pdf>

附录1 公众对野生动物消费、贸易、立法的意愿调查问卷原文

Appendix 1 The original questionnaires on the *Public Perception of Wildlife Consumption and Trade*

新型冠状病毒肺炎疫情肆虐, 病毒源头与野生动物的关联, 让我们再一次把目光聚焦到人与野生动物的关系上, 加强规范和立法的呼声很高。由北京大学自然保护与社会发展研究中心、自然之友、桃花源基金会、阿拉善SEE基金会、昆山杜克大学、江苏省农村专业技术协会、守护荒野共享志愿服务平台、印象识堂、山水自然保护中心等机构联合发起了这个问卷, 希望能够征询你对于野生动物消费和贸易, 以及相关立法的态度。您花五分钟完成的这份问卷, 将会给决策者提供参考。构建一个安全、健康的社会, 实现人与野生动物和谐共生的未来, 需要你的参与和支持。

本问卷对野生动物的定义是: 人类驯化的家养动物之外的所有陆生脊椎动物(不包括水生及海产品、昆虫等)。野味指含上述野生动物的活体及制成品。其中, 国家重点保护野生动物名录见国家林草局官网¹。

表单链接: <http://lx.me/tks3i>

答卷者背景信息

年龄: 0–18岁, 18–30岁, 30–55岁, 55岁以上

性别: 男, 女, 其他

所在地区: 省 市 县

常住地属于(二选一)城镇, 农村

学历: 小学及以下, 初/高中, 大学, 研究生及以上

月收入(元): 1,000元及以下, 1,000–5,000元, 5,000–10,000元, 10,000–30,000元, 30,000元以上

职业: 学生, 专业技术人员, 服务人员, 教育与科研从业者, 公益行业从业者, 政府工作人员, 商业经营者, 农业从业者, 军人, 其他_____

工作或兴趣与自然保护有关: 是, 否

我周围是否有人从事陆生野生动物繁育和利用相关产业: 无, 陆生野生动物繁育, 陆生野生动物及其制品利用和经营, 动物园以外(如商场等)野生动物活体展演, 其他

对吃野生动物的态度

- a. 赞成 b. 不赞成 c. 没考虑

最近一年看到过有人吃野生动物吗?

- a. 看到过3次以下 b. 3–10次 c. 10次以上 d. 没见过

对使用野生动物制品(毛皮、骨制品、药剂等)的态度

- a. 赞成 b. 不赞成 c. 没考虑 d. 其他

对人工驯养野生动物的态度

- a. 赞成 b. 不赞成 c. 没考虑

你了解《野生动物保护法》中对食用和购买野生动物及其制品的相关法律规定吗?

- a. 是 b. 否 c. 听说过一些

你是否了解野生动物狩猎证、野生动物人工繁育许可证和野生动物经营许可证?

- a. 了解 b. 听过, 但不了解 c. 不了解

在了解到新冠病毒造成的疫病之后, 对你消费野生动物的行为有什么影响?

- a. 以前消费过, 以后不消费了 b. 自己再也不消费了还要劝说别人不消费 c. 自己从不消费 d. 自己从不消费也要劝说别人不消费 e. 没影响, 继续消费 f. 其他

在了解到新冠病毒造成的疫病之后, 对你去野外观察野生动物的行为有什么影响? (例如观鸟等)

- a. 没影响, 会继续观察 b. 以前观察, 以后不观察了 c. 自己不观察了还要劝说别人不观察 d. 从来不观察 f. 以前不观察, 但是以后会观察 g. 其他

¹ <http://www.forestry.gov.cn/main/3954/content-1063883.html>

对立法的意愿

是否赞成取缔野味集市和野味饭馆?(请注意: 赞成意味着“不吃”, 不赞成意味着“可以吃”)

- a. 强烈赞成 b. 倾向赞成 c. 中立 d. 不太赞成 e. 很不赞成

原因:

是否赞成全面禁止消费者吃野味(含重点保护动物和非重点保护动物)?(请注意: 赞成意味着“不吃”, 不赞成意味着“可以吃”)

- a. 强烈赞成 b. 倾向赞成 c. 中立 d. 不倾向赞成 e. 强烈不赞成

原因:

是否赞成全面禁止买卖野生动物和制品(含重点保护动物和非重点保护动物)?(请注意: 赞成意味着“不能买卖”, 不赞成意味着“可以买卖”)

- a. 强烈赞成 b. 倾向赞成 c. 中立 d. 不倾向赞成 e. 强烈不赞成

原因:

对禁止在动物园之外(娱乐场所、商场、酒店等)展示野生动物活体(含重点保护动物和非重点保护动物)的意愿? (请注意: 赞成意味着“不能展示”, 不赞成意味着“能展示”)

- a. 强烈赞成 b. 倾向赞成 c. 中立 d. 不倾向赞成 f. 强烈不赞成

原因:

其他建议、想法请在这里留言给我们:

附录2 对新冠肺炎后野生动物消费和观察行为变化的Logit模型稳健性检验

Appendix 2 Robustness check for the Logit model on the factors affecting wildlife consumption and observation behavior change after COVID-19

变量	停止消费模型 I		停止消费模型 II		减少自然观察模型 I		减少自然观察模型 II		增加自然观察模型 I		增加自然观察模型 II	
Variables	Stop consumption I		Stop consumption II		Less observation I		Less observation II		More observation I		More observation II	
OCC	-1.222***	(-12.36)	-1.175***	(-9.54)	-0.277***	(-8.75)	-0.100*	(-1.67)	0.402***	(12.48)	0.094*	(1.75)
CSV	-		-0.485***	(-2.92)	-		-2.089***	(-46.58)	-		1.872***	(46.85)
WAT	-0.482***	(-4.61)	-0.423***	(-2.69)	-		-		-		-	
CSM	-		-		0.025	(0.76)	0.104*	(1.76)	0.434***	(12.95)	0.271***	(4.83)
URB	-		0.487***	(2.83)	-		-0.641***	(-10.45)	-		-0.274***	(-5.31)
GND	-		1.329***	(7.98)	-		0.355***	(7.74)	-		-0.039	(-1.00)
EAT2	-		0.408***	(2.67)	-		-0.198***	(-3.80)	-		0.147***	(3.30)
EAT3	-		0.245	(1.29)	-		-0.075	(-0.94)	-		0.101	(1.34)
EAT4	-		-0.575***	(-3.23)	-		0.191*	(1.87)	-		0.592***	(6.21)
AGE2	-		-0.433	(-1.39)	-		-0.086	(-0.69)	-		0.352***	(3.16)
AGE3	-		0.365	(1.16)	-		0.174	(1.40)	-		0.522***	(4.69)
AGE4	-		1.103***	(2.72)	-		0.129	(0.92)	-		0.508***	(4.15)
EDU2	-		0.608**	(2.34)	-		0.109	(0.82)	-		0.249**	(2.18)
EDU3	-		1.078***	(4.02)	-		-0.393***	(-2.95)	-		0.031	(0.27)
EDU4	-		0.972***	(3.31)	-		-0.629***	(-4.43)	-		-0.217*	(-1.78)
INC2	-		0.264	(1.29)	-		0.156**	(2.16)	-		0.151**	(2.56)
INC3	-		0.026	(0.12)	-		-0.017	(-0.21)	-		0.097	(1.54)
INC4	-		-0.196	(-0.82)	-		-0.208**	(-2.32)	-		-0.001	(-0.01)
INC5	-		-0.291	(-1.06)	-		-0.111	(-0.90)	-		0.197*	(1.76)
PRV	NO		YES		NO		YES		NO		YES	
Constant 截距	3.663***	(38.18)	1.573***	(3.42)	-0.355***	(-26.18)	0.187	(0.97)	-0.866***	(-77.24)	-2.963***	(-17.53)
样本量 Observations	8,934		6,166		30,601		20,234		45,506		34,220	
准 R ² Pseudo R ²	0.0506		0.182		0.00189		0.217		0.00608		0.151	
似然比 Loglikelihood	-1,668		-1,106		-20,577		-7,612		-28,149		-11,525	

省略省份虚拟变量的系数; 括号内为稳健Z统计量; “-”表示未放入此变量; 变量含义见表1。*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ 。

Coefficients for provincial dummies not reported; Robust Z-statistics in parentheses; “-” means the variable is not included. See Table 1 for the definition of variables. *** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$.

