

· 双清论坛“新时期草学的重大基础科学问题” ·

我国草原病虫害鼠害现状、研究进展与治理对策^{*}

严川¹ 李春杰² 林克剑³ 付和平⁴ 张知彬^{5,6**}

1. 兰州大学生态学院, 兰州 730000
2. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730000
3. 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010011
4. 内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 呼和浩特 010011
5. 海南大学生态与环境学院, 海口 570228
6. 中国科学院动物研究所, 北京 100190

[摘要] 中国草地面积 2.65 亿公顷, 具有范围广、类型多的特点, 是我国重要的陆地生态系统, 也是我国畜牧业可持续发展的主要载体。长期以来, 草原病害、虫害、鼠害频发, 一直是威胁我国草原生态安全、畜牧业生产和人民身体健康的重要生物灾害。近年来, 国家对草原生态保护与修复工作给予了大力支持和投入, 草原病虫害治理取得了显著进展。但是, 在当前气候变化与人类活动不断加剧的影响下, 草地病害、虫害、鼠害的发生和防控面临新的困难和挑战。由于草地病虫害种类多、分布范围广、治理难度大, 整体防控形势依然严峻, 在未来仍需加大研究和治理力度。本文简要总结了我国草原病虫害现状及研究进展, 梳理和凝练了当前治理中存在的科学问题, 并提出了相应的治理对策与建议。

[关键词] 草原; 病害; 虫害; 鼠害; 治理

我国草地面积 2.65 亿公顷, 草地生态系统是我国重要的陆地生态系统之一, 具有重要的生态、生产和经济价值。我国天然草地资源主要分布在北方温带草地区、青藏高原高寒草地区、南方和东部次生草地区。其中, 内蒙古、新疆、青藏高原及周边地区草地约占全国草地资源的 80%, 为我国最主要的草地畜牧业地区, 也是我国北方和西部地区重要的生态屏障。病害、虫害、鼠害是我国草原生态系统面临的主要生物灾害。近年来, 在全球气候变化与人类活动加剧的背景下, 草原生态系统面临日益严重的退化趋势, 生产力与生态功能下降, 随之发生的病害、虫害、鼠害更进一步加剧了草原生态环境的恶化, 形成恶性循环, 对我国畜牧业生产和北方生态屏障建设造成了严重的威胁。因此, 如何在全球变化的影响下科学有效地监控与防控病虫害, 合理开发利用草原, 是我国草原治理与保护中的重要挑战之一。



张知彬 海南大学生态与环境学院教授、博士生导师, 欧洲科学院外籍院士。主要从事动物生态学和有害生物控制对策研究。曾主持国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目, 现主持国家自然科学基金重大项目、科学技术部科技基础资源专项项目。曾获国家科技进步奖二等奖、“全国优秀科技工作者”称号、国际鼠类生物学与治理大会终身成就奖、国际生物科学联合会突出贡献奖等奖励和荣誉。现担任国际动物学会执行主任、*Integrative Zoology* 期刊主编。连续入选 2020—2022 年爱思唯尔“中国高被引学者”榜单(生物学)。



严川 兰州大学生态学院教授、博士生导师。主要研究方向为动物种群、群落及生态网络生态学。发表学术论文 30 余篇。目前主持国家自然科学基金项目等多项研究课题。

收稿日期: 2023-05-14; 修回日期: 2023-07-11

^{*} 本文根据第 313 期“双清论坛”讨论的内容整理。

^{**} 通信作者, Email: zhangzb@ioz.ac.cn

本文在介绍我国草原病虫害发生总体概况的基础上,总结了草原病虫害发生危害和治理现状,分析了当前病虫害治理中存在的科学问题,并针对这些问题提出了相应的对策。

1 草原病虫害发生现状

1.1 草原病害发生现状

草原植物病害可危害整个草地生态系统,不仅影响草产量和品质,还会危害家畜健康,影响草地可持续利用,进而影响国家食物安全和生态安全。主要体现在以下几个方面:(1)降低牧草产量。病害引致的病斑、坏死、腐烂等,可不同程度地降低光合作用,减少田间植株数量使牧草产量下降,降低牧草供给能力^[1-3]。(2)降低牧草品质。病害导致牧草蛋白质含量、碳水化合物、粗脂肪等营养物质下降,而粗纤维含量升高,适口性降低^[4-6]。(3)引致家畜中毒,降低家畜生产力。病草附生的青霉、曲霉和镰刀菌等产生曲霉素、展青霉素和玉米赤霉烯酮等真菌毒素,可导致家畜中毒^[7-10]。(4)影响畜产品的品质。家畜采食病草后,肉品和奶品出现异味,甚至含有对人体健康不良的化学物质^[11, 12]。(5)降低草地生产力和持久性。病害可导致植株死亡、草地质量下降,草地利用年限缩短,草地生产力降低^[13, 14]。(6)导致草地退化,破坏生态。病害可影响群落内种间竞争平衡、改变植被组成、引起群落结构的逆向演替^[15-17],导致草原旅游景观变差。

