

中国鼠害防控需求的差异、矛盾、挑战与对策

刘晓辉*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室,
杂草鼠害生物学与治理开放重点实验室, 北京 100193)

摘要: 绝大多数啮齿动物种类为植食性的小型哺乳动物,其生物学特性导致了鼠类危害的复杂性。当前,面对日益提高的生态安全需求,粮食安全、人民健康和生物安全以及生态安全对鼠害控制需求的差异造成了中国鼠害防控策略制定及实施的困扰。尤其在草原地区,如何在应急性灭杀和长效缓控之间找到一个平衡点是当前鼠害防控面临的一个巨大挑战。针对这些矛盾和挑战,该文分析了我国鼠害监测防控的现状、主要瓶颈与短板,并从技术层面提出“精准监测指导精准防控”可能会是解决这些矛盾的有效途径,是在有效控制鼠害暴发对粮食生产和人民健康安全威胁的前提下,推进生态保护和修复的有效途径。

关键词: 鼠害; 监测预警; 杀鼠剂; 鼠害防控

Discrepancy, paradox, challenges, and strategies in face of national needs for rodent management in China

Liu Xiaohui*

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Key Laboratory of Weed and Rodent Biology and Management, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The biological characteristics that rodents mainly are small herbivorous mammals lead to the complexity of rodent damages. Facing the increasing national policy for ecological priority, the requirement discrepancy in national food security, public healthy, biosafety, and ecological safety leads to a paradox of how to obtain a balance between emergency killing and long-term control in the execution of rodent control programs, especially in the grassland regions. This paper reviewed the current progress, main bottlenecks, and limitations of rodent management in China, and technically proposed that “precise control guided by precise monitoring” is possibly a perspective coping strategy to fulfill the requirement of ecological safety under the premise of food security and public healthy security by effective control of rodent outbreaks.

Key words: rodent damages; monitoring and early warning; rodenticides; rodent management

鼠害是自有人类记载以来记录最早的一类生物灾害,早在三千年前诗经中就有“硕鼠硕鼠无食我黍……”的记载。鼠类指包括啮齿目和兔形目在内的啮齿动物,是最大的哺乳动物类群,我国现有啮齿动物 12 科 235 种,占哺乳动物种类的 34.2%(魏辅文等,2021)。害鼠特指对人类有害的啮齿动物。鼠类

适应性强,分布广泛,到处都有它的足迹和危害。鼠类除了对农业生产和粮食安全造成严重危害外,还会传播多种疾病,涉及生态安全及生物多样性保护。本文通过分析我国粮食生产、疾病控制和林草生态保护不同领域对鼠害防控需求的差异与矛盾,综述我国鼠害防控技术发展现状及存在的问题,探讨了

我国鼠害治理应采取的宏观对策及发展趋势。

1 中国鼠害防控需求的差异、矛盾与挑战

绝大多数啮齿动物种类为植食性的小型哺乳动物,其生物学特征导致了鼠害的特殊性和复杂性,基于鼠类为害特征,鼠害治理事关国家粮食安全、人民健康安全、生物安全和生态安全。

1.1 鼠害治理事关国家粮食安全

在农业生产领域,啮齿动物的植食性特征导致鼠类成为威胁我国粮食安全的重大生物灾害类群之一。根据农业农村部全国农业技术推广服务中心提供的数据,2010—2021年,全国农区每年鼠害发生面积平均为 $2\,350\pm 198$ 万 hm^2 ,即使在平均控制面积占发生面积73%的情况下,平均每年由鼠害造成的粮食损失仍高达 148.2 ± 26.1 万t。鼠类还是储粮害鼠,2021年全国农户鼠害发生9514万户,平均每户粮食损失17kg。鼠害治理事关国家粮食安全。

1.2 鼠害治理事关国家生物安全 and 人民生命健康

在疾病控制领域,鼠类是多种传染病宿主类群和传染媒介。鼠类可以传播包括鼠疫、流行性出血热等在内的近60种人畜共患病(王祖望和张知彬,1996)。啮齿类动物是鼠疫的主要宿主,我国是鼠疫宿主动物种类最多的国家之一(Mahmoudi et al., 2021)。在我国鼠疫自然疫源地中,主要宿主动物包括喜马拉雅旱獭 *Marmota himalayana* 和长爪沙鼠 *Meriones unguiculatus* 等14个种类(秦长育等,2012),疫源地面积达115万 km^2 。常发和高发鼠传疾病还包括流行性出血热、钩端螺旋体病和包虫病等(伍卫平等,2018;赵哲等,2021)。鼠传疾病严重威胁人民生命健康及社会稳定。

1.3 鼠害治理事关国家生态安全及生物多样性保护

根据国务院第三次全国国土调查结果公报,我国林地总面积有28412.59万 hm^2 ,草地总面积有26453万 hm^2 ,其中天然草原面积为21317万 hm^2 。林地鼠害发生面积相对较小,主要发生于苗圃及新生林地。草原鼠害则在草原地区普遍发生,2007—2021年我国草原鼠害年平均发生面积为3644.69万 hm^2 (花立民和柴守权,2022),在草原生态系统中扮演着极为重要的角色。从食物链网运转角度来看,植食性的啮齿动物是草原生态系统初级消费者能量层级中最大的哺乳动物类群,鼠类种群消长直接影响着草原植被特征和以啮齿动物为食的天敌种群数量,与生物多样性息息相关。鼠类在生态系统中扮演重

