

草地植物保护学科研究现状与展望

李 霜^{1,2} 那日苏³ 花立民^{4*} 涂雄兵^{1*}

(1. 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, 北京 100193; 2. 重庆市农业科学院, 重庆 401329; 3. 锡林郭勒盟草原工作站, 内蒙古 锡林浩特 026000; 4. 甘肃农业大学草业学院, 国家林业草原高寒草地鼠害防控工程技术研究中心, 兰州 730070)

摘要: 草地植保是预防和控制病、虫、草、鼠害对草地植物的危害, 确保草地生态系统健康发展的一门学科。传统防治方法农药用量大且施用频繁, 极易引发3R(抗性、再增猖獗和残留)问题, 同时不可避免地对生态环境造成较严重的损害。因此, 转变草原生物灾害的防控理念显得尤为迫切。该文从多个维度对草原主要生物灾害发生的现状、成因以及相应的防控策略与手段进行总结, 并基于促进草地生态系统长期、可持续发展的目标, 倡导采用一系列环境友好、操作便捷且经济高效的防治措施。此外, 为促进草地生态系统绿色健康发展, 践行强农兴农使命, 从草原生物多样性、新型生物农药研发、生态治理等多方面组稿, 探讨草地管理措施在调控草原有害生物种群动态方面所展现出的积极潜力与显著成效, 以期积极推动草地植物保护学科向更高质量的方向迈进。

关键词: 草原生物多样性; 生态位; 生物农药; 综合防治; 草地植保

Research status and prospects of grassland plant protection discipline

Li Shuang^{1,2} Narisu³ Hua Limin^{4*} Tu Xiongbing^{1*}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China; 3. Xilingol League Grassland Workstation, Xilinhot 026000, Inner Mongolia Autonomous Region, China; 4. Engineering and Technology Research Center for Alpine Rodent Pests Control, National Forestry and Grassland Administration, Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China)

Abstract: Grassland plant protection is science about preventing and controlling the damage caused by diseases, pests, weeds, and rodents to grassland plants, ensuring the health development of the grassland ecosystem. Traditional pest control methods require large amounts of chemicals and frequent application, which can easily lead to the 3R (resistance, resurgence, and residue) issues, and inevitably cause significant damage to the ecological environment. In light of this, it is particularly urgent to shift the concept of controlling grassland biological disasters. This special issue analyzed the current situation, causes, and corresponding prevention and control strategies and means of major grassland biological disasters from multiple dimensions, especially in China. To promote the long-term sustainable development of grassland ecosystems, we advocate for a series of environmentally friendly, easy-to-operate, and cost-effective prevention and control measures. At the same time, in order to promote the green and healthy development of grassland ecosystems, fulfill the mission of strengthening agriculture and revitalizing rural areas, we have collected contributions from multiple aspects such as grassland biodiversity, research and development of new biopesticides, and ecological governance to explore the positive

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1401104)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: hualm@gsau.edu.cn, txb1208@163.com

收稿日期: 2024-10-15

potential and significant effectiveness of grassland management measures in regulating the population dynamics of biological disasters in grasslands, in order to actively promote the construction and development of plant protection disciplines towards higher quality.

Key words: grassland biodiversity; ecological niche; biological pesticide; comprehensive prevention and control; grassland plant protection

草原是我国最大的陆地生态系统,面积达 $3.93\times10^9\text{ hm}^2$,约占国土面积的40%,占世界草地的12%,居世界第2位(http://grassland.china.com.cn/2018-08-22/content_40472470.html),主要集中在我国西部和北部的半干旱、干旱和高寒地区,包括甘肃、青海、四川、宁夏、西藏和新疆等省区(Kang et al., 2007; Lambert et al., 2024)。草原具有气候调节、防止水土流失及净化环境等功能,是我国陆地生态系统中不可或缺的绿色防线(Kang et al., 2007; 李建东和方精云,2017)。随着气候演变和农牧民对草地资源的不当利用,草原有害生物频发、突发、暴发,这严重威胁着草地生态环境、畜牧业生产以及广大牧民群众的生产生活。化学农药可快速高效击倒有害生物,多年来被作为草原有害生物的主要防治手段。然而,随着公众对生态安全意识的增强,化学农药的潜在危害逐渐成为草地管理机构和牧民关注的焦点(Lockwood, 1998),因此绿色防控受到越来越多的关注。在草地有害生物绿色防控实践中,目前已成功应用并推广了生物防治、物理防治和生态调控等策略,均显示出了积极的效果。然而,昆虫、植物、老鼠以及病原菌等在维持生态系统多样性中发挥了重要作用(Lockwood, 1998)。因此,有必要转化草原生物灾害防治思路,以便更好地保护生态环境。本文主要对我国草原主要生物灾害严重发生的现状及原因、防控对策与方法进行总结,结合各类草地有害生物发生的动态、原因机理和响应模式等方面的研究进展,尽可能探索低残留、精准施药和经济有效的综合防治手段,并深入探索草地管理对草原生物灾害的影响,以期为草地生态系统健康发展提供参考。