过去很长一段时间以来,我国仅对部分省(自治区、直辖市)天然草地植物病害进行过调查,缺乏系统的研究。1994年兰州大学草地保护研究团队编辑出版了《牧草病害真菌病害名录》,报道了由929种菌物引致的15科903种草类植物的2831种病害^[18]。自2021年起,依托国家林业和草原局生物灾害防控中心发起了天然草原有害生物普查工作,提升了草原植物病害的调查工作。据国家林业和草原局生物灾害防控中心统计,我国草原植物病害年均发生面积86.3万公顷,在内蒙古、甘肃、四川、青海、新疆及西藏等各大草原区均造成不同程度的危害。

1.2 草原虫害发生现状

草原虫害是影响草原生态质量和生物安全的重要因素之一,兼具种类多、数量大、分布广、危害重、发生规律复杂等特点。我国为害草原的害虫包括蝗虫类、草原毛虫类、夜蛾类、叶甲类、草地螟、蚜虫类、叶蝉类、盲蝽类和蓟马类等。长期以来,常发的主要

有草原蝗虫、草原毛虫等数十种昆虫种类^[19, 20],其中草原蝗虫的危害种类最多,有20余种^[21];草原毛虫次之,有8种^[22];夜蛾类和叶甲等其它害虫危害面积相对较少^[21]。草原虫害严重影响着我国15个省(自治区、直辖市)的草原生态安全^[19, 23, 24]。自20世纪80年代以来,总体上呈偏重发生态势,特别是20世纪90年代末期至21世纪初期,草原有害生物灾害连年高发。据国家林业与草原局统计,自2011年以来,草原虫害发生面积整体呈现下降的趋势,从2011年的1807万公顷下降到2022年的747万公顷,危害总面积约为15404万公顷,年均1284万公顷,但近5年防治率平均仅为38.51%。

1.3 草原鼠害发生现状

鼠类是草原生态系统中主要的动物类群之一,包括啮齿目和兔形目等小型兽类,在食物网维系、植物群落演替、养分循环中扮演着重要的角色。草原鼠类大多以牧草为食,并有贮食、掘洞等习性,当鼠类数量过高时,造成草原植被受损与草场退化、粮食与牧草减产、土壤结构破坏与水土流失、鼠疫暴发等危害(即“草原鼠害”),对草原生态系统、畜牧业与人类健康构成巨大威胁。我国草地常见害鼠种类有高原鼠兔、高原鼯鼠、布氏田鼠、长爪沙鼠等20余种^[25]。据全国草原监测报告统计,2007—2021年我国草原鼠害发生面积占全国草地面积的10%~20%,尤其自2018年以来,草原鼠害发生面积呈增加趋势^[26]。2021年,全国草原鼠害发生面积3762万公顷,严重危害面积达1942万公顷,主要分布在内蒙古、新疆、西藏、青海等省(自治区、直辖市)。

内蒙古自治区每年发生鼠害面积占草地面积10%~15%左右,严重区域可达当地草地面积的20%~30%,而且集中连片^[27, 28]。新疆维吾尔自治区每年发生草原鼠害面积约1733万公顷,占草原面积的30.2%。青藏高原是全球海拔最高、中国最大的高原。该地区草地类型主要为高山高寒草地,是中国重要的牧区。该地区害鼠的掘洞和啃食活动致使草原产生了大量的“黑土滩”,导致牧区草场严重退化,改变植物群落、土壤性质和微生物群落^[29],造成水土流失^[30]。近年来,青藏高原及周边地区鼠害问题依然严重。据青海省草原总站2019年三江源地区的调查,有效鼠洞数在239~1137个/公顷^[31]。据青海省统计,“十三五”期间草原鼠害发生总面积约773万公顷,危害面积约573万公顷。2021—2022年在甘肃省甘南州玛曲县牧场内高原鼠兔密度达22~84只/公顷;西藏自治区阿里地区