要角色最引人瞩目的例子之一是河狸,包括2个物种,即欧亚河狸 *Castor fiber* 和美洲河狸 *C. canadensis*。在19世纪曾经濒临灭绝的这2个物种,以极强的砍伐树木和制造堤坝的能力闻名,河狸建造形成的水坝和湿地能够抬高地下水位并形成泥炭地,提高了淡水生态系统的生产力,有利于野生鲑鱼的生长、青蛙种群及水禽的多样性保护和多种半水生哺乳动物的生存等(Rosell et al., 2005; Grudzinski et al., 2020)。另一个例子是营地下生活和挖掘洞道的囊鼠 *Thomomys bottae*,通过影响土壤理化性质和营养水平,显著影响其所在生态系统的植被多样性水平,被称为“生态工程师”(Reichman & Seabloom, 2002; Románach et al., 2007)。在我国,抛开鼠害暴发对牧草生产的影响,研究表明高原鼯鼠 *Myosorex baileyi* 的挖掘行为可显著改变青藏高原土壤理化性质,提高植被生物多样性,同样可以称为“生态工程师”,在青藏高原草地生态系统中发挥着重要作用(Zhang et al., 2003; Hu et al., 2017; Niu et al., 2020)。这些研究表明鼠类在林草生态系统保护中具有举足轻重的地位。然而,鼠害发生,尤其是局部暴发,短期内同样会严重破坏草原植被,导致水土流失,威胁草原生态安全(钟文勤,2008;马素洁等,2019;花立民和柴守权,2022),因此科学的鼠害治理事关国家生态安全及生物多样性保护。

1.4 鼠害防控需求差异、矛盾与挑战

粮食生产对有害生物治理需求的特性决定了该领域鼠害防控措施主要是以灭杀为主的应急治理技术。随着2019年内蒙古自治区鼠疫感染事件以及一直持续至今的新冠疫情,我国将生物安全提升到了前所未有的高度。从疾病防控角度来看,鼠害防控也以灭杀性应急治理技术为主。与粮食生产和疾病控制领域毫无争议的鼠害概念相比,关于森林和草原生态系统中鼠类的作用,长久以来一直存在不同的观点。尤其是草原生态系统,相对于已经被广泛接受为生态调节功能的森林生态系统,草原到目前为止仍旧作为重要的畜牧业生产资料而存在。从对牧草和林木产量损失的角度来看,鼠类的确是毫无争议的有害生物类群。然而,草原生态系统还具有更为重要的生态功能,包括调节气候、涵养水源、水土保持、防风固沙、改良土壤和生物多样性等(于格等,2005)。2018年,天然草原的管理由农业农村部转归自然资源部国家林业和草原局,并将“草原生态修复治理工作,监督管理草原的开发利用”列为国

家林业和草原局的主要职责之一,体现了我国生态文明建设指导思想下对天然草原功能的重新定位,对鼠害等草原有害生物治理策略提出了新的要求。不同行业领域鼠害危害性质及防控需求存在的巨大差异导致了鼠害治理策略制定的矛盾与挑战,主要体现在以下2个方面。

一方面,不同行业领域对鼠害防控存在相互矛盾的需求。在粮食生产和疾病防控领域,对鼠害防控的需求主要为灭杀性应急防控,即要求在较短的时期内将鼠类种群数量迅速控制在防控阈值之下,才能有效控制鼠类暴发带来的粮食减产或疾病传播的风险。然而在林草生态系统中,鉴于鼠类在食物链中的特殊性以及其他重要的生态功能,从生态保护角度来讲鼠类不宜一味灭杀和过度控制。只要不是鼠类暴发导致植被过度被破坏,保持适当的鼠类种群数量有利于生态平衡的保护和恢复。至少,适当的鼠类种群数量是保障各类以鼠类为食的天敌种群繁衍的基础,更何况鼠类还扮演着“生态工程师”的重要角色。

另一方面,粮食生产、疾病防控和草原保护的鼠害控制是无法截然分开的。其中最为突出的一点是这3大领域鼠害防控需求的重点区域都集中在广大的农村地区。在粮食生产领域,除我国南方由于环境原因鼠害发生水平普遍较高外,鼠害高发区多集中于生产条件相对落后、经济欠发达的农村地区。在疾病控制领域,以鼠疫疫源地分布为例,14类主要宿主种类中超过10种为典型草原害鼠,疫源地主要分布在草原地区。农牧交错带是牧区与农区的过渡带,地处农田-森林-草原-荒漠的生态交错区,兼具牧区与农区的特征,在农业区划上为种植业和畜牧业产值大体相等的半农半牧区,总面积达1亿 hm^2 。按照2015年统计的农牧交错带分布数据,东北、华北农牧交错带总共跨域了6省125个旗县,其中65个旗县为国家级贫困旗县。农牧交错带中,很多鼠类如黑线仓鼠 *Cricetulus barabensis*、长爪沙鼠和达乌尔黄鼠 *Spermophilus dauricus* 等都在农田和草原兼性为害。家栖鼠类分布更是与环境卫生条件息息相关,越是卫生条件落后的地区鼠类为害越重,而这些地区更多的是欠发达的农村居民区。