1 草原生物灾害严重发生的现状及原因

1.1 草原生物灾害严重发生的现状

草原生物灾害是影响草原生态安全和牧区经济可持续发展的重要因素。2023年受虫害、鼠害和毒害草等重大草原生物灾害危害的草地面积约 $3.95\times10^7\text{ hm}^2$,其中严重危害面积约 $1.65\times10^7\text{ hm}^2$ 。而在严重危害的重大生物灾害中,草原鼠害占76.36%,草原虫害占14.55%,毒害草占9.29%,因病害造成的草

原生物灾害暂未统计(徐震霆等,2024)。近年来,草原生物灾害造成的损失虽呈下降趋势,但由于全球气候变暖,根据历史数据预测2024年全国主要草原有害生物危害面积约 $3.73\times10^7\text{ hm}^2$,其中草原鼠害的危害势头有所减缓,仅在青藏高原和内蒙古草原局部地区可能偏重发生,危害面积约为 $2.69\times10^7\text{ hm}^2$,主要害鼠为高原鼠兔 *Ochotona curzoniae*、高原鼢鼠 *Eospalax baileyi* 和草原鼢鼠 *Myospalax aspalax* 等;草原虫害的整体危害较轻,局部地区存在高密度暴发风险,危害面积约 $0.62\times10^7\text{ hm}^2$,潜在暴发的草原害虫包括亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus*、毛足棒角蝗 *Dasyhippus barbipes*、草原毛虫 *Gynaephora* spp.、叶甲 *Chrysomela* spp. 和草地螟 *Loxostege sticticalis* 等;毒害草主要表现为外来入侵植物可能出现扩散,如狼毒 *Stellera chamaejasme*、长刺蒺藜草 *Cenchrus longispinus*、紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* 和黄花刺茄 *Solanum rostratum* 等具有扩散趋势,但整体危害面积呈下降趋势,约为 $0.43\times10^7\text{ hm}^2$ (严川等,2023;徐震霆等,2024)。

1.2 草原生物灾害严重发生的原因

随着全球气候变暖,我国对畜产品需求持续大幅度增长,加上牧区人口增加、牧民粗放的放牧方式未能及时转变等因素使草原的放牧强度普遍过高,草场压力加重,造成草原大面积退化。退化的草场植被为害鼠、害虫种群提供了适宜的栖息环境。不合理的放牧是诱发虫灾和鼠灾的重要原因,而虫、鼠害的发生又进一步加速了草原的沙化和荒漠化,进而形成恶性循环。造成草原生物灾害严重发生的原因主要包括自然因素(干旱、风沙、极端气候等)(Zhou et al., 2019)和人为因素(过度放牧、草原开垦、非法占用草原等)(He et al., 2022; Maestre et al., 2022)。因此,草原的不合理利用和全球气候变化是造成草原生物灾害如鼠害和虫害高发、频发以及毒草蔓延的主要原因,并且有逐年加重的趋势,一些地区所发生的次要灾害已成为主要灾害。

防治措施不当和农牧民的生态保护意识也会影响草原生物灾害的发生。由于草原辽阔,防治重大草原生物灾害工作动辄就是数十万公顷或上百万公

顷,虽然对压低虫口基数、减少牧草损失起到了一定作用,但由于草原生态环境复杂,有害生物分布很不均匀,大面积飞防不但浪费资源,还会造成广泛的农药污染,影响放牧以及居民的健康生活,而且严重干扰草原生态系统的结构和功能。此外,部分农牧民对草原生态保护意识不足,对草地资源缺乏科学合理的利用和管理(涂雄兵等,2015);另外,草原保护法规的执行力度不够,导致一些破坏草原的行为得不到有效遏制(蒲小鹏等,2011);这些行为均会导致草原生物灾害进一步加重。

2 草地生物灾害的控制与对策

2.1 加强草地有害生物管理及综合治理力度

草地生境破碎化是草地生物多样性降低的主要原因之一,不仅导致次要害虫、害鼠、毒害草等有害生物的激增,同时负向驱动主要天敌的扩繁(张海翔等,2024)。因此,要想实现对草原生物灾害的有效控制,需要对关键有害生物的生物学特征进行研究,并深入探讨草地生态群落的营养结构,以及这些结构如何受到各种内外因素的影响而发生演替,从而因势利导,化害为利(陈永林,2000;岳方正等,2021)。通过提升草地的维护水平和优化畜牧业的管理策略,将草地有害生物的控制策略纳入草地综合管理体系中,以经济、高效和安全的方式进行治理,以期实现经济和生态效益的双重目标(陈永林,2000)。倡导精细化经营人工草地,革新传统管理策略;采取科学方法促进牧草生长,提高抗性;合理配置牧草种类及时空布局,防止单一化种植;选择合适的农药种类和剂型,合理施药,结合多种防治措施压低草地有害生物基数,是保护草地生态系统健康可持续发展的重要措施(岳方正等,2021)。