附录 3 对野生动物利用相关法规和证照了解情况的排序 Logit 模型稳健性检验

Appendix 3 Robustness check for the ordered Logit model on the factors affecting knowledge about wildlife related laws and certificates

变量 Variables	对相关法规了解情况 Knowledge about related laws			对相关许可证了解情况 Knowledge about related certificates		
	Model-I	Model-II	Model-IPW	Model-I	Model-II	Model-IPW
IND	0.618*** (25.67)	0.509*** (17.02)	0.458*** (10.11)	0.787*** (33.35)	0.667*** (22.80)	0.642*** (14.39)
CSV	–	0.408*** (17.28)	0.416*** (11.69)	–	0.352*** (15.13)	0.398*** (11.33)
WAT	0.420*** (27.88)	0.217*** (9.22)	0.251*** (6.91)	0.494*** (33.51)	0.356*** (15.36)	0.366*** (10.32)
CSM	0.023 (0.97)	–0.161*** (–5.43)	–0.058 (–1.26)	0.174*** (7.52)	–0.004 (–0.15)	0.070 (1.57)
URB	–	0.117*** (4.01)	0.104*** (3.42)	–	0.209*** (7.19)	0.209*** (6.81)
GND	–	–0.172*** (–8.90)	–0.161*** (–5.95)	–	–0.460*** (–24.26)	–0.350*** (–12.95)
EAT2	–	0.223*** (10.17)	0.193*** (5.73)	–	0.279*** (12.84)	0.270*** (8.13)
EAT3	–	0.399*** (10.13)	0.264*** (4.32)	–	0.480*** (13.08)	0.430*** (7.82)
EAT4	–	0.593*** (9.33)	0.507*** (5.95)	–	0.601*** (9.84)	0.626*** (7.87)
AGE2	–	–0.451*** (–7.98)	–0.329*** (–3.71)	–	–0.723*** (–13.19)	–0.610*** (–7.54)
AGE3	–	–0.156*** (–2.76)	0.058 (0.66)	–	–0.771*** (–14.01)	–0.545*** (–6.73)
AGE4	–	0.270*** (4.34)	0.483*** (5.05)	–	–0.569*** (–9.30)	–0.298*** (–3.33)
EDU2	–	0.205*** (2.72)	0.206** (2.36)	–	0.210*** (2.94)	0.246*** (2.96)
EDU3	–	0.190** (2.54)	0.143* (1.65)	–	0.444*** (6.26)	0.400*** (4.85)
EDU4	–	0.074 (0.95)	0.033 (0.36)	–	0.540*** (7.34)	0.487*** (5.52)
INC2	–	0.212*** (6.94)	0.169*** (3.87)	–	0.077** (2.54)	0.121*** (2.76)
INC3	–	0.213*** (6.58)	0.171*** (3.56)	–	0.098*** (3.08)	0.135*** (2.85)
INC4	–	0.199*** (5.39)	0.132** (2.41)	–	0.089** (2.44)	0.116** (2.16)
INC5	–	0.079 (1.45)	0.064 (0.78)	–	0.054 (1.02)	0.167** (2.15)
PRV	NO	YES	YES	NO	YES	YES
截距 1 Constant cut1	–0.561*** (–57.73)	–0.206** (–2.17)	–0.016 (–0.13)	0.108*** (11.22)	–0.087 (–0.96)	0.223* (1.95)
截距 2 Constant cut2	2.345*** (175.92)	2.771*** (28.88)	2.766*** (22.19)	2.949*** (188.82)	2.818*** (30.82)	2.973*** (25.67)

变量 Variables	对相关法规了解情况 Knowledge about related laws			对相关许可证了解情况 Knowledge about related certificates		
	Model-I	Model-II	Model-IPW	Model-I	Model-II	Model-IPW
样本量 Observations	75,887	54,315	54,315	75,870	54,310	54,310
准 R^2 Pseudo R^2	0.0126	0.0349	0.0376	0.0210	0.0495	0.0518
似然比 Loglikelihood	-69,555	-48,836	-52,011	-66,885	-46,784	-49,248

省略省份虚拟变量的系数; 括号内为稳健Z统计量; “-”表示未放入此变量; 变量含义见表1。*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ 。

Coefficients for provincial dummies not reported; Robust Z-statistics in parentheses; “-” means the variable is not included. See Table 1 for the definition of variables. *** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$.

史湘莹, 张晓川, 肖凌云, 李彬彬, 刘金梅, 杨方义, 赵翔, 程琛, 吕植. 新冠肺炎时期公众对野生动物消费和贸易意愿的调查及其生境选择. 生物多样性, 2020, 28 (5):630–643.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020134>

变量 Variables	取缔野味集市和餐馆 Ban on wildlife meat markets and restaurants			禁止消费者食用野味 Ban on wildlife eating on consumers			禁止野生动物及制品买卖 Ban on wildlife and wildlife product trade			禁止动物园之外展示野生动物活体 Ban commercial exhibition of wild animals outside zoos		
	Model I	Model II	Model-IPW	Model I	Model II	Model-IPW	Model I	Model II	Model-IPW	Model I	Model II	Model-IPW
截距 4	-2.233*** (-136.09)	-0.667*** (-5.25)	-0.741*** (-4.73)	-2.454*** (-137.44)	-0.877*** (-6.48)	-1.061*** (-6.38)	-2.248*** (-137.31)	-0.730*** (-5.69)	-0.914*** (-5.83)	-1.860*** (-131.24)	-0.568*** (-5.13)	-0.706*** (-5.10)
Constant cut4												
样本量	76,107	54,454	54,454	76,107	54,454	54,454	76,061	54,449	54,449	76,083	54,453	54,453
Observations												
准 R 方	0.00873	0.0425	0.0365	0.0131	0.0552	0.0413	0.0130	0.0541	0.0399	0.00698	0.0330	0.0267
Pseudo R ²												
似然比	-35,470	-24,735	-33,619	-31,223	-22,062	-29,045	-36,558	-26,011	-31,312	-47,400	-33,601	-40,879
Loglikelihood												

省略省份虚拟变量的系数; 括号内为稳健Z统计量; “-”表示未放入此变量; 变量含义见表1。*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$ 。

Coefficients for provincial dummies not reported; Robust Z-statistics in parentheses; “-” means the variable is not included. See Table 1 for the definition of variables. *** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$.



•研究报告•

我国网络平台外来宠物贸易调查

姬云瑞^{1,2} 李叶^{1,2} 刘芳^{1,2} 李迪强^{1,2*}

1 (中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

2 (国家林业和草原局生物多样性保护重点实验室, 北京 100091)

摘要: 为了解我国网络平台外来宠物贸易情况, 作者分别在2018年、2019年对爬宠网app、转转app、微信和慧聪网4个网络平台上外来宠物贸易的种类、规模、价格进行了为期各6周的调查。共记录到外来宠物111种, 隶属于4纲8目44科94属, 其中爬行纲3目31科78属94种, 占物种总数的84%; 两栖纲2目9科11属12种, 占物种总数的11%; 鸟纲1目2科3属3种, 占物种总数的3%; 哺乳纲2目2科2属2种, 占物种总数的2%。IUCN红色名录受威胁物种27种, 占物种总数的24%; 列入CITES附录的物种45种, 占物种总数的41%。77%的外来贸易宠物售卖信息条数低于6条, 58%的外来贸易宠物价格低于1,000元/只。本文根据目前网络平台外来宠物贸易现状, 提出了网络平台动物贸易监管建议。

关键词: 外来宠物; 动物贸易; 网络平台; 管理措施

Assessment of current trade of exotic pets on the internet in China

Yunrui Ji^{1,2}, Ye Li^{1,2}, Fang Liu^{1,2}, Diqiang Li^{1,2*}

1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091

2 Key Laboratory of Biodiversity Conservation, State Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091

Abstract: In order to investigate the trade of exotic pets in China, two 6-week surveys were conducted separately in 2018 and 2019 to analyze the type, volume, and price for sale of exotic pets on four online platforms (Pachongwang app, Zhuanzhuan app, Wechat and Huicongwang). A total of 111 exotic species were recorded across 4 classes, 8 orders, 44 families, and 94 genera—including 94 species (84%, $n = 111$) in Reptilia, 12 species (11%) in Amphibia, 3 species (3%) in Aves, and 2 species (2%) in Mammalia. Twenty-seven species of exotic pets (24%) were listed as threatened species by IUCN Red List and 45 species (41%) were listed in the CITES Appendix. The number of trade events for 77% of species were fewer than six during the survey. Prices of 58% of species were lower than 1,000 yuan per individual. We propose reforms to the current regulation of the online animal and exotic pet trade given the concerning findings of this study.