平均 42 只/公顷,最高可达 550 只/公顷。青藏高原还是喜马拉雅旱獭鼠疫主要自然疫源地,疫源县近 100 个,人间与动物间鼠疫连年不断^[32]。

2 草原病虫害治理研究进展

2.1 草原病害治理研究进展

目前,草原病害治理的研究可分为四个方面:(1) 利用抗性品种。即在草原补播等环节尽可能选用抗病草种。利用抗性品种是草原病害防治技术中最有效、最经济、最环保的方法^[33]。(2) 生态治理技术。利用一切与环境友好的农业措施,改善植物、有害生物和环境之间的关系,使其利于植物生长发育及资源可持续利用,增强植物抗害、耐害和自身补偿能力,而不利于有害生物,从而达到控制危害目标的一类防控技术。例如,合理放牧,采取轮牧、休牧等方式,可有效控制天然草地病害^[17, 34];提前刈割对牧草地上部病害的防治效果非常显著^[35],尤其对气传病害大规模发生之前具有较好的防治效果;增加物种多样性与品种多样性,在草原补播布局上实现不同草种的多样性及在不同茬次上轮换草种,或牧草与其他农作物的镶嵌式布局,可在空间上阻隔与屏障草地病害的传播,或在时间上推迟延缓病害的流行,减少损失。(3) 生物防治技术。目前仅在部分试验区域,开展了木霉、枯草芽孢杆菌、抗生素杀菌剂(如春雷霉素、井冈霉素等)用于病害防治,发现微生物菌剂具有抗病促生的作用,可用于草原病害防控。(4) 物理与化学防治技术。包括高温防治、焚烧、药剂拌种、田间喷雾等。但需要注意农药残留、火灾隐患等不利影响。然而,当前草地病害的研究仍主要集中于栽培草地,存在“六多”和“六少”的局面,即:北方草地病害研究多,南方草地病害研究少;豆科牧草病害研究多,其他科的草地病害研究少;栽培草地病害研究多,天然草地病害研究少;种子田病害研究多,收草田病害研究少;草地病害调查多,草地病害发病规律研究少;病害发生研究多,病害防治研究少。

2.2 草原虫害治理研究进展

我国草原虫害研究主要聚焦于虫害的发生原因、监测防治技术等领域和环节,初步形成了从灾变机制—技术产品—模式体系的覆盖全链条比较完备的研究成果。发生原因研究主要包括气候整体变暖因素、草原植被退化因素、过度放牧人为因素等。监测防治研究主要包括监测预警、化学防治、生物防治等。当前,草原虫害防治主要依靠化学防治^[20]。传

统的农业耕作措施,如割草、焚烧和放牧,虽然可以有效降低害虫的密度和传播,但也会对草地生态系统产生负面影响,包括栖息地破坏和土壤结构退化^[21-23]。近年来,草原虫害绿色防治技术,如天敌昆虫、微生物制剂、昆虫性信息素诱捕技术等研究和应用均取得快速发展^[23, 24, 36]。然而,这些绿色防治技术的有效性和经济性往往受到温度、降水和紫外线等环境因素的限制,再加上缺乏对害虫与天敌之间生态调控作用的认识,导致绿色防治技术尚未被广泛采用^[23, 24, 37]。草原虫害的有效防治需要在使用化学农药和绿色控制技术之间取得平衡,同时将这些防治策略整合到当前的草地农业系统中^[20],保持草地的可持续生产力和生态价值^[19, 23, 24]。

2.3 草原鼠害治理研究进展

我国对草原鼠害及防控研究具有较好的基础和积累^[38-40]。当前,草原鼠害防治主要以化学药物防治为主,物理捕杀、生物防控和生态治理为辅。化学药物防治因其见效快、成本低和易于大面积使用,目前仍是草原鼠害的主要防治手段,包括使用灭杀药剂应对鼠类暴发和使用不育剂进行常规防控。物理防治主要指利用器械工具针对特定害鼠进行人工捕杀,如采用人工地箭、弓型夹防治鼯鼠类等地下鼠。生物防治指人为引入害鼠天敌如狐狸、猛禽等或为其创造条件,利用直接捕食或捕食风险调控鼠类种群。生态治理主要指通过草原管理措施改变并降低害鼠栖息地质量、阻止种群扩散等手段达到抑制鼠类种群,减少畜牧业损失。以上各种防治手段并不互斥,现实鼠害治理中往往会综合多种手段,且针对区域、鼠种优化防治措施。