这些矛盾对新时期我国鼠害防控提出了严峻的挑战。尤其在天然草原和农牧交错区,粮食生产、牧草生产和疾病控制需要更严格地将鼠类控制在较低的密度,从草原生态保护的角度来看则需要适当提

高鼠类的防控阈值。如何选择一個适宜的防控策略以同时满足不同行业领域对鼠害防控的需求,在对鼠类监测及防控技术提出严峻挑战的同时,也为鼠害学科发展提供了契机和机遇。

2 中国鼠害防控技术现状与存在的问题

鉴于对粮食生产更强烈的需求,对鼠害防控具有更高需求的地区主要集中在非洲以及包括中国在内的东南亚的诸多发展中国家。从鼠害应急治理角度来看,我国鼠害防控水平目前走在世界前列,这主要得益于我国在鼠害治理方面以政府部门统一领导的以“统防统治”为核心指导思想的公益性治理模式。随着我国经济的飞速发展,尤其是生态文明理念的发展,我国对鼠害治理需求的重心正在发生重大转变,尤其是在更多涉及生态保护和修复的草原地区。不同行业领域对鼠害防控的需求差异和矛盾对我国鼠害防控提出了新挑战。尽管目前我国将生态文明建设提高到了前所未有的高度,然而长期以来我国这种一直将草原作为生产资料并对牧草生产更为重视、草原鼠害以应急性灭杀为主的模式还需要一个从理念层面从上至下的转变过程。从害鼠生物学研究及防控技术层面上讲,面对新时代我国鼠害防控需求,当前鼠害防控的问题主要体现在以下3个方面。

2.1 单纯经济阈值标准已无法满足鼠害的可持续控制

经济阈值指害虫达到应采用控制措施时的种群密度,超过该密度害虫所导致的经济损失将大于控制措施实施所需要的代价(盛承发,1989)。从应急防控角度来看,经济阈值概念逻辑清晰,容易理解,是有害生物防治标准制定的基础。我国生态文明发展理念的核心之一在于更为注重可持续发展。习近平(2021)在《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会视频讲话中提出:“绿水青山就是金山银山。良好生态环境既是自然财富,也是经济财富,关系经济社会发展潜力和后劲。”“青山绿山就是金山银山”可持续发展科学论断中实际上隐含着生态阈值的概念。

相对于经济阈值,生态阈值概念要复杂很多。自20世纪70年代末形成以来(May, 1977),生态阈值的概念一直在发展和延伸中。由于生态系统的多样性及生态系统内部因子作用的复杂性,科学家对生态阈值的概念从不同的角度有不同的解读(唐海萍等,2015),然而生态阈值指示了一个生态系统维

持稳态的阈值(May, 1977),这仍是各种概念共有的特征。尽管生态阈值的定量研究尚处于萌芽状态,然而,基于野外长期大数据统计模型分析所获得的生态阈值已经在人类社会发展中发挥着越来越重要的作用,如生态系统服务的阈值确定、生物多样性保护阈值的确定和生态系统管理阈值的确定等(唐海萍等, 2015)。天然草原放牧强度就是以牛羊对草场啃食的生态阈值为依据(Wang et al., 2008)。简而言之,生态阈值可以理解为人类实现自然资源可持续利用的理论和数据依据。

鼠类是特殊的有害生物类群,除了对粮食安全(包括牧草生产)及生物安全的直接威胁,鼠类暴发也将直接威胁生态系统安全,然而对鼠类过度灭杀同样将直接威胁生态系统安全,并且从生物多样性保护等其他生态角度来看,将逐渐导致比鼠类暴发更加不可逆的生态恶果。因此,单纯经济阈值已经无法满足当前鼠害的可持续防控,尤其是草原区域鼠害防控策略及标准的制定,要同时考虑粮食安全、生物安全、生态安全和生物多样性保护。我国鼠害发生现状表明鼠害防控将一直是保障我国粮食安全、生物安全和生态安全不可或缺的需求。然而我国鼠害防控生态阈值的研究目前几乎还处于空白阶段,如何在现有经济阈值的基础上,更加深入和客观评价鼠类在不同生态系统中的功能,推进我国鼠害防控的科学性及天然草原等自然资源的可持续利用还任重而道远。

2.2 监测技术仍是制约我国鼠害防控的主要瓶颈

监测技术是鼠害预测预报、鼠害防控策略制定、防治效果评价等鼠害治理各个环节的基础。生态阈值的确定需要对相关生态因子长期精确大数据的获取与分析,也对鼠害监测提出了更高的要求。如鼠害防控生态阈值需要在鼠类种群密度变化监测的基础上,依据鼠害监测防治目标对相关因素同步进行观测获取,如植被变化、天敌种群数量变化等。我国鼠害监测的历史数据及当前监测仍旧主要依赖于夹捕法(Liu, 2019)。从获取鼠类样本保障精细生物学分析的角度来讲,夹捕法是一项不可或缺的监测技术。然而夹捕法,包括其他传统的鼠害监测方法如粉迹法和监测防控一体的TBS(trapping barrier system)围栏等(Liu, 2019),最大的弱点都在于对人工的过度依赖及监测效率(如实时性和监测范围)不足。近年来随着人工智能及各类遥感技术的兴起,国内多个团队开展了鼠害智能监测技术的研发,我