Key words: exotic pets; animal trade; Internet; management measures

自古以来, 宠物就是人类文化的一部分(Bush et al, 2014)。随着全球经济的发展和人群购买力的提升, 人们对宠物的选择越来越多样化和个性化, 越来越多的外来动物进入宠物市场(梦梦等, 2017)。宠物需求成了全球动物贸易的重要驱动力之一(Moorhouse et al, 2017)。大量的外来物种贸易不仅会加剧濒危物种的灭绝(Annorbah et al, 2016; Shepherd et al, 2016), 还会导致外来物种入侵(Carrete

& Tella, 2008; Su et al, 2016; Lockwood, 2017)和世界性的传染病传播(Harkins et al, 2014)等问题。

随着互联网的快速发展及其便捷性的提高, 互联网平台已经成为动物贸易的重要平台。国际爱护动物基金会(IFAW) 2005年发布的动物网络贸易报告中指出, eBay等在线贸易网站中存在鸚鵡、猛禽等野生动物的贸易(Siriwat & Nijman, 2018)。近几年, 动物网络贸易还从传统的电子商务平台(eBay、

收稿日期: 2019-12-07; 接受日期: 2020-05-24

基金项目: 中国林业科学研究院科研机构基本业务费(169160004000180004)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lidq@sina.com

Amazon等)扩展到社交媒体平台(Instagram、Facebook等)(Siriwat et al, 2019)。国内调查发现百度贴吧、微信、快手等网络平台存在野生动物贸易(马波等, 2013)。频繁的外来物种网络贸易会加剧入侵物种的传播, 挑战生物安全(Derraik & Phillips, 2010)。网络平台上的动物贸易隐蔽性高, 增加了监管工作难度(Sung & Fong, 2018)。为加强网络动物贸易监管, 就需全面了解网络动物贸易的物种和规模。

国外关于网络平台上动物贸易的研究较多, 包括哺乳类(Harrison et al, 2016; Siriwat & Nijman, 2018)、爬行类(Jensen et al, 2019)、鸟类(Martin et al, 2018)。我国关于动物贸易的研究主要集中在实体市场调查(Cheung & Dudgeon, 2006; Gong et al, 2006, 2009; 梦梦等, 2017; 王健等, 2018)、进出口海关和跨境口岸调查(熊小倩等, 2017; 梦梦等, 2018)等, 而网络平台上的动物贸易调查较少, 主要进行了龟类和鹦鹉类的调查(Sung & Fong, 2018; Ye et al, 2020), 缺少其他类群动物的贸易情况。为此, 本文对网络平台上外来宠物贸易的种类、规模、价格进行调查和分析, 以期为制定更加合理有效的外来物种网络贸易监管办法提供科学依据。

1 调查方法

选择4个有代表性的网络平台, 即爬宠网app、转转app、微信(公众号)和慧聪网(<https://www.hc360.com/>)。对这几个平台进行2次各为期6周的调查, 调查时间为2018年9-11月和2019年3-5月。调查对象为网络平台上所售卖的外来宠物, 主要有两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类。调查方法为浏览网络平台, 筛选出涉及外来宠物的售卖信息, 尽可能记录下发布时间、物种名称和价格。物种确认是基于网络平台上提供的学名或俗名并结合图片信息, 若遇到无

法确定的物种, 将卖家提供的图像与图鉴资料进行比对, 或咨询相关专业人士。为了避免重复记录, 调查过程中记录售卖信息发布者的昵称、所在位置和售卖物种的性别、大小等信息, 通过对比具体信息, 剔除掉重复数据。

物种中文名参照《拉汉英两栖爬行动物名称》(赵尔宓等, 1993)、《中国贸易龟类检索图鉴》(史海涛, 2008)、《世界哺乳动物名典》(汪松等, 2001)和《世界鸟类分类与分布名录》(郑光美, 2002), 四书未有收录者则按照学名释译; 物种学名及分类系统参照*Species 2000 & ITIS Catalogue of Life* (Roskov et al, 2019); 保护等级依据《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES, 2019), 物种濒危等级依据IUCN濒危物种红色名录(IUCN, 2017)。

2 结果

2.1 外来宠物的物种组成

本次调查共记录到外来宠物111种, 隶属于4纲8目44科94属(附录1), 其中爬行纲3目31科78属94种, 占物种总数的84%; 两栖纲2目9科11属12种, 占物种总数的11%; 鸟纲1目2科3属3种, 占物种总数的3%; 哺乳纲2目2科2属2种, 占物种总数的2% (表1)。

2.2 外来宠物贸易的规模

通过网络平台上的宠物贸易数据无法获取准确动物数量, 因此本文选择售卖信息的条数来估计宠物贸易的规模大小, 按照数量分为4类: < 6条、6-10条、10-20条、> 20条。调查结果显示, 售卖信息条数少于6条的共有86种, 占物种总数的77%; 6-10条和10-20条的分别有15种(14%)和7种(6%); > 20条的只有3种(3%), 分别是鬃蜥(*Pogona vitticeps*)、美洲鬣蜥(*Iguana iguana*)、黑栉尾蜥(*Ctenosaura similis*) (表2)。

表1 网络交易外来宠物的种类

Table 1 Types of the exotic pets that traded on the internet

纲 Class	目 Order	科数 Number of family	属数 Number of genus	物种数 Number of species (%)
爬行纲 Reptilia	鳄目 Crocodylia	1	1	1 (1)
	龟鳖目 Testudines	6	26	29 (26)
	有鳞目 Squamata	24	51	64 (57)
两栖纲 Amphibia	无尾目 Anura	8	10	11 (10)
	有尾目 Caudata	1	1	1 (1)
鸟纲 Aves	鹦形目 Psittaciformes	2	3	3 (3)
哺乳纲 Mammalia	啮齿目 Rodentia	1	1	1 (1)
	袋鼠目 Diprotodontia	1	1	1 (1)

表2 外来宠物网上贸易规模

Table 2 Volumes of exotic pets traded on the internet

售卖信息条数 Number of trade events	物种数 Number of species (%)	CITES附录I和II物种数 Number of species of CITES Appendix I and II (%)
< 6	86 (77)	30 (71)
6–10	15 (14)	7 (17)
10–20	7 (6)	3 (7)
> 20	3 (3)	2 (5)

表3 外来宠物网上报价

Table 3 The prices for sale of the exotic pets traded on the internet

价格 Price (RMB yuan)	物种数 Number of species (%)	CITES附录I和II的物种数 Number of species of CITES Appendix I and II (%)
< 1,000	50 (58)	16 (38)
1,000–5,000	30 (35)	12 (29)
5,000–10,000	4 (5)	2 (5)
> 10,000	2 (2)	1 (2)

2.3 外来宠物贸易的价格

记录到的111个物种中, 86个物种有价格信息, 占总物种数的77%, 25个物种缺少价格信息。价格低于5,000元的物种有80种, 占有价格信息物种数的93%。价格位于5,000–10,000元的4个物种中, 有2个CITES附录物种, 即五彩金刚鹦鹉(*Ara macao*)和巨蜥(*Varanus cumingi*); 价格高于10,000元的2个物种中, 有1个CITES附录物种, 即喉盾陆龟(*Astrochelys yniphora*) (表3)。

2.4 外来宠物的濒危等级

本次调查到的111个物种中, 有27种被IUCN红色名录列为受胁物种, 占物种总数的24% (表4)。其中有7种被列为极危(CR), 分别是暹罗鳄(*Crocodylus siamensis*)、乌蒂拉栉尾蜥(*Ctenosaura bakeri*)、安南摄龟(*Mauremys annamensis*)、辐纹陆龟(*Astrochelys radiata*)、喉盾陆龟、缅甸星龟(*Geochelone platynota*)、黑凹甲陆龟(*Manouria emys*); 6种被列为濒危(EN), 分别是非洲灰鹦鹉(*Psittacus erithacus*)、危地马拉栉尾蜥(*Ctenosaura palearis*)、五棱栉尾蜥(*C. quinquecarinata*)、蓝岩鬣蜥(*Cyclura lewisi*)、点斑水龟(*Clemmys guttata*)、木雕水龟(*Glyptemys insculpta*)。

