



•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流行的危机。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(聂赞彬和乔娟, 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)、国家卫生和卫生健康委员会(简称国家卫健委,负责传染病监测与防治)和国家质检总局(负责进出境动物检疫)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)、《中华人民共和国进出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《中华人民共和国进出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 streptococcosis*)、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/blsfb>),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,笼捕和铁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) 进口野生动物检出口蹄疫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) 卧龙自然保护区一鬣羚死亡原因剖析. 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, Crameri 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) Sarcoptic 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, Röthemeier 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, Neerinx 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

- 组织中分离出乙型肝炎病毒. 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>