有害生物综合治理即综合运用植物检疫、物理机械防治方法、农业防治方法、生物防治方法和化学防治方法将有害生物控制在经济允许的水平之下。由于各国对农药使用有严格规定,限制使用高毒、剧毒和残留大的农药,因此,开发利用生物农药和充分利用有益生物控制有害生物成为新趋势(叶卫东等,2023)。根据某一地区某种牧草上常发病虫害种类及其发生和危害季节来确定具体的防治时间,采取有效的综合防治措施,减少有害生物造成的损失,达到多种草原生物灾害综合防治的目的(叶卫东等,2022)。

2.2 及时制定草地有害生物防治的生态经济阈值

一种生物的益或害并不是固定不变的。适当数

量有害生物的存在,往往有利于天敌的发展和群落食物链的平衡,且适当的损失可能还会刺激植物生长。因此,当有害生物种群的危害大大超过植物的补偿能力,高于防治指标时进行防治。防治费用包括防治时投入的物力、人力和财力,通过防治所获得的收益高于使用药械、劳动力等所花费的成本时进行防治。由于草原地广人稀,环境复杂,因此防治指标的制定不仅要根据植物的忍受和补偿能力,还要综合考虑生物安全、生态安全、生物多样性保护及牧场的利用率和重要性等多个方面(刘晓辉,2022)。防治指标主要体现防治挽回作物损失的价值与防治代价之间的平衡关系。其中,防治代价主要包含防治费用和防治所造成的不利影响,如环境污染、天敌杀伤、生物多样性降低以及危害人体健康等负效益。因此,在确定防治经济阈值时应考虑生态效益,即应对重大有害生物制定防治生态经济阈值,防治代价应为防治费用与防治生态代价之和,且防治挽回作物损失价值应与之相等(门兴元等,2020;刘晓辉,2022)。其中,草原有害生物防治的生态代价要依据所用防治药剂的生态风险计算。目前,我国对草地有害生物的防治仍比较粗放,缺少经济评价方面的内容(叶卫东等,2022)。

2.3 加强草地有害生物科学研究及预测预报工作力度

草原有害生物预测预报是草原生物灾害防治工作的重要组成部分。要重视草原主要有害生物的生物学特性、生态学特性以及发生机理的研究(李霜等,2020;钱秀娟等,2024),明确主要虫、鼠、病和毒害草等有害生物相互之间的致灾关系,有助于准确预测预报灾害发生时间和程度,这是控制草原有害生物最基本的依据。因此,应深入剖析影响草原有害生物发生的生物因素与非生物因素,揭示各因子对其暴发的贡献率,尤其注重全球气候变化对其发生的影响,并在此基础上构建预测预报模型,旨在为草地管理人员提供有力的技术支持(涂雄兵等,2015)。同时,充分利用我国现有的草原虫害、鼠害、毒害草等有害生物的测报站(网、点)、雷达监测、多颜色灯光监测、信息素诱剂监测和田间调查等数据,借助目前的组学和分子生物学新技术,建立可准确测报的监测网络,实时监测草地有害生物的发生和变化,将为有效防控草地有害生物提供帮助(王正军等,2002)。例如,对在一些草原成灾的害虫种类、发生时间、数量、严重程度等持续追踪监测,构建并优化针对这些害虫种类的中长期预测预报技术体系,并制订防治策略与措施(徐超民等,2021)。

此外,还应密切关注国外重大草地有害生物的发生动态,预防危险性有害生物的入侵。首先通过查阅文献和国外实际考察,掌握国外发生的草地有害生物,向我国检疫部门提供准确信息,供海关拦截危险性有害生物时参考。其次,对引进国外牧草品种的试验与繁育基地进行密切监测,及时发现可疑有害生物,防止危险性病、虫、鼠害的蔓延。

2.4 加强草地有害生物的生态治理力度

草地利用方式的调整必须考虑当地的自然环境条件和气候特点,特别在群落交错地带和荒漠等生态脆弱地区,不应该做一些急功近利的事,以避免出现“生态报复现象”。因此,因地制宜地利用草地资源,禁止滥垦草场、滥挖中草药等活动,这也是保护草地的重要手段(闫玉春和唐海萍,2008)。