在本次调查中, 被列入CITES附录的物种共有45种, 占物种总数的41% (表5)。其中列入附录I的有10种, 分别是暹罗鳄、安南摄龟、辐纹陆龟、喉盾陆龟、缅甸星龟、印度星龟(*Geochelone elegans*)、

表4 网络交易外来宠物的IUCN濒危物种红色名录级别

Table 4 IUCN Red List of Endangered Species category of the exotic pets traded on the internet

IUCN红色名录 IUCN Red List	物种数 Number of species	%
极危 Critically Endangered	7	6
濒危 Endangered	6	5
易危 Vulnerable	14	13
近危 Near Threatened	5	5
无危 Least Concern	69	62
未评估 Not Evaluated	10	9
合计 Total	111	

表5 网络贸易外来宠物的CITE附录级别及其人工繁殖来源比例

Table 5 The exotic pets traded on the internet that are listed in CITES Appendix and their captive breeding origin

CITES附录 CITES Appendix	物种数 Number of species (%)	圈养繁殖物种数 Number of species bred in captivity (%)
I	10 (9)	10 (100)
II	32 (29)	12 (38)
III	3 (3)	2 (67)
未列入附录 Not included in appendix	66 (59)	

非洲灰鹦鹉、蓝岩鬣蜥、五彩金刚鹦鹉、印度泛棱背龟(*Pangshura tecta*)。附录II物种有32种, 包括胫刺陆龟(*Centrochelys sulcata*)、豹纹陆龟(*Stigmochelys pardalis*)、球蟒(*Python regius*)、美洲鬣蜥等。本次调查到的45种CITES附录物种中, 24种(53%)有圈养繁殖成功的案例(附录1)。

3 讨论

3.1 网络平台外来宠物贸易的现状

与国内之前进行的线下市场贸易调查结果(梦梦等, 2017)相比, 本次调查缺少部分雀形目和鸚形目物种, 如亚历山大鸚鹉(*Psittacula eupatria*)、太阳锥尾鸚鹉(*Aratinga solstitialis*)、斑胸草雀(*Taeniopygia guttata*)等, 但增加了有鳞目物种。这显示出线下市场和网络平台宠物贸易的差异, 网络平台大多通过快递运输宠物, 这使得卖家出售的物种趋向于体型小、活动频率和强度低、不易发出声响的龟鳖目和有鳞目物种, 这两大类群是网络平台上外来宠物贸易的主体。在线下市场贸易调查结果(梦梦等, 2017)的基础上, 本次调查增加了11种被IUCN列为极危和濒危(CR/EN)的物种和7种CITES附录I物种。

这表明网络平台已经成为濒危保护动物贸易的重要平台,应当引起管理部门和社会各界的关注。

结合考虑物种的售卖信息条数和价格,售卖信息大于5条的25个物种中,有14种的价格低于1,000元,这显示网络平台上外来宠物的贸易主体是价格低于1,000元的物种。有价格信息并被CITES列入附录I和II的物种总共有31种,其中52%的价格低于1,000元。综合来看,价格低于1,000元的物种不仅售卖规模较大同时也涉及较多保护物种,管理部门应加大对这部分物种的调查和监管力度。

本次调查共监测到45种CITES附录物种。CITES是为了保护某些野生动植物物种不致由于国际贸易而遭到过度开发利用而签订的,但它的核心在于管制而非完全禁止生物物种的国际贸易。为维持濒危物种的野外种群并满足人类对物种的需求,商业繁殖场对部分物种进行了人工繁育。对于可以商业利用的人工繁殖第2代以上的CITES附录物种,根据《中华人民共和国野生动物保护法》的规定,商家应利用进口许可证、人工繁育许可证等相关证明,从野生动物保护主管部门取得专用标识,凭专用标识出售和利用。由于网络信息获取的局限性,很难确定售卖物种个体的来源,但有些卖家未提供物种合法来源信息,可能涉嫌非法买卖。本次调查到的CITES附录物种中,24种有圈养繁殖成功的案例(附录1),包括已经可以规模化商业繁殖的美洲鬣蜥、贝氏栉尾蜥(*Ctenosaura bakeri*)、真鳄龟(*Macrochelys temminckii*)等(Stephen et al, 2011; 杨君达, 2016),这些物种直接来自野外的可能性较低。但繁育技术不成功的物种,来自野外的可能性则较高。

3.2 网络平台外来宠物贸易造成的潜在危害

宠物贸易是导致外来物种入侵的重要途径之一(Hou et al, 2006)。目前已有一些外来物种在我国形成了入侵种群,对我国原生物种的生存发展造成了威胁,例如巴西红耳龟(*Trachemys scripta elegans*)和牛蛙(*Lithobates catesbeianus*)。红耳龟的繁殖能力极强,与我国多种淡水龟栖息地重叠,严重威胁到我国本土龟类物种的生存(龚世平等, 2018)。牛蛙已入侵我国广大区域,可通过竞争、捕食和疾病传播等多种方式危害我国本土两栖类。巴西红耳龟和牛蛙已经被IUCN列为世界上最危险的100种外来入侵物种(Cadi & Joly, 2004; Hou et al, 2006)。

除了上述人们熟知的入侵种,更多的潜在入侵

种也正在进入我国市场。如黑栉尾蜥和美洲鬣蜥都有成为入侵种的记录,它们通过破坏建筑(Sementelli et al, 2008)、捕食当地物种(Krysko et al, 2003; Townsend et al, 2005)、竞争和杂交(Moss et al, 2018)等方式对其入侵区域造成了社会、经济和生态威胁。在加斯帕里利亚岛上,黑栉尾蜥会与入侵物种巴西胡椒树(*Schinus terebinthifolius*)形成互利关系,达到大量繁殖的目的(Jackson & Jackson, 2007)。科研人员通过生态建模的方法预测评估出球蟒在美国成为潜在外来入侵物种的风险极高(Reed, 2005)。因为外来宠物的来源通常未知,其潜在危害不容忽视。外来宠物不仅会影响当地社会经济和生态的平稳发展,还会对人类的健康产生威胁(Derraik & Phillips, 2010; Keller et al, 2011)。沙门氏菌感染的主要来源是食物,但在所有人类沙门氏菌病病例中,估计有3%~5%与接触外来宠物有关(Woodward et al, 1997)。许多两栖动物的皮肤会分泌有毒物质,对人类有潜在的危害(Hou et al, 2006)。目前,还没有关于黑栉尾蜥、美洲鬣蜥和球蟒在我国的情况和作为外来入侵种的风险评估。

宠物的大量需求会威胁到全球物种多样性,走私和非法贸易严重影响了濒危物种在原产地的种群数量。Baker等(2013)发现2006–2011年之间发表的关于野生动物贸易的报告和文献,其中20%是将野生动物作为宠物或用于娱乐需求。在我国广州、北京、上海等城市开展的市场贸易调查都发现有列入CITES附录的动物被售卖,但其中有些是已经规模化人工商业养殖的、根据CITES公约可以合法贸易的物种(如暹罗鳄、真鳄龟等)(Cheung & Dudgeon, 2006; 梦梦等, 2017; 王健等, 2018)。龟类作为宠物、肉类和传统药物的市场规模非常大,而且还在不断扩大,这对全球野生龟类的生存产生了极大的威胁(Mendiratta et al, 2017)。中国亚洲龟类贸易调查发现,在中国南方有贸易的157种龟类中,有155种是作为宠物出售的(Cheung & Dudgeon, 2006)。宠物贸易还导致了大量鸚鵡跨境贩运,使其成为CITES附录中贸易最频繁的鸟类之一(Fogell et al, 2018)。例如非洲灰鸚鵡长期以来在野外被大量捕获,用于国际间的宠物鸟类贸易,其在中西非的种群数量不断减少(Bush et al, 2014),野生种群遭受了严重的威胁(Martin et al, 2018)。

3.3 保护管理建议

3.3.1 落实法律法规, 建立完善网络平台动物贸易监测和管理机制

建议对网络平台动物贸易进行持续性的全面调查, 同时应建立预防动物非法贸易的管控机制, 积极在公安、海关、科研机构、民间组织等机构之间进行多方合作, 提升工作人员的动物保护意识和专业度。建议在网络平台上利用图片识别、大数据、人工智能等技术, 实时监控并捕捉涉嫌非法动物贸易的信息, 将信息及时上报相关部门, 同时注销涉嫌非法贸易的用户。还应在网络平台上建立全员监管机制, 拓宽群众举报渠道, 引入社会监督。建议主管部门严格执行《中华人民共和国野生动物保护法》和《濒危野生动植物进出口管理条例》, 加强国家重点保护物种和CITES附录物种管理。细化动物贸易的相关法律解释, 从网络、实体市场、运输(快递)等多个环节进行监管, 细化管理措施, 落实责任, 以杜绝网络平台的动物非法贸易行为。