国在鼠害监测技术方面取得了长足的进步(Liu, 2019),并处于一个高速发展的时期。然而,不同生态系统中鼠类种类差异巨大,在各自生态环境中的功能截然不同,从而导致对鼠类监测的需求也截然不同。如地上害鼠和地下害鼠行为及密度特征差异、夜行鼠类和日行鼠类行为差异、不同农区鼠类为害特征差异以及不同草原区鼠类生态功能差异等,这些差异都对鼠类监测提出了极高的个性化监测需求。从我国鼠害防控需求来看,目前鼠害监控技术仍是生态阈值研究、鼠害精准预测预报和鼠害精准防控等的主要瓶颈之一。

2.3 生态友好型鼠害防控技术缺乏

生态友好型鼠害防控技术缺乏仍旧是我国鼠害防控的主要短板之一。除了新兴的智能监测技术,近年来我国鼠害防控技术各方面都有了长足的发展,生态友好型技术正在成为我国鼠害防控技术研发的主流。天敌防控类的招鹰架技术、物理防控类的TBS(如围栏陷阱)技术、化学防控类的不育技术和以毒饵站为代表的杀鼠剂施用技术等,都是具有代表性的生态友好型技术(刘晓辉, 2018; Liu, 2019)。然而,从我国鼠害发生的现状和防控需求来看,尤其是草原地区对生态优先的需求,生态友好型技术的缺乏仍旧是我国鼠害防控技术发展的主要短板之一。

2.3.1 鼠类生物防控技术现状及存在的问题

在鼠类生物防控技术中,招鹰架技术是在草原地区推广的一项生态友好型纯绿色鼠害防控技术,可以通过提高猛禽类天敌的捕食效率有效控制鼠害的暴发,对生态系统不存在任何负效应,有利于鼠类和天敌种群之间生态平衡的维持,是目前最值得推广的一项生态友好型鼠害控制技术。然而相对而言,招鹰架技术是一项被动的鼠害防控技术,不仅依赖于天敌种群的存在,还依赖于天敌和鼠类种群之间的稳态平衡。目前我国草原很多地区鼠害呈局部暴发特征,这种特征实际反应了鼠类和天敌种群之间的失衡,最主要原因之一是对草原鼠类过度灭杀所造成的食物匮乏从而导致天敌种群数量的逐渐下降和锐减,由于鼠类的高繁殖力及天敌捕食这一最重要限制因子的破坏,与其他各种影响因素互动,而造成目前很多地区草原鼠害呈局部暴发的模式。由于天敌种群繁衍的延迟效应(即使被暴发性鼠害临时吸引迁徙的天敌种群,也需要周边地区存在较高的天敌种群数量),招鹰架技术尽管有利于暴发性

鼠害的控制,但还不足以应对暴发性鼠害在短期内对草原植被的巨大破坏。

从理论层面来讲,驯化饲养和释放鼠类天敌是一类更为主动的生物防治技术,如我国有饲养释放银黑狐控制鼠类的尝试(加曼草,2021)。但需要警惕的是,饲养释放天敌进行鼠害控制需要科学论证,尤其是释放当地生态环境中所没有的天敌种类时更需要严格管理控制,入侵生物导致生态灾难的例子已经不胜枚举,生物入侵并非以国界为分界线而是指物种进入一个原先无法或难以靠自身进入的全新环境的过程。

我国鼠害生物防治存在的另一个重大问题是生物防治概念的过度引申,将生物源杀鼠剂也列入生物防治范畴,导致生物源杀鼠剂高安全性的假象。这个问题将在杀鼠剂应用部分加以更详细论述。

2.3.2 鼠类物理防控技术现状及存在的问题

以TBS为代表的物理防控技术不存在化学杀鼠剂可能对环境产生的负效应,因此一直被认为是符合生态理念的鼠害防控技术(Singleton et al., 2004; Jacob et al., 2010; Makundi & Massawe, 2011)。然而,TBS技术主要适用于我国农田鼠害的防控,尽管近年来线性TBS的发展已经极大地提高了TBS的操作方便性(Liu, 2019),总体上来讲该技术仍旧对人工依赖性很高,并且不适合在草原地区推广应用。我国另一项得到广泛推广的鼠害防控器械是弓箭(或称地箭),主要用于鼯鼠的防治,然而该技术同样对人工依赖性极强,而且弓箭也是由于鼯鼠难以用化学药剂防控情况下的一个无奈选择。没有化学杀鼠剂可能造成的环境风险,是物理防控技术最大的优势。从作用效果来看,物理防治技术也属于单纯的灭杀技术,是否有利于鼠类-天敌稳态平衡维持和修复尚需要更多的论证。