在内蒙古自治区和新疆维吾尔自治区的草原鼠害治理中,抗凝血剂和生物制剂曾被广泛使用^[41],但是暴露出许多不容忽视的问题,诸如污染环境,对害鼠的精准选择性较差,毒素生物富集,误伤非靶动物,部分鼠类天敌、有益昆虫和鸟类的种类与数量下降,生态系统生物多样性降低,鼠类产生抗药性,鼠害控制有效期短等^[42-46]。2000 年以后,原农业部启动了全国 13 个省(自治区、直辖市)的草地“无鼠害示范区”建设项目,陆续开展了以生物防治、不育控制和物理防治、生态治理相结合的绿色防控方法的探索、研究和应用^[27, 47, 48]。一些化学类、激素类和植物源不育剂在内蒙古自治区和新疆维吾尔自治区草原鼠害防控实践中呈现出了明显的效果^[49-52],但是存在一些诸如适口性、环境安全、物种差异等问题^[50, 51, 53]。最近,在内蒙古鄂尔多斯荒漠草原应用

不育剂与灭蚤药物不同配比的制剂实施了鼠蚤协同防控野外试验研究,取得了比较理想的效果^[53]。

在青藏高原及周边地区,生物毒素、化学防治与物理捕杀仍为鼠害防控的主要手段。例如,人工地箭技术对于捕捉高原麝鼠比较有效。近年来,天敌保护与引入(如鹰架、人造洞穴等)、生物制剂等生物防治,以及植被修复、围栏封育等生态调控技术逐渐应用,取得了一定成效^[54]。藏北那曲地区开展了鼠害隔离防控研究。针对高原鼠兔,采用细金属网埋入地下 20~50 厘米构建隔离区,在隔离区内进行灭鼠活动。该技术可有效控制隔离区的害鼠数量,解决了隔离区域鼠害蔓延的问题,大幅减少了鼠害对草地的破坏,具有显著的成效^[55]。围封并补播垂穗披碱草可减少害鼠食物和增加其捕食风险,进而显著降低高原鼠兔与高原麝鼠密度^[56, 57]。此外,近年来无人机技术在鼠害治理方面研究较多,在鼠害发生面积调查、毒饵投放、鼠洞识别方面具有较好的成效^[58-61]。

3 草原病虫害鼠害治理的关键科学问题

回顾我国草原病虫害鼠害治理的历程,无论治理方法、治理策略和治理效果上均取得了显著的成就,对草地生态环境保护、人民生命健康安全等均起到了推动作用。但是,受全球气候变化及人类活动加剧等影响,我国草原病虫害鼠害问题依然严重,防控形势严峻,仍存在一些关键科学问题有待于进一步研究解决。

一是全球变化背景下病虫害鼠害治理的复杂性。当前气候变化与人类活动加剧,为病虫害鼠害的治理带来巨大的挑战。如重要病害发生的时空动态、发生规律、危害特性及损失评定;草原蝗虫、草原毛虫等主要害虫的周年发生规律和灾变机制;不同地区如草原害鼠种群暴发机制、种群变化与环境变化的关系及与人类干扰的相关性;不同生态适应性鼠类繁殖调控机制及其与环境的相互作用。气候变暖大背景下,我国西部、农牧交错区的病虫害鼠害具有增加的风险^[62, 63]。目前已经明确,厄尔尼诺事件是驱动全球动物(包括虫鼠)种群大范围发生的关键因素,可作为大尺度、中长期病虫害鼠害预警的重要信号^[64]。

二是草原病虫害鼠害大数据监测预警和综合防治技术集成示范。在病害快速识别与快速鉴定的基础上,需构建草原主要病害的精准监测与预警技术体系,及对草原主要害虫、害鼠的时空动态监测与适生

区预测。需深入调查挖掘不同生态区的生防资源,研发以草原管理为基础的病虫害鼠害生物防治、生态调控技术,集成各草原区主要病虫害鼠害的综合防控技术体系。

三是厘清病—虫—鼠害之间及其与草原生态系统组分的关联性。草原病、虫、鼠害并非孤立存在,三者之间实则经由植物—病原微生物—害虫—害鼠的生态互作网络发生相互影响,存在发生规律的时空耦合机制。同时,三者与其他类群(如天敌)、环境之间具有紧密的联系。阐明三者草原生态系统中的复杂关系,研究新技术应用(如微生物制剂)在防治草原病虫害鼠害的作用机理与环境适应性,将有助于了解草原病虫害鼠害种群暴发和危害的生物学机制,制定更高效科学的治理措施。