生态治理是通过破坏草原有害生物的栖居环境和食物条件,达到减少和控制草原有害生物的措施。可采用补播、浅耕翻、灌溉、间作、套种、施肥、划区放牧、围栏封育和调整载畜量等措施改良草地,防止草地退化,使之不利于鼠类、害虫栖息和毒害草扩散。这些措施通过间接改变草原有害生物的生存环境,减少其繁殖数量,增加死亡数量,从而降低其种群密度(Jäkel et al., 2006)。例如,在川西北地区春季撒施牛羊粪,用钉耙划破草皮,撒播鼠类厌食的、又适合在高原地区生长的优良禾本科牧草川草1号老芒麦 *Elymus sibiricus*、草地早熟禾 *Poa pratensis*、多年生黑麦草 *Lolium perenne*、紫羊茅 *Festuca rubra* 以及披碱草 *Elymus dahuricus* 等,封育播种后第2年即可发现鼠洞明显减少(陈活起,2008);采用沙柳 *Salix cheilophila* 平茬、搭障埋根等栽培方法,不仅有效抑制了沙柳线角木蠹蛾 *Holcocerus arenicola* 成虫产卵,而且兼治沙柳窄吉丁 *Agrilus ratundicollis*、柳布氏瘿叶蜂 *Pontania bridgmannii* 等害虫。实践证明,对草原采取围栏封育措施并调整放牧时间,有效减少了围栏内草原害虫和害鼠的发生数量;同时,植被的草层高度、覆盖度和地上生物量均高于对照区,部分天敌的种群数量也有所增加(赵磊等,2015;曹梓渝等,2024);对已遭受毒草大面积入侵的草地推行划区轮牧、休牧和禁牧制度,结合人工拔除(刈割)和机械刈割(拔除)等技术发展人工草地,减轻天然草原放牧压力,使其休养恢复(吴建国等,2022)。实践证明,人工育草与草地有害生物治理的协作效果显著(陈活起,2008;亓雯雯等,2024)。

2.5 加强对天敌资源的保护和利用力度

通过利用本土天敌资源和引入天敌因子调节其

与有害生物的关系,探索其与环境和谐共生的生物控制技术,实现草地有害生物的生物防治。草原有害生物的天敌资源极为丰富,主要包含动物、植物和微生物3大类,如寄生蜂、白僵菌 *Beauveria*、绿僵菌 *Metarhizium*、芽孢杆菌 *Bacillus*、木霉菌 *Trichoderma*、微孢子虫 *Microsporidia*、痘病毒、昆虫信息素、粉红椋鸟 *Sturnus roseus*、牧鸡、牧鸭、狐狸和鹰等(徐超民等,2021;花立民和柴守权,2022;危潇等,2024),它们在压低草地有害生物种群密度方面有良好的效果。郭丽珠等(2024)研究结果表明土壤微生物和植物内生菌均可用于毒杂草狼毒的治理。然而,环境条件易制约天敌资源的防效,如温度是影响绿僵菌和痘病毒持效性的关键环境因子(Barrientos-Lozano et al., 2002)。此外,多种天敌为外来引进种,未进行本土种筛选,如目前仅利用野化银黑狐 *Vulpes vulpes* 在宁夏回族自治区和内蒙古自治区等地进行害鼠防治试验(马崇勇等,2017),未对本土狐狸进行安全和利用效能评估。因此,阐明天敌因子对环境变化的响应机理,适时开发高效天敌因子的增效剂,有助于扩大生物防治技术的使用范围和推广力度。如采用冷蒿 *Artemisia frigida* 粗提物和金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 协同防治亚洲小车蝗,可有效降低其种群数量(李霜等,2024a)。

2.6 合理使用化学农药防治草地有害生物

化学防治是草地有害生物暴发时的应急措施,应选用低毒、低残留且高效的制剂。草原病虫害大多生育期较短,要遵循科学用药原则,做到实时监测,适时用药,选择适宜的化学农药及饵料,确定轮换混合用药种类、用药规模、剂量与安全间隔,确保环境友好,并缩短用药期、减少用药量,这是保障牧业可持续发展和生态环境安全的必然要求。同时,应全面考虑草地有害生物的生活方式、栖息环境以及气候等要素,全面开展防治活动,以提高防效。近年来,在内蒙古草原上采用拟除虫菊酯类药剂来大面积防治草原蝗虫、拟步甲以及叶甲类害虫等,既减轻了环境污染,保护了天敌,降低了成本,又提高了防效(徐超民等,2021)。此外,利用小RNA、纳米材料、RNA干扰技术及其联合使用技术深入探究害虫、害鼠、毒害草等有害生物对农药的抗性机制,并基于此研发新型生物农药,有望为草地有害生物防治提供新的思路和方法(李霜等,2024b)。如从苜蓿斑蚜 *Theroaphis trifolii* 唾液腺转录组中筛选鉴定羧酸酯酶基因 *VmCarEs-6*,干扰其表达后,苜蓿