3.3.2 构建外来物种监管制度体系, 系统调研外来物种对公众健康和中国生态系统的影响

宠物贸易是导致外来物种入侵的重要途径之一(Hulme et al, 2008)。这些外来物种的贸易不仅威胁着该物种在原产国的生存, 也对我国的生态系统有着潜在的威胁。因此, 建议相关部门与科研机构联合, 系统调研评估外来物种对中国生态系统的影响, 公布可能具有入侵风险的动物外来物种名录。主管部门应结合研究结果, 从我国外来物种入侵事件的发生特点、目前状况、未来趋势等多方面考虑, 尽快建立有效的外来物种监管制度体系。并根据相关法律法规, 从来源、市场、运输、野外多方面对外来物种进行严格监管, 对于违法违规行为, 按照法律规定严厉查处。

3.3.3 加大宣传教育, 提升公众的认知和保护水平

网络平台上存在大量个人繁育外来物种进行买卖、弃养转卖的现象, 说明公众对濒危保护物种和外来物种的相关知识缺乏了解。建议有关部门加强关于濒危保护动物和外来物种的宣传教育和科学知识普及工作, 明确合法贸易物种, 指导公众了解濒危野生动物和外来物种贸易可能带来的健康问题和生态风险, 提高公众的动物保护意识, 减少饲养野生动物和外来物种作为宠物的行为。此外, 建议教育部门和学校加强对学生的动物保护、物种

入侵等相关法律法规知识教育工作。

参考文献

- Annorbah NND, Collar NJ, Marsden SJ (2016) Trade and habitat change virtually eliminate the grey parrot *Psittacus erithacus* from Ghana. *IBIS*, 158, 82–91.
- Baker SE, Cain R, Kesteren F, Zommers ZA, D'Cruze N, Macdonald DW (2013) Rough trade: Animal welfare in the global wildlife trade. *BioScience*, 63, 928–938.
- Bush ER, Baker SE, Macdonald DW (2014) Global trade in exotic pets 2006–2012: Exotic pet trade. *Conservation Biology*, 28, 663–676.
- Cadi A, Joly P (2004) Impact of the introduction of the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) on survival rates of the European pond turtle (*Emys orbicularis*). *Biodiversity and Conservation*, 13, 2511–2518.
- Carrete M, Tella JL (2008) Wild-bird trade and exotic invasions: A new link of conservation concern? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 207–211.
- Cheung SM, Dudgeon D (2006) Quantifying the Asian turtle crisis: Market surveys in southern China, 2000–2003. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16, 751–770.
- CITES (The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (2019) Checklist of CITES species. <http://checklist.cites.org/>. (accessed on 2020-04-28)
- Derraik JGB, Phillips S (2010) Online trade poses a threat to biosecurity in New Zealand. *Biological Invasions*, 12, 1477–1480.
- Fogell DJ, Martin RO, Bunbury N, Lawson B, Sells J, McKean AM, Tatayah V, Trung CT, Groombridge JJ (2018) Trade and conservation implications of new beak and feather disease virus detection in native and introduced parrots. *Conservation Biology*, 32, 1325–1335.
- Gong SP, Chow AT, Fong JJ, Shi HT (2009) The chelonian trade in the largest pet market in China: Scale, scope and impact on turtle conservation. *Oryx*, 43, 213–216.
- Gong SP, Wang JC, Shi HT, Song RH, Xu RMI (2006) Illegal trade and conservation requirements of freshwater turtles in Nanmao, Hainan Province, China. *Oryx*, 40, 331–336.
- Gong SP, Yang JB, Ge Y, Gaillard D (2018) Extent and mechanisms of the increasing geographic distribution of the alien red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) in China. *Chinese Journal of Wildlife*, 39, 373–378. (in Chinese with English abstract) [龚世平, 杨江波, 葛研, Gaillard D (2018) 外来物种红耳龟在中国野外分布现状及扩散路径研究. *野生动物学报*, 39, 373–378.]
- Harkins GW, Martin DP, Christoffels A, Varsani A (2014) Towards inferring the global movement of beak and feather disease virus. *Virology*, 450, 24–33.
- Harrison JR, Roberts DL, Hernandez-Castro J (2016) Assessing the extent and nature of wildlife trade on the dark web. *Conservation Biology*, 30, 900–904.

- Hou PCL, Shiau TW, Tu MC, Chen CC, Chen TY, Tsai YF, Lin CF, Wu SH (2006) Exotic amphibians in the pet shops of Taiwan. *Taiwania*, 51, 87–92.
- Hulme PE, Bacher S, Kenis M, Klotz S, Kühn I, Minchin D, Nentwig W, Olenin S, Panov V, Pergl J, Pyšek P, Roques A, Sol D, Solarz W, Vilà M (2008) Grasping at the routes of biological invasions: A framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45, 403–414.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2017) IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/>. (accessed on 2019-08-30)
- Jackson JA, Jackson BJS (2007) An apparent mutualistic association between invasive exotics: Brazilian pepper *Schinus terebinthifolius* and black spiny-tailed iguanas *Ctenosaura similis*. *Natural Areas Journal*, 27, 254–257.
- Jensen TJ, Auliya M, Burgess ND, Aust PW, Pertoldi C, Strand J (2019) Exploring the international trade in African snakes not listed on CITES: Highlighting the role of the internet and social media. *Biodiversity and Conservation*, 28, 1–19.
- Keller RP, Geist J, Jeschke JM, Kühn L (2011) Invasive species in Europe: Ecology, status, and policy. *Environmental Sciences Europe*, 23, 23–40.
- Krysko KL, King FW, Enge KM, Reppas AT (2003) Distribution of the introduced black spiny-tailed iguana *Ctenosaura similis* on the southwestern coast of Florida. *Florida Scientist*, 66, 74–79.
- Lockwood JL (2017) Exotic birds provide unique insight into species invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 114, 9237–9239.
- Ma B, Jin HY, Pei EL (2013) Status and countermeasures for live wildlife trade on the Internet in Shanghai City. *Chinese Journal of Wildlife*, 34, 46–49. (in Chinese with English abstract) [马波, 金慧宇, 裴恩乐 (2013) 上海市利用互联网交易珍稀活体野生动物现状及对策研究. *野生动物*, 34, 46–49.]
- Martin RO, Senni C, D’Cruze NC (2018) Trade in wild-sourced African grey parrots: Insights via social media. *Global Ecology and Conservation*, 15, e00429.
- Mendiratta U, Sheel V, Singh S (2017) Enforcement seizures reveal large-scale illegal trade in India’s tortoises and freshwater turtles. *Biological Conservation*, 207, 100–105.
- Meng M, Ma JZ, Ji JW, Chen WH, Wang ZK, Yin F (2018) Dynamic analysis of the import and export trade of endangered wild animals in China. *Forest Resources Management*, (3), 19–24. (in Chinese with English abstract) [梦梦, 马建章, 纪建伟, 陈文汇, 王忠昆, 尹峰 (2018) 我国野生动物进出口贸易动态与对策分析. *林业资源管理*, (3), 19–24.]
- Meng M, Ma JZ, Yin F, Chen WH, Ji JW (2017) Investigation of the current trade situation of alien vertebrate species in China and analysis of corresponding management strategies. *Biodiversity Science*, 25, 1137–1143. (in Chinese with English abstract) [梦梦, 马建章, 尹峰, 陈文汇, 纪建伟 (2017) 我国典型城市外来野生脊椎动物贸易状况及管理对策. *生物多样性*, 25, 1137–1143.]
- Moorhouse TP, Balaskas M, D’Cruze NC, Macdonald DW (2017) Posts could reduce consumer demand for exotic pets. *Conservation Letters*, 10, 337–345.
- Moss JB, Welch ME, Burton FJ, Vallee MV, Houlcroft EW, Laaser T, Gerber GP (2018) First evidence for crossbreeding between invasive *Iguana iguana* and the native rock iguana (Genus *Cyclura*) on Little Cayman Island. *Biological Invasions*, 20, 817–823.
- Reed RN (2005) An ecological risk assessment of nonnative boas and pythons as potentially invasive species in the United States. *Risk Analysis*, 25, 753–766.
- Roskov Y, Ower G, Orrell T, Nicolson D, Bailly N, Kirk PM, Bourgoin T, Dewalt RE, Decock W, Nieukerken E, Zarucchi J, Penev L (2019) Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2019 Annual Checklist. <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019/>. (accessed on 2019-08-24)
- Sementelli A, Smith HT, Meshaka WE, Engeman RM (2008) Just green iguanas? The associated costs and policy implications of exotic invasive wildlife in South Florida. *Public Works Management and Policy*, 12, 599–606.
- Shepherd CR, Nijman V, Krishnasamy K, Eaton JA, Chng SCL (2016) Illegal trade pushing the critically endangered black-winged myna *Acridotheres melanopterus* towards imminent extinction. *Bird Conservation International*, 26, 147–153.
- Shi HT (2008) Identification Manual for Traded Turtles in China. *Encyclopedia of China Publishing House, Beijing*. (in Chinese) [史海涛 (2008) 中国贸易龟类检索图鉴. 中国大百科全书出版社, 北京.]
- Siriwat P, Nekaris KA, Nikman V (2019) The role of the anthropogenic Allee effect in the exotic pet trade on Facebook in Thailand. *Journal for Nature Conservation*, 51, 125726.
- Siriwat P, Nijman V (2018) Illegal pet trade on social media as an emerging impediment to the conservation of Asian otters species. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11, 469–475.
- Stephen C, Pasachnik S, Reuter A, Mosig P, Ruyle L, Fitzgerald L (2011) Survey of Status, Trade, and Exploitation of Central American Iguanas. *Department of Interior, United States Fish and Wildlife Service, Washington, DC*.
- Su S, Cassey P, Blackburn TM (2016) The wildlife pet trade as a driver of introduction and establishment in alien birds in Taiwan. *Biological Invasions*, 18, 215–229.
- Sung Y, Fong JJ (2018) Assessing consumer trends and illegal activity by monitoring the online wildlife trade. *Biological Conservation*, 227, 219–225.
- Townsend JH, Slapcinsky J, Krysko KL, Donan EM, Golden EA (2005) Predation of a tree snail *Drymaeus multilineatus* (Gastropoda: Bulimulidae) by *Iguana iguana* (Reptilia: Iguanidae) on Key Biscayne. *Southeastern Naturalist*, 4, 361–364.
- Wang J, Qi S, Guo CP, Lin CR, Xiao JJ, Wang YY, Lin SS