四是草原病虫害鼠害治理中的生态、经济与社会问题。如放牧、生态修复工程如何影响草原病虫害鼠害发生的生态学过程和机制;需挖掘鼠类、昆虫的生态功能,可有效减少防治对生态系统的负面影响;厘清生物多样性与农牧业之间的关系,以及如何保持草原生态系统稳定与畜牧业之间的平衡。这是草原生态建设和保护中的一项重要内容,也将成为推进草原生态文明进程,促进乡村振兴和农牧区经济社会可持续发展的有效途径之一。

4 草原病虫害鼠害治理的对策与建议

我国草地有害生物综合治理,应“根据草地农业生态系统的结构特点,以利用抗病虫品种为中心,以生态防治为基础,以生物、物理与化学防治为辅助,通过各种措施的综合应用,将草地有害生物的危害水平调节并保持在经济阈值水平之下,从而达到提高草地农业生态系统整体生产力和稳定性的目的”^[33]。因此,草原病虫害鼠害治理需要采取长期的可持续策略,以增强草原生态系统稳定性为基础,加强监测预警体系和专业化监测防治队伍建设,建立健全草原病虫害鼠害高效长效防控机制,整体提升防灾减灾水平。针对前述科学问题,相关对策与建议如下。

一是研发新技术、新方法,加快推广和应用。推动高新技术应用于草原病虫害鼠害管理,全面构建草原病害、虫害、鼠害信息化管理系统;将 3S 技术、大数据、云计算、5G、物联网、人工智能等相关新理论与新技术融入草原病虫害鼠害的监测、预警与防控各个阶段;利用高分辨率雷达、卫星遥感、无人机开展草原暴发性病虫害鼠害的实时监测,构建草原生物灾

害监测预警网络;研发安全、环保草原病虫鼠害可持续控制技术,开展环境风险评价和成本效益评价,建立合理的防控阈值,并在草原大面积推广应用。

二是加强草原生态治理,提高草原自然控害能力。坚持系统理念,加强草原生物多样性保护和系统治理,持续优化草原保护利用措施和可持续发展路径,切实增强草原生态系统的稳定性,大幅提高草原生态系统的自然控害能力,确保草原病害、虫害、鼠害不成灾。树立“山水林田湖草沙”生命共同体的大生态观,在保护生态环境、遏制草地退化、根本改变有害生物栖息地的基础上,提出调整“草—畜—病虫鼠害”协同关系为主的生态治理新策略,注重综合防治和生态调控技术,集成生态控制、不育控制和大数据预测预警综合防控技术模式,开展大规模应用示范。

三是加强科学研究和联合攻关。面对草地生态系统的复杂性和综合性,随着当代科学研究的不断深入,草原病虫鼠害治理不再是针对某一类有害生物而为,更需要关注草地植被、土壤、微生物、疫病传播以及气候变化和人类干扰等诸多因素。联合研究病害、虫害、鼠害发生规律的时空耦合性,既需要宏观的生态学、动物地理学、动植物分类学,还需要微观的微生物学、分子生物学及生物技术来协同攻关才能解决草原病虫鼠害综合治理的根本问题。加强研究产业结构调整、外来生物入侵、气候变化等多种要素交互作用下草原病虫鼠害的综合治理技术与可持续管理体系。

四是建立草原病虫鼠害治理的经济、社会与生态效益评价体系。草原病虫鼠害可持续管理是一个复杂的自然与社会之间的复合体系,“可持续”的前提之一应是经济上切实可行。因此,病虫鼠害管理愈来愈需要经济学家与社会学家的参与,将病原微生物、动植物、环境、人类生产活动、社会发展和市场经济等作为一个整体加以认识与管理,以达到病虫鼠害可持续管理、生产与社会可持续发展的目的^[33]。目前,我国草原病虫鼠害的防治中缺少环境评价和经济效益评价环节,缺少治理效果评价,亟需加强此方面的研究。

五是加大关键技术研发投入,加快自主知识产权新药登记,推动科技成果转化。根据草原病虫鼠害发生的动态变化等特性,应随时关注我国草原病虫鼠害防治工作遇到的新情况、新问题,设立重点研发专项,加大科研投入,组织大专院校、科研单位和生产单位协同开展相关研究,力争在防治关键技

术上取得突破。同时,要加快科研成果转化,组织建立主要病虫鼠害防治技术示范区^[65, 66]。用于草原病虫鼠害防治的新农药研发往往投入大、周期长、公益性强,自主研发和登记仍存在不少困难,国家应提供绿色通道,鼓励企业登记,促进自主研发的创新农药实现产业化。