2.3.3 杀鼠剂应用现状及存在的问题

关于我国杀鼠剂现状及存在的问题已在相关综述中(刘晓辉,2018;Liu, 2019)有较详细的论述,本文就不再赘言。杀鼠剂在我国属于严格管控的农药类型,主要原因在于杀鼠剂对人类及环境的安全风险。广谱性作用方式是导致杀鼠剂各类风险的核心原因。继禁用的氟乙酰胺、甘氟、毒鼠强、氟乙酸钠和毒鼠硅之后,磷化锌于2019年也被列入了农业农村部农药管理司颁布的《禁限用农药名录》中禁止(停止)使用的农药。在目前登记(有效期截止日期至2025年12月24日)的12种杀鼠剂(指有效成分)中,

C型肉毒梭菌毒素、D型肉毒梭菌毒素、氟鼠灵、敌鼠钠盐、杀鼠灵、杀鼠醚、溴敌隆和溴鼠灵这8种杀鼠剂列入了农业部公告第2567号《限制使用农药名录(2017)版》。面向我国目前对于鼠害防控生态优先的重大需求,以不育剂为代表的长效缓控技术是最适合草原鼠害防控的技术之一。从理论上讲,不育技术在控制鼠类种群数量暴发的同时,非灭杀性作用对当代鼠类种群数量影响较小,有利于天敌种群繁衍及生态平衡的保护和恢复。然而任何化学药剂都不可避免会存在可能的环境及其他安全风险,我国对杀鼠剂采用了源头管控模式,对杀鼠剂应用的各个环节尚未建立完善的管理体系。面对新时期对鼠害防控需求的变化与挑战,本文将基于杀鼠剂作用方式对杀鼠剂应用中存在的问题及发展方向展开进一步讨论。

首先,杀鼠剂安全概念误区导致应用管理的科学性不足。杀鼠剂安全风险包括人类健康和环境安全风险。人类健康风险是所有农药重点考虑的一个指标,鼠类哺乳动物的特性导致杀鼠剂在这方面的问题更加突出。毒鼠强等被禁用的关键原因在于这些农药的剧毒特性,这些农药半致死剂量(LD₅₀)低,作用时间短,中毒后来不及救治,导致人类中毒死亡的风险很高。如毒鼠强LD₅₀为0.25 mg/kg,作用速度小于1 h。理论上,化学药物对人类健康的风险是不可避免的,与药物是天然产物还是合成药物无关,一般来讲,LD₅₀越低,作用时间越短,对人类健康安全风险越高。根据美国环境保护署相关评估报告,所有抗凝血类杀鼠剂的经口急性毒性都为高风险级别。在杀鼠剂应用管理中,需要根据杀鼠剂毒力高低来科学判断和管理不同杀鼠剂产品对人类健康的风险。如原药毒性相对较高的溴敌隆,按照其对大鼠的LD₅₀值1.12 mg/kg(张知彬和王祖望,1998),以有效成分为0.01%的成品毒饵计算,体重60 kg的人达到半致死剂量需要成品毒饵672 g。因此在应用过程中,需要根据杀鼠剂商品特征加以科学管理,对原药采取更为严格的安全管理模式,对成品毒饵等采用相对宽松的管理模式。如可以采用欧美限制商品包装大小并搭配安全性使用工具的模式(张正炜和陈秀,2020)等。

化学杀鼠剂还存在不可避免的环境风险。杀鼠剂可以导致天敌以及不以鼠类为食的非靶标动物中毒。除了中毒鼠类导致天敌的二次中毒外,昆虫、软体动物等接触杀鼠剂后也可造成环境残留(Vyas,

2017; Nakayama et al., 2019)。然而杀鼠剂和其他用于病虫草害治理的农药的最大差异在于造成环境风险的途径必须经过毒饵这一特殊的杀鼠剂使用方式(Vyas, 2017; Nakayama et al., 2019)。以毒饵方式作用的杀鼠剂, 不会像其他以喷施方法为主的农药一样直接残留在食物表面对非靶标物种(尤其是人类)造成威胁。尽管生物源制剂对环境高安全性的概念的确适用于其他农药类型, 然而并不完全适用于杀鼠剂。杀鼠剂的应用和作用方式决定了高毒性生物源杀鼠剂将与其他高毒性杀鼠剂一样对环境存在高污染风险。残留时间是农药环境风险评估最重要的参考指标之一, 然而毒力高低(LD_{50} 及毒性作用时间长短)应当是杀鼠剂对人类以及环境安全风险评估的首要考虑因素。尽管生物源杀鼠剂在理论上存在环境友好的特性, 然而无论是否为生物源制剂, 都应统筹考虑残留时间、残留浓度以及对不同非靶标生物的毒性作用特征等综合因素, 方可对一个杀鼠剂的安全性做出科学评价。

总之, 无论从人类健康还是环境安全风险, 在杀鼠剂应用管理过程中, 应当将杀鼠剂是否直接作用于靶标生物以及杀鼠剂应用过程中直接或间接取食对非靶标生物造成的可能安全风险作为核心的评价指标, 将杀鼠剂应用的各个环节纳入管理范畴, 推进杀鼠剂安全的科学管理。