- (2018) Survey on amphibian pet trade in Huadiwan market in Guangzhou. *Chinese Journal of Zoology*, 53, 61–68. (in Chinese with English abstract) [王健, 齐硕, 郭淳鹏, 林灿荣, 肖嘉杰, 王英永, 林石狮 (2018) 广州市花地湾市场宠物两栖动物调查. *动物学杂志*, 53, 61–68.]
- Wang S, Xie Y, Wang JJ (2001) A Dictionary of Mammalian Names (Latin Chinese English). Hunan Education Press, Changsha. [汪松, 解焱, 王嘉骏 (2001) 世界哺乳动物名典(拉汉英). 湖南教育出版社, 长沙.]
- Woodward DL, Khakhria R, Johnson WM (1997) Human salmonellosis associated with exotic pets. *Journal of Clinical Microbiology*, 35, 2786–2790.
- Xiong XQ, You WX, Zhang L, Li YL, Li K (2017) Status of illegal use of wildlife resources in Beijing. *Chinese Journal of Wildlife*, 38, 376–385. (in Chinese with English abstract) [熊小倩, 尤炜轩, 张玲, 李又霖, 李凯 (2017) 北京地区野生动物资源非法利用状况分析. *野生动物学报*, 38, 376–385.]
- Yang JD (2016) Artificial breeding method of *Chelydra serpentina osceola*. China, CN103843723B, 2016-06-08. (in Chinese) [杨君达 (2016) 一种鳄鱼人工繁殖方法. 中国, CN103843723B, 2016-06-08.]
- Ye YC, Yu WH, Newman C, Buesching CD, Xu YL, Xiao X, Macdonald DW, Zhou ZM (2020) Effects of regional economics on the online sale of protected parrots and turtles in China. *Conservation Science and Practice*, 2, e161.
- Zhao EM, Jiang YM, Huang QY, Hu SQ, Fei L, Ye CY (1993) Latin-Chinese-English Names of Amphibians and Reptiles. Science Press, Beijing. [赵尔宓, 江跃明, 黄庆云, 胡淑琴, 费梁, 叶昌媛 (1993) 拉汉英两栖爬行动物名称. 科学出版社, 北京.]
- Zheng GM (2002) A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of the World. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郑光美 (2002) 世界鸟类分类与分布名录. 科学出版社, 北京.]

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 网络平台贸易外来宠物名录

Appendix 1 List of species of exotic pets traded on the internet
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019391-1.pdf>

附录1 网络平台贸易外来宠物名录

Appendix 1 List of species of exotic pets traded on the internet

纲/目	科	物种	市场名	CITES 级别, (圈养繁殖成功案例)	IUCN 红色名录	数量	价格 Price
Class/Order	Family	Species	Trade name	Protection level of CITES, (Successful cases of captive breeding)	IUCN Red List	Number	(RMB Yuan)
哺乳纲 Mammalia							
啮齿目 Rodentia	松鼠科 Sciuridae	黑尾草原犬鼠 <i>Cynomys ludovicianus</i>	黑尾土拨鼠		LC	4	++
袋鼠目 Diprotodontia	袋鼯科 Petauridae	蜜袋鼯 <i>Petaurus breviceps</i>	蜜袋鼯		LC	1	+
爬行纲 Reptilia							
鳄目 Crocodylia	鳄科 Crocodylidae	暹罗鳄 <i>Crocodylus siamensis</i>	暹罗鳄	I, (Platt et al, 2012)	CR	3	+
龟鳖目 Testudines	侧颈龟科 Chelidae	枯叶侧颈龟 <i>Chelus fimbriata</i>	枯叶龟			2	++
		红腹侧颈龟 <i>Emydura subglobosa</i>	圆澳龟		LC	2	
	地龟科 Geoemydidae	马来龟 <i>Malayemys subtrijuga</i>	马来食螺龟	II	VU	2	+
		安南摄龟 <i>Mauremys annamensis</i>	安南龟	I, (Uhrig & Lee, 2006)	CR	2	+
		印度泛棱背龟 <i>Pangshura tecta</i>	印度棱背龟	I, (Vyas, 2001)	LC	4	+
动胸龟科 Kinosternidae	窄桥匣子龟 <i>Claudius angustatus</i>	窄桥麝香龟		NT	1	++	
	斑纹动胸龟 <i>Kinosternon acutum</i>	斑纹泥龟		NT	1		

	大麝香龟 <i>Staurotypus triporcatus</i>	墨西哥麝香龟		NT	5	+
	剃刀动胸龟 <i>Sternotherus carinatus</i>	刀背麝动胸龟		LC	3	+
陆龟科 Testudinidae	辐纹陆龟 <i>Astrochelys radiata</i>	辐射陆龟	I, (Hammer, 2015)	CR	6	++
	喉盾陆龟 <i>Astrochelys yniphora</i>	安哥洛卡象龟	I, (López et al, 2017)	CR	2	++++
	塞舌尔巨陆龟 <i>Aldabrachelys gigantea</i>	亚达伯拉象龟	II	VU	4	
	胫刺陆龟 <i>Centrochelys sulcata</i>	苏卡达象龟	II, (Stearns, 2007)	VU	19	++
	黄腿陆龟 <i>Chelonoidis denticulata</i>	黄腿陆龟	II	VU	5	+
	印度星龟 <i>Geochelone elegans</i>	印度星斑陆龟	I, (Vyas, 2005)	VU	8	+
	缅甸星龟 <i>Geochelone platynota</i>	缅甸星龟	I, (Gerald et al, 2012)	CR	7	++
	黑凹甲陆龟 <i>Manouria emys</i>	黑靴陆龟	II	CR	1	
	豹纹陆龟 <i>Stigmochelys pardalis</i>	豹纹陆龟	II	LC	16	+
	希腊陆龟 <i>Testudo graeca</i>	欧洲陆龟	II, (Robinzon et al, 2005)	VU	2	+
	赫氏陆龟 <i>Testudo hermanni</i>	赫曼龟	II, (Kirsche, 1984)	NT	5	+
泽龟科 Emydidae	点斑水龟 <i>Clemmys guttata</i>	星点水龟	II, (Cassim, 2006)	EN	1	++
	网目鸡龟 <i>Deirochelys reticularia</i>	东部网目鸡龟			1	
	木雕水龟 <i>Glyptemys insculpta</i>	木雕水龟	II	EN	1	
	得克萨斯图龟 <i>Graptemys versa</i>	德州地图龟	III	LC	1	++
	菱斑龟 <i>Malaclemys terrapin</i>	图钻龟	II	VU	3	++