六是进一步强化基层科技队伍建设。加强草原有害生物防治人员队伍培训,提升从业人员业务技能,着力构建以草原管护员为基础的地面网格化监测与航空航天遥感监测相结合的天—空—地立体监测系统。完善村、乡、县(市、区)、省(自治区、直辖市)、国家五级联动的草原病虫鼠害监测预报网络体系,做到精准监测,有效预防。在提高专业素质、稳定人员的基础上,建立系统的国家病虫鼠害监测、样品平台,发布统一的监测与采集标准,为我国各地的病虫鼠害样本提供更加全面、统一的数据储备库,这将在我国病虫鼠害预警和治理中发挥更重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 南志标. 陇东黄土高原栽培牧草真菌病害调查与分析. 草业科学, 1990, 7(4): 30—34.
- [2] 陈秀蓉, 马静芳, 杨成德, 等. 长芒草锈病(*Uredo* sp.)对其产量和品质的影响//中国植物病理学会2005年学术年会暨植物病理学报创刊50周年纪念会论文摘要集. 保定: 中国植物病理学会, 2005: 51.
- [3] 闫智臣, 古丽君, 李应德, 等. 植物病害对中国豆科牧草及家畜生产的影响. 家畜生态学报, 2019, 40(2): 1—7.
- [4] 南志标. 锈病对豆科牧草生长和营养成分的影响. 草业学报, 1990, 1: 83—87.
- [5] 侯洁琼, 张美艳, 陈新, 等. 刈割对不同建植模式下牧草产量和鸭茅锈病的影响//2018中国草学会年会论文集. 成都: 中国草学会, 2018: 542—547.
- [6] 南志标. 锈病对紫花苜蓿营养成分的影响. 中国草原与牧草, 1985, 3: 33—36.
- [7] 南志标. 我国的首蓿病害及其综合防治体系. 动物科学与动物医学, 2001, 18(4): 81—84.
- [8] 崔振, 李彦忠. 豆科植物疯草中内生真菌及其作用. 草业科学, 2014, 31(9): 1686—1695.
- [9] 李春杰, 姚祥, 南志标. 醉马草内生真菌共生体研究进展. 植物生态学报, 2018, 42(8): 793—805.
- [10] 任继周. 草业科学概论. 北京: 科学出版社, 2014.
- [11] 赵宝玉. 中国天然草地有毒有害植物名录. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016.
- [12] 史志诚, 尉亚辉. 中国草地重要有毒植物(修订版). 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [13] Nboyine JA, Saville D, Boyer S, et al. When host-plant resistance to a pest leads to higher plant damage. *Journal of Pest Science*, 2017, 90(1): 173—182.
- [14] 侯天爵, 黄鸿章. 中国首蓿品种对黄萎病抗病性鉴定. 植物病理学报, 1994, 24(4): 328.