其次, 环境及鼠种特异性评估不足是目前杀鼠剂科学应用的主要短板之一。我国比欧美等发达国家具有更高的鼠害治理需求。如美国有害生物治理协会公布的主要害鼠种类仅有4种: 褐家鼠 *Rattus norvegicus*、小家鼠 *Mus domesticus*、屋顶鼠 *Rattus rattus* 和鹿鼠 *Peromyscus maniculatus*。其中褐家鼠、小家鼠和屋顶鼠是典型的家栖鼠类, 而鹿鼠尽管不是典型的家栖鼠, 但防治重点也是居民区受该物种侵染的设施和区域。我国则对为害作物、草场及树木的鼠类都有防控需求, 涉及的种类大约有50种。常见种类除了褐家鼠、小家鼠和黄胸鼠 *Rattus tanezumi* 这3种典型家栖鼠外, 农田环境包括北纬25.5°以北地区广泛分布的黑线姬鼠 *Apodemus agrarius*, 华北地区的大仓鼠 *Tscherskia triton*、黑线仓鼠、达乌尔黄鼠和中华鼯鼠 *Eospalax fontanieri*, 华中地区的棕色田鼠 *Lasiopodomys mandarinus* 和东方田鼠 *Microtus fortis*, 华南地区的黄毛鼠 *Rattus losea* 和板齿鼠 *Bandicota indica* 等常见种类, 草原环境包括内蒙古典型草原区的布氏田鼠 *Lasiopodomys brandtii* 和

长爪沙鼠, 青藏高寒草地的高原鼠兔 *Ochotona curzoniae* 和高原鼯鼠, 新疆荒漠草原的黄兔尾鼠 *Lagurus luteus* 和大沙鼠 *Lagurus luteus* 等常见种类, 环境、害鼠种类、防治需求和目标差异极大。然而, 目前我国杀鼠剂应用中各类害鼠的治理都主要以其对大鼠及小鼠的 LD_{50} 为参考, 尤其面对草原鼠害生态优先控制策略需求时, 在缺乏对靶标种类控制效率准确评价的同时, 对天敌动物风险的监测及评估几乎完全空白, 严重影响了不同环境中鼠害控制的科学性。

不育调控技术的概念由 Edward Knippling 提出并成功应用于有害昆虫治理(Dyck et al., 2005)。鼠类不育技术起始于澳大利亚, 而我国是鼠类不育剂研究和应用最为广泛的国家。从不育概念的理论涵义, 这种非灭杀性繁殖调控技术的确在控制鼠类种群数量的同时有利于食物链及生态平衡的维持和保护(刘晓辉, 2018; Liu, 2019)。我国现有登记的具有不育作用杀鼠剂产品中, 莠灭醇登记为纯不育制剂, 雷公藤甲素和 α -氯代醇则登记为具有灭杀和不育双重作用。纯不育制剂不适宜用于农田鼠害等需要在短期迅速压低鼠类种群数量的应急防控, 但其非灭杀特性对鼠类当代种群数量没有影响, 且有利于天敌的取食, 从而更适宜于林草生态系统中对鼠类长效缓控的技术要求。雷公藤甲素和 α -氯代醇现有市场产品都对鼠类当代种群数量具有较强的毒杀作用, 其不育效应对野生种群数量的影响尚缺乏相关数据支持和评价。

总之, 在未来较长的一段时间内, 化学防治还将是我国鼠害防治不可或缺的技术。面对我国对鼠害治理复杂的需求和矛盾, 根据环境、害鼠种类及防控目的开展专项评估, 将是保障杀鼠剂安全性及应用科学性的必由之路。

3 中国鼠害防控的解决途径与对策

目前, 不同行业领域的需求矛盾导致了我国鼠害防控策略制定及实施过程中的困扰。应急性鼠害防控在粮食生产及卫生防疫领域不可或缺。如应急性灭杀是高危传染期间有效控制鼠疫传播的重要举措, 是保障粮食生产, 尤其是具有高经济价值如良种繁育、中药材、名贵反季节蔬菜等作物生产安全的必然措施。尽管目前鼠害控制的生态需求主要体现在草原地区, 然而从长远来看, 维持鼠类和天敌种群平衡是有效控制鼠类暴发和实现鼠类可持续控制的必

由之路。如鼠疫为自然疫源疫病,不可能靠消灭宿主动物达到控制鼠疫的目的。天敌种群同样是农田鼠害发生的关键制约因子。从鼠害防控技术角度来看,以“精准监测指导精准防控”可能是解决当前不同行业领域鼠害防控需求矛盾的有效途径,也是在有效控制鼠类暴发成灾的前提下,促进生态保护和修复的最佳途径。

监测技术是实现精准防控的基础,目前人工智能技术的快速发展为鼠类监测效率和精准度的提高提供了可能。基于我国目前鼠害防控现状,提高监测效率和精准度将是解决不同行业领域鼠害监测需求的基本发展方向。而高效精准监测技术的发展,也将为鼠类监测大数据积累、实现鼠害精准预测预报、生态阈值研究与确定提供解决的途径。