		卡罗林那箱龟 <i>Terrapene carolina</i>	卡罗莱纳箱龟	II	VU	2	++
		红耳龟 <i>Trachemys scripta elegans</i>	巴西红耳龟		LC	11	+
	鳄龟科 Chelydridae	大鳄龟 <i>Macrochelys temminckii</i>	真鳄龟	III, (DiGeronimo et al, 2018)	VU	6	++
		蛇鳄龟 <i>Chelydra serpentina</i>	拟鳄龟	III, (Yang et al, 2016)	LC	7	+
有鳞目 Squamata	安乐蜥科 Dactyloidae	绿安乐蜥 <i>Anolis carolinensis</i>	安乐蜥		LC	7	+
	澳虎科 Diplodactylidae	纤毛多趾虎 <i>Correlophus ciliatus</i>	睫角守宫		VU	14	+
		北方瘤尾虎 <i>Oedura castelnaui</i>	北部丝绒守宫		LC	1	+
		耳多趾虎 <i>Rhacodactylus auriculatus</i>	盖勾亚守宫		LC	2	+++
		多趾虎 <i>Rhacodactylus leachianus</i>	巨人守宫		LC	5	++
	壁虎科 Gekkonidae	尾疹残趾虎 <i>Phelsuma laticauda</i>	马达加斯加金粉守宫	II	LC	4	+
		三带褶虎 <i>Ptychozoon trinitaterra</i>	飞蹼守宫		LC	1	+
	避役科 Chamaeleonidae	盔甲避役 <i>Chamaeleo calypratus</i>	高冠变色龙	II, (Diaz et al, 2015)	LC	6	+
		颈盾避役 <i>Chamaeleo dilepis</i>	喷点变色龙	II	LC	1	
		豹纹避役 <i>Furcifer pardalis</i>	七彩变色龙	II, (Ferguson et al, 2002)	LC	6	
		尖嘴避役 <i>Trioceros jacksonii</i>	杰克森变色龙	II	LC	3	+
	鞭尾蜥科 Teiidae	白齿蜥 <i>Ameiva ameiva</i>	绿丛林蜥		LC	1	+
		条纹鞭尾蜥 <i>Cnemidophorus lemniscatus</i>	彩虹鞭尾蜥			1	+

	闪光蜥 <i>Dracaena guianensis</i>	秘鲁鳄蜥	II	LC	1	
	红色双领蜥 <i>Salvator rufescens</i>	红泰加蜥	II		8	++
藁趾虎科 Carphodactylidae	珠尾虎 <i>Nephrurus asper</i>	棘皮瘤尾守宫		LC	1	++
	光滑珠尾虎 <i>Nephrurus levis</i>	细皮瘤尾守宫		LC	3	++++
	澳西珠尾虎 <i>Nephrurus wheeleri</i>	横带棘皮瘤尾守宫		LC	1	++
海帆蜥科 Corytophanidae	冠蜥 <i>Basiliscus basiliscus</i>	普通双冠蜥		LC	7	+
环尾蜥科 Gerrhosauridae	巨盾甲蜥 <i>Zonosaurus maximus</i>	盾甲蜥		VU	7	+
睑虎科 Eublepharidae	猫眼虎 <i>Aeluroscalabotes felinus</i>	猫守宫		LC	1	++
	斑睑虎 <i>Eublepharis macularius</i>	豹纹守宫			13	+
	半爪虎 <i>Hemitheconyx caudicinctus</i>	肥尾守宫		LC	4	+++
角蜥科 Phrynosomatidae	孔雀针蜥 <i>Sceloporus malachiticus</i>	孔雀针蜥		LC	2	+
巨蜥科 Varanidae	巨蜥 <i>Varanus cumingi</i>	金头泽巨蜥	II	LC	2	+++
	西非巨蜥 <i>Varanus exanthematicus</i>	平原巨蜥	II	LC	3	+
鬣蜥科 Agamidae	斗篷蜥 <i>Chlamydosaurus kingii</i>	伞蜥		LC	2	
	菲律宾海蜥 <i>Hydrosaurus pustulatus</i>	斑帆蜥		VU	1	
	澳洲水龙 <i>Intellagama lesueurii</i>	澳洲水龙		LC	1	
	荒漠沙蜥 <i>Phrynocephalus przewalskii</i>	荒漠沙蜥		LC	1	+

	鬃蜥 <i>Pogona vitticeps</i>	鬃狮蜥		LC	26	+
	眼斑刺尾蜥 <i>Uromastyx ocellata</i>	孔雀王者蜥	II	LC	2	
美洲鬣蜥科 Iguanidae	贝氏栉尾蜥 <i>Ctenosaura bakeri</i>	乌蒂拉栉尾蜥	II, (Stephen et al, 2011)	CR	3	
	危地马拉栉尾蜥 <i>Ctenosaura palearis</i>	危地马拉刺尾鬣蜥	II	EN	1	
		蜥				
	五棱栉尾蜥 <i>Ctenosaura quinquecarinata</i>	狼牙棒刺尾鬣蜥	II, (Stephen et al, 2011)	EN	1	+
	黑栉尾蜥 <i>Ctenosaura similis</i>	中美洲刺尾鬣蜥	II, (Stephen et al, 2011)	LC	33	++
	蓝岩鬣蜥 <i>Cyclura lewisi</i>	蓝岩鬣蜥	I, (Grant & Hudson, 2014)	EN	3	++
	美洲鬣蜥 <i>Iguana iguana</i>	绿鬣蜥	II, (Stephen et al, 2011)	LC	32	+
石龙子科 Scincidae	菲南波多火蜥 <i>Lepidothyris fernandi</i>	火焰石龙子			3	
	沙鱼蜥 <i>Scincus scincus</i>	砂鱼蜥			1	+
	巨柔蜥 <i>Tiliqua gigas</i>	巨型蓝舌石龙子			1	++
	蓝色柔蜥 <i>Tiliqua scincoides</i>	印尼蓝舌石龙子		LC	6	++
	细三棱蜥 <i>Tribolonotus gracilis</i>	红眼鹰蜥		LC	2	+
蜥蜴科 Lacertidae	蓝斑蜥蜴 <i>Timon lepidus</i>	珠宝蜥		NT	2	++
项圈蜥科 Crotaphytidae	项圈蜥 <i>Crotaphytus collaris</i>	项圈蜥		LC	2	+
眼镜蛇科 Elapidae	泰国眼镜蛇 <i>Naja siamensis</i>	中南半岛射毒眼	II	VU	2	
		镜蛇				

鳃形蛇科 Lamprophiidae	家蛇 <i>Boaedon fuliginosus</i>	非洲褐屋蛇		1	+	
美洲钝头蛇科 Dipsadidae	西猪鼻蛇 <i>Heterodon nasicus</i>	猪鼻蛇	LC	1	+	
叶趾虎科 Phyllodactylidae	墙虎 <i>Tarentola chazaliae</i>	头盔守宫	VU	1	++	
	守宫 <i>Tarentola mauritanica</i>	鳄鱼守宫	LC	1	+	
游蛇科 Colubridae	加州王蛇 <i>Lampropeltis getula californiae</i>	加州王蛇	LC	2	++	
	墨西哥王蛇 <i>Lampropeltis mexicana</i>	墨西哥王蛇	LC	3	++	
	高山王蛇 <i>Lampropeltis pyromelana</i>	高山王蛇	LC	1	++	
	乳王蛇 <i>Lampropeltis triangulum</i>	奶蛇	LC	7		
		洪都拉斯乳王蛇 <i>L. t.hondurensis</i>	洪都拉斯奶蛇			
		纳尔逊乳王蛇 <i>L. t. nelsoni</i>	纳尔逊奶蛇			
		帕布拉乳王蛇 <i>L. t. campbelli</i>	帕布拉奶蛇			
	玉米锦蛇 <i>Pantherophis guttatus</i>	玉米蛇	LC	18	++	
	黑唇牛蛇 <i>Pituophis melanoleucus</i>	北美松蛇	LC	3	++	
蟒科 Pythonidae	绿树蟒 <i>Morelia viridis</i>	绿树蟒	II, (Lyons, 2011)	LC	4	++
	球蟒 <i>Python regius</i>	球蟒	II, (Martin, 1998)	LC	13	+
蚺科 Boidae	巨蚺 <i>Boa constrictor</i>	红尾蚺	II	EN	3	++
		班尼水蚺 <i>Eunectes beniensis</i>	亚马逊森蚺	II	LC	1
蝰科 Viperidae	犀角噬蝰 <i>Bitis rhinoceros</i>	犀角噬蝰		LC	1	