- [15] Yao X, Fan YB, Chai Q, et al. Modification of susceptible and toxic herbs on grassland disease. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 1—7.
- [16] Mitchell CE, Tilman D, Groth JV. Effects of grassland plant species diversity, abundance, and composition on foliar fungal disease. *Ecology*, 2002, 83(6): 1713—1726.
- [17] Chen T, Zhang YW, Christensen M, et al. Grazing intensity affects communities of culturable root-associated fungi in a semiarid grassland of northwest China. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(2): 361—373.
- [18] 南志标, 李春杰. 中国牧草真菌病害名录. *草业科学*, 1994, 11: 30.
- [19] 单艳敏. 内蒙古多举措推进草原有害生物防治. *内蒙古林业*, 2022, 7: 24—25.
- [20] 韩海斌, 高书晶, 徐林波, 等. 刍议我国草原虫害治理现状及生态文明建设背景下的问题. *中国草地学报*, 2021, 43(9): 107—114.
- [21] 洪军, 倪亦非, 杜桂林, 等. 我国天然草原虫害危害现状与成因分析. *草业科学*, 2014, 31(7): 1374—1379.
- [22] 卓玉璞, 潘正武, 苏红锦, 等. 天然草原虫害危害现状与成因研究. *农业开发与装备*, 2019, 10: 59—59, 63.
- [23] 排尔哈提·麦麦提. 关于天然草原虫害危害现状与分布调查. *农家参谋*, 2021, 10: 147—148.
- [24] 杨廷勇, 姚建民, 尕措, 等. 甘孜州草原鼠虫害综合治理技术集成及应用. *草学*, 2021, 5: 60—63.
- [25] 岳方正, 高书晶, 程通通, 等. 中国草原有害生物防治工作现状及展望. *草地学报*, 2021, 29(8): 1615—1620.
- [26] 花立民, 柴守权. 中国草原鼠害防治现状、问题及对策. *植物保护学报*, 2022, 49(1): 415—423.
- [27] 马崇勇, 张卓然, 单艳敏, 等. 内蒙古草原鼠害及其绿色防控技术应用现状. *中国草地学报*, 2017, 39(5): 108—115.
- [28] 武晓东, 付和平, 杨泽龙. 中国典型半荒漠与荒漠区啮齿动物研究. 北京: 科学出版社, 2009.
- [29] Sun JJ, Wang PB, Wang HB, et al. Changes in plant communities, soil characteristics, and microbial communities in alpine meadows degraded to different degrees by pika on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Global Ecology and Conservation*, 2021, 27: e01621.
- [30] 马素洁, 周建伟, 王福成, 等. 高寒草甸区高原鼯鼠新生土丘水土流失特征. *水土保持学报*, 2019, 33(5): 58—63, 71.
- [31] 任程, 白重庆, 丁凯. 三江源区草地鼠害防控调查与研究. *青海草业*, 2020, 29(2): 35—40.
- [32] 杨建国, 田富彰, 魏柏青, 等. 青藏高原喜马拉雅旱獭鼠疫自然疫源地鼠疫防控现状及展望. *医学动物防制*, 2021, 37(9): 869—872.
- [33] 南志标. 建立中国的牧草病害可持续管理体系. *草业学报*, 2000, 9(2): 1—9.
- [34] 张雅雯. 呼伦贝尔草地植物病害对肉牛放牧强度的响应. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [35] 朱猛蒙, 马锐, 张蓉. 刈割对紫花苜蓿病虫害的影响. *中国植保导刊*, 2006, 26(12): 8—10.
- [36] Gurr GM, Lu ZX, Zheng XS, et al. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. *Nature Plants*, 2016, 2(3): 1—4.
- [37] Rusch A, Valantin-Morison M, Sarthou JP, et al. Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: a review. *Advances in Agronomy*, 2010, 109: 219—259.
- [38] 张知彬, 王祖望. 农业重要害鼠的生态学及控制对策. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [39] 中国植物保护百科全书总编纂委员会. 中国植物百科全书(鼠害卷). 北京: 中国林业出版社, 2023.
- [40] 王祖望, 张知彬. 鼠害治理的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1996.
- [41] 汪诚信. 有害生物治理. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [42] 阿娟, 付和平, 施大钊, 等. EP-1与溴敌隆对长爪沙鼠野生种群增长的控制作用. *植物保护学报*, 2012, 39(2): 166—170.
- [43] 杜国义, 闫东, 王治宇, 等. 抗凝血杀鼠剂抗药性的研究进展. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2019, 30(6): 725—728.
- [44] Berny P, Esther A, Jacob J, et al. Development of Resistance to Anticoagulant Rodenticides in Rodents// van den Brink N, Elliott J, Shore R, et al. *Anticoagulant Rodenticides and Wildlife*. Cham: Springer, 2018: 259—286.
- [45] McGee CF, McGilloway DA, Buckle AP. Anticoagulant rodenticides and resistance development in rodent pest species—A comprehensive review. *Journal of Stored Products Research*, 2020, 88: 101688.
- [46] Jacoblinert K, Jacob J, Zhang ZB, et al. The status of fertility control for rodents—recent achievements and future directions. *Integrative Zoology*, 2022, 17(6): 964—980.
- [47] 周俗, 熊玲, 石岩生, 等. 加强草原无鼠害示范区建设. *农民日报*, 2005-07-20(8).
- [48] 新疆维吾尔自治区畜牧厅草原处. 新疆草业五十年. *新疆畜牧业*, 2005, S1: 36—47.
- [49] 汪智军, 王爱静. 新疆灭鼠植物. *中国野生植物资源*, 2002, 21(6): 37—38.
- [50] 张知彬. 左炔诺孕酮和炔雌醚复合物(EP-1)及组分对鼠类不育效果的研究进展. *兽类学报*, 2015, 35(2): 203—210.
- [51] Fu HP, Yuan S, Bao D, et al. Fertility suppression effects of a new plant extract shikonin-quinestrol (ND-1) on mid-day gerbil (*Meriones meridianus*) populations. *Crop Protection*, 2018, 106: 29—33.
- [52] 卜凡, 曹晓娟, 张卓然, 等. 植物源复合不育剂ND-1纳米乳液对小鼠的抗生育作用. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 43(3): 30—35.
- [53] Liu M, Ren DS, Wan XR, et al. Synergistic effects of EP-1 and ivermectin mixture (iEP-1) to control rodents and their ectoparasites. *Pest Management Science*, 2023, 79(2): 607—615.
- [54] 苍浩, 侯秀敏, 连欢欢. 青海省“十三五”期间草原鼠害危害与治理. *青海草业*, 2021, 30(3): 44—46.
- [55] 谢文栋, 旦久罗布, 严俊, 等. 藏北鼠害隔离防治技术对高寒草地植被恢复的影响研究. *畜牧业环境*, 2020, 2: 11—12.