面对鼠害,粮食生产和卫生防疫工作中的急防控需求与环境保护工作中生态优先的长效缓控需求之间存在矛盾,建议以现有应急防控技术为基础,与智能监测技术研发相结合,以提高化学杀鼠剂靶向为目的,致力于杀鼠剂安全和精准施用技术研发,这将是解决目前杀鼠剂各类安全风险的必由之路。我国是鼠类不育技术研究和应用最为深入和广泛的国家,面向鼠害防控生态优先的重大需求,开展繁殖调控、不育药剂及施用技术研发,尤其是针对不同鼠种的不育效果评价和专项技术研发,真正以不育理论为指导实现鼠类种群数量的可调可控,将在我国草原鼠类防控领域具有极为广阔的应用前景。面对我国不同生态环境条件下鼠类防控需求的复杂性,结合鼠种特异性的专项防控技术研发,以如何把握控害与生态之间的平衡点为导向,研发区域特异性鼠类防控策略,将是解决不同行业领域鼠害防控需求矛盾的重要途径。

总之,无论是应急治理还是长效缓控,要充分考量农林牧卫鼠害防控需求的差异和矛盾,以生态优先理念为指导,推进鼠害生态防控阈值研究与确定,以精准监测为基础,提高各类鼠害防控技术和防控环节的靶向性,将是提高我国鼠害防控水平、解决目前我国鼠害防控主要问题的有效途径和发展方向。

致谢:农业农村部全国农业技术推广服务中心药械处郭永旺及秦萌提供我国农区鼠害的历史数据,特此致谢!

参 考 文 献 (References)

Dyck VA, Hendrichs JP, Robinson. 2005. Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management. Dordrecht, the Netherlands: Springer

- Grudzinski BP, Cummins H, Vang TK. 2020. Beaver canals and their environmental effects. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 44(2): 189–211
- Hu L, Zi HB, Ade LJ, Lerda M, Wang CT. 2017. Effects of zokors (*Myospalax baileyi*) on plant, on abiotic and biotic soil characteristic of an alpine meadow. *Ecological Engineering*, 103: 95–105
- Hua LM, Chai SQ. 2002. Rodents pest control on grassland in China: current state, problems and prospects. *Journal of Plant Protection*, DOI: 10.13802/j.cnki.zwbhxb.2022.2022812 (in Chinese) [花立民, 柴守权. 2022. 中国草原鼠害防治现状、问题及对策. 植物保护学报, DOI: 10.13802/j.cnki.zwbhxb.2022.2022812]
- Jacob J, Sudarmaji, Singleton GR, Rahmini, Herawati NA, Brown PR. 2010. Ecologically based management of rodents in lowland irrigated rice fields in Indonesia. *Wildlife Research*, 37(5): 418–427
- Jia MC. 2021. Control effects of releasing silver fox against rodent pests in South Gansu. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary*, 51(2): 70–72 (in Chinese) [加曼草. 2021. 甘南鼠类天敌银狐控鼠效果调查报告. 甘肃畜牧兽医, 51(2): 70–72]
- Liu XH. 2018. Status and recent progress in rodenticide applications in China. *Plant Protection*, 44(5): 85–90 (in Chinese) [刘晓辉. 2018. 我国杀鼠剂应用现状及发展趋势. 植物保护, 44(5): 85–90]
- Liu XH. 2019. Rodent biology and management: current status, opinion and challenges in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(4): 830–839
- Ma SJ, Zhou JW, Wang FC, Niu YJ, Chu B, Zhou YS, Ji CP, Wang T, Hua LM. 2019. Effect of soil erosion of plateau zokor new mound in alpine meadow. *Journal of Soil and Water Conservation*, 33(5): 58–63, 71 (in Chinese) [马素洁, 周建伟, 王福成, 牛钰杰, 楚彬, 周延山, 姬程鹏, 王婷, 花立民. 2019. 高寒草甸区高原鼢鼠新生土丘水土流失特征. 水土保持学报, 33(5): 58–63, 71]
- Mahmoudi A, Kryštufek B, Sludsky A, Schmid BV, DE Almeida AMP, Lei X, Ramasindrazana B, Bertherat E, Yeszhanov A, Stenseth NC, et al. 2021. Plague reservoir species throughout the world. *Integrative Zoology*, 16(6): 820–833
- Makundi RH, Massawe AW. 2011. Ecologically based rodent management in Africa: potential and challenges. *Wildlife Research*, 38 (7): 588–595
- May RM. 1977. Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states. *Nature*, 269(5628): 471–477
- Nakayama SMM, Morita A, Ikenaka Y, Mizukawa H, Ishizuka M. 2019. A review: poisoning by anticoagulant rodenticides in non-target animals globally. *Journal of Veterinary Medical Science*, 81(2): 298–313
- Niu YJ, Yang SW, Zhu HM, Zhou JW, Chu B, Ma SJ, Hua R, Hua LM. 2020. Cyclic formation of zokor mounds promotes plant diversity and renews plant communities in alpine meadows on the Tibetan Plateau. *Plant and Soil*, 446(1/2): 65–79
- Qin CY, Xu L, Zhang RZ, Liu QY, Li GC, Fang XY. 2012. Ecological-geographic landscapes of natural plague foci in China V: biologi-