		阿拉伯角蝾 <i>Cerastes gasperettii</i>	沙漠角蝾	LC	1	
		紫棕烙铁头	红树林竹叶青	LC	1	
		<i>Trimeresurus purpureomaculatus</i>				
		黑绿烙铁头 <i>Tropidolaemus wagleri</i>	韦氏竹叶青	LC	2	
无尾目 Anura	蟾蜍科 Bufonidae	海蟾蜍 <i>Rhinella marina</i>	巨型海蟾蜍	LC	2	+
	短头蛙科 Brevicipitidae	散疣短头蛙 <i>Breviceps adspersus</i>	散疣短头蛙	LC	1	+
	姬蛙科 Microhylidae	双条螳螂 <i>Phrynomantis bifasciatus</i>	红带步行蛙	LC	1	+
	角蟾科 Megophryidae	尖吻角蟾 <i>Megophrys nasuta</i>	枯叶蛙	LC	1	
	角花蟾科 Ceratophryidae	显角花蟾 <i>Ceratophrys cornuta</i>	亚马逊角蛙	LC	4	+
		克氏角花蟾 <i>Ceratophrys cranwelli</i>	钟角蛙	LC	6	+
		圆眼珍珠蛙 <i>Lepidobatrachus laevis</i>	猫眼珍珠蛙	LC	3	+
	箱头蛙科 Pyxicephalidae	非洲牛箱头蛙 <i>Pyxicephalus adspersus</i>	非洲牛箱头蛙	LC	5	+
	叶泡蛙科 Phyllomedusidae	索瓦叶泡蛙 <i>Phyllomedusa sauvagii</i>	蜡白猴树蛙	LC	1	
	雨蛙科 Hylidae	绿雨滨蛙 <i>Litoria caerulea</i>	老爷树蛙	LC	5	+
		亚马逊糙头蛙	亚马逊牛奶蛙	LC	1	+
		<i>Trachycephalus resinifictrix</i>				
有尾目 Caudata	钝口螈科 Ambystomatidae	虎纹钝口螈 <i>Ambystoma tigrinum</i>	虎纹蝾螈	LC	2	+
鸟纲 Aves						

鸚形目 Psittaciformes	凤头鸚鵡科 Cacatuidae	鸡尾鸚鵡 <i>Nymphicus hollandicus</i>	玄凤鸚鵡		LC	3	+
	鸚鵡科 Psittacidae	绯红金刚鸚鵡 <i>Ara macao</i>	五彩金刚鸚鵡	I, (Figueras, 2013)	LC	3	+++
		非洲灰鸚鵡 <i>Psittacus erithacus</i>	非洲灰鸚鵡	I, (Martin, 2018)	EN	8	++

+ 1–999元; ++ 1,000–4,999元; +++ 5,000–9,999元; ++++ >10,000元。

Cassim K (2006) The Effectiveness of Captive Release Conservation Methods for Spotted Turtles (*Clemmys guttata*). Rochester Institute of Technology, New York.

Diaz RE, Anderson CV, Baumann DP, Kupronis R, Jewell D, Piraquive C, Kupronis J, Winter K, Greek TJ, Trainor PA (2015) Captive care, raising, and breeding of the veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*). CSH Protocols, 2015, 943–949.

DiGeronimo PM, Girolamo ND, Grasperge BJ, Gregory BB, Jowett P, Nevarez JG (2018) Assessment of blood lead, zinc, and mercury concentrations and cholinesterase activity in captive-reared alligator snapping turtles (*Macrochelys temminckii*) in Louisiana, USA. Journal of Wildlife Diseases, 54, 553–557.

Ferguson GW, Gehrman WH, Chen TC, Dierenfeld ES, Holick MF (2002) Effects of artificial ultraviolet light exposure on reproductive success of the female panther chameleon (*Furcifer pardalis*) in captivity. Zoo Biology, 21, 525–537.

Figueras RR (2013) Scarlet macaw *Ara macao cyanoptera* conservation programme in Mexico. International Zoo Yearbook, 48, 48–60.

Gerald K, Eric G, Peter P (2012) Endoscopic imaging of gonads, sex ratio and temperature dependent sex determination in captive bred juvenile Burmese star tortoises *Geochelone platynota*. Asian Herpetological Research, 2, 240–244.

Grant TD, Hudson RD (2014) West Indian iguana *Cyclura* spp reintroduction and recovery programmes: Zoo support and involvement. International Zoo Yearbook, 49, 49–55.

Hammer JM (2015) Reproduction as a function of living conditions: The breeding biology of the radiated tortoise (*Astrochelys radiata*) under natural and captive

- conditions in southwest Madagascar. *Journal of Herpetology*, 49, 633–640.
- Kirsche W (1984) An F2-generation of *Testudo hermanni hermanni* GMELIN bred in captivity with remarks on the breeding of Mediterranean Tortoises 1976–1981. *Amphibia-Reptilia*, 5, 31–35.
- Lyons JA (2011) Wildlife laundering through breeding farms: Illegal harvest, population declines and a means of regulating the trade of green pythons (*Morelia viridis*) from Indonesia. *Biological Conservation*, 144, 3073–3081.
- López J, Waters M, Routh A, Rakotonanahary TF, Woolaver L, Thomasson A, Holmes E, Steinmetz HW (2017) Hematology and plasma chemistry of the ploughshare tortoise (*Astrochelys yniphora*) in a captive breeding program. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 48, 102–115.
- Martin A (1998) Captive breeding and maintenance of the royal python (*Python regius*). *British Herpetological Society Bulletin*, (64), 15–20.
- Martin RO, Senni C, D’Cruze NC (2018) Trade in wild-sourced African grey parrots: Insights via social media. *Global Ecology and Conservation*, 15, e00429.
- Platt SG, Monyrath V, Sovannara H, Kheng L, Rainwater TR (2012) Nesting phenology and clutch characteristics of captive Siamese crocodiles (*Crocodylus siamensis*) in Cambodia. *Zoo Biology*, 31, 534–545.
- Robinson B, Nir I, Lapid R (2005) Growth and body composition in captive *Testudo graeca terrestris* fed with a high-energy diet. *Applied Herpetology*, 2, 201–209.
- Stearns BC (2007) The captive status of the African spurred tortoise *Geochelone sulcata*: Recent developments. *International Zoo Yearbook*, 28, 87–98.
- Stephen C, Pasachnik S, Reuter A, Mosig P, Ruyle L, Fitzgerald L (2011) Survey of status, trade, and exploitation of Central American iguanas. Report, Department of Interior, United States Fish and Wildlife Service, Washington, DC, USA.
- Uhrig D, Lee DS (2006) Care and captive breeding of the highly endangered Vietnam pond turtle, *Mauremys annamensis* (Siebenrock, 1903). *Radiata*, 151(1), 3–10.
- Vyas R (2001) Breeding of the Indian roofed turtle *Kachuga tecta* in captivity. *Zoos’ Print Journal*, 16, 600–603.

姬云瑞, 李叶, 刘芳, 李迪强. 我国网络平台外来宠物贸易调查. 生物多样性, 2020, 28 (5): 644–650. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019391>

Vyas R (2005) Captive breeding of the Indian star tortoise (*Geochelone elegans*). Zoos' Print Journal, 20, 1859–1864.

Yang JD (2016) Artificial breeding method of *Chelydra serpentina osceola*. China, CN103843723B. (in Chinese) [杨君达 (2016) 一种鳄龟人工繁殖方法. 中国, CN103843723B.]