- [56] Wei WR, An SH, Zheng QY, et al. Structural changes in vegetation coincident with reseeded *Elymus nutans* can increase perceived predation risk of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*). *Applied Animal Behaviour Science*, 2022, 255: 105745.
- [57] 卫万荣. 高原鼠兔和高原鼯鼠种群消长规律及其与植被关系的研究. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [58] 花蕊, 包达尔罕, 董瑞, 等. 基于无人机遥感的天然草原鼠害发生面积调查方法研究. *草业学报*, 2023, 32(5): 71—82.
- [59] 唐炳民, 巨秉花. 利用无人机施药防控高原鼠兔试验. *青海草业*, 2022, 31(4): 9—13.
- [60] 董光, 狄威, 程武学. 基于低空遥感的若尔盖草地鼯鼠鼠害信息提取方法及对比研究. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 45(1): 110—118.
- [61] 熊瑞东, 程武学, 熊钰丹, 等. 基于无人机影像的高寒草地鼠害信息提取研究. *中国农业信息*, 2020, 32(5): 27—37.
- [62] Yan C, Tian HD, Wan XR, et al. Climate change affected the spatio-temporal occurrence of disasters in China over the past five centuries. *Royal Society Open Science*, 2021, 8(2): 200731.
- [63] 万辛如, 程超源, 白德凤, 等. 气候变化的生态影响及适应对策. *中国科学院院刊*, 2023, 38(3): 518—527.
- [64] Wan XR, Holyoak M, Yan C, et al. Broad-scale climate variation drives the dynamics of animal populations: a global multi-taxa analysis. *Biological Reviews*, 2022, 97(6): 2174—2194.
- [65] 洪军, 杜桂林, 负旭疆, 等. 近 10 年来我国草原鼠害生物防控综合配套技术的研究与推广进展. *草业学报*, 2014, 23(5): 303—311.
- [66] 岳方正, 段廷玉, 才玉石, 等. 简述我国草原有害生物发生与防治. *中国森林病虫*, 2019, 38(6): 27—31.

Current Situation, Research Progress and Management Strategies of Plant Diseases, Insect Pests, and Rodent Pests in Grasslands of China

Chuan Yan¹ Chunjie Li² Kejian Lin³ Heping Fu⁴ Zhibin Zhang^{5,6*}

1. *College of Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000*

2. *College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000*

3. *Institute of Grassland Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010011*

4. *College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010011*

5. *College of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou 570228*

6. *Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190*

Abstract The grassland of China has an area of 265 million hectares, which has the characteristics of wide range and many types. It is an important terrestrial ecosystem and base for livestock production in China. Frequent occurrences of plant diseases, insect pests, and rodent pests have long been the three major biological disasters to the ecological safety, livestock production and human health in the grasslands of China. In recent years, Chinese government has made great efforts and investments in ecological conservation and restoration of grasslands. However, under the impacts of accelerated climate change and human disturbance, the occurrences and management of plant diseases, insect and rodent pests are facing new difficulties and challenges. Besides, infections of plant diseases, insect and rodent pests in grassland are still huge and diverse, and hard to manage. Thus, it is necessary to strengthen research and management capacities of plant diseases, insect and rodent pests in grasslands. In this paper, we have a brief review on the current situation and research progress of plant diseases, insect pests and rodent pests in the grasslands of China, analyze related key scientific issues and propose suggestions for future management strategies of these biological disasters.

Keywords grassland; plant disease; insect pest; rodent pest; management

(责任编辑 崔国增 张强)

* Corresponding Author, Email: zhangzb@ioz.ac.cn