- cal characteristics of major natural reservoirs of *Yersinia pestis*. Chinese Journal of Epidemiology, 33(7): 692–697 (in Chinese) [秦长育, 许磊, 张荣祖, 刘起勇, 李贵昌, 方喜业. 2012. 中国鼠疫自然疫源地分型研究V: 鼠疫宿主生物学特征. 中华流行病学杂志, 33(7): 692–697]
- Reichman OJ, Seabloom EW. 2002. The role of pocket gophers as subterranean ecosystem engineers. Trends in Ecology & Evolution, 17(1): 44–49
- Romañach SS, Seabloom EW, Reichman OJ. 2007. Costs and benefits of pocket gopher foraging: linking behavior and physiology. Ecology, 88(8): 2047–2057
- Rosell F, Bozsér O, Collen P, Parker H. 2005. Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems. Mammal Review, 35(3/4): 248–276
- Sheng CF. 1989. An overview on the conception of economic threshold. Acta Entomologica Sinica, 32(4): 492–500 (in Chinese) [盛承发. 1989. 害虫经济阈值的研究进展. 昆虫学报, 32(4): 492–500]
- Singleton GR, Brown PR, Jacob J. 2004. Ecologically-based rodent management: its effectiveness in cropping systems in South-East Asia. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 52(2): 163–171
- Tang HP, Chen J, Xue HL. 2015. Ecological thresholds: concept, methods and research outlooks. Chinese Journal of Plant Ecology, 39(9): 932–940 (in Chinese) [唐海萍, 陈姣, 薛海丽. 2015. 生态阈值: 概念、方法与研究展望. 植物生态学报, 39(9): 932–940]
- Vyas NB. 2017. Rodenticide incidents of exposure and adverse effects on non-raptor birds. Science of the Total Environment, 609: 68–76
- Wang YH, Zhou GS, Jia BR. 2008. Modeling SOC and NPP responses of meadow steppe to different grazing intensities in Northeast China. Ecological Modelling, 217(1/2): 72–78
- Wang ZW, Zhang ZB. 1996. Theory and practice of rodent pest management. Beijing: Science Press (in Chinese) [王祖望, 张知彬. 1996. 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社]
- Wei FW, Yang QS, Wu Y, Jiang XL, Liu SY, Li BG, Yang G, Li M, Zhou J, Li S, et al. 2021. Catalogue of mammals in China (2021). Acta Theriologica Sinica, 41(5): 487–501 (in Chinese) [魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 蒋学龙, 刘少英, 李保国, 杨光, 李明, 周江, 李松, 等. 2021. 中国兽类名录(2021版). 兽类学报, 41(5): 487–501]
- Wu WP, Wang H, Wang Q, Zhou XN, Wang LY, Zheng CJ, Cao JP, Xiao N, Wang Y, Zhu YY, et al. 2018. A nationwide sampling survey on echinococcosis in China during 2012–2016. Chinese Journal of Parasitology and Parasitic Diseases, 36(1): 1–14 (in Chinese) [伍卫平, 王虎, 王谦, 周晓农, 王立英, 郑灿军, 曹建平, 肖宁, 王莹, 朱曜宇, 等. 2018. 2012–2016年中国棘球蚴病抽样调查分析. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 36(1): 1–14]
- Yu G, Lu CX, Xie GD. 2005. Progress in ecosystem services of grassland. Resources Science, 27(6): 172–179 (in Chinese) [于格, 鲁春霞, 谢高地. 2005. 草地生态系统服务功能的研究进展. 资源科学, 27(6): 172–179]
- Zhang YM, Zhang ZB, Liu JK. 2003. Burrowing rodents as ecosystem engineers: the ecology and management of plateau zokors *Myospalax fontanieri* in alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau. Mammal Review, 33(3/4): 284–294
- Zhang ZB, Wang ZW. 1998. Ecology and management of rodent pests in agriculture. Beijing: China Ocean Press (in Chinese) [张知彬, 王祖望. 1998. 农业重要害鼠的生态学及控制对策. 北京: 海洋出版]
- Zhang ZW, Chen X. 2020. Current status of rodenticide registration and application in the United States. Pesticide Science and Administration, 41(4): 10–13, 5 (in Chinese) [张正炜, 陈秀. 2020. 美国杀鼠剂的登记应用现状. 农药科学与管理, 41(4): 10–13, 5]
- Zhao Z, He Z, Long Y. 2021. Research progress on epidemiology and control of main rodent-borne diseases in China. Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments, 27(6): 578–581 (in Chinese) [赵哲, 贺真, 龙泳. 2021. 我国常见鼠传疾病流行病学特点及防治研究现状. 中华卫生杀虫药械, 27(6): 578–581]
- Zhong WQ. 2008. The role of rodents in grassland ecosystem and their scientific management. Bulletin of Biology, 43(1): 1–3 (in Chinese) [钟文勤. 2008. 啮齿动物在草原生态系统中的作用与科学管理. 生物学通报, 43(1): 1–3]

(责任编辑:李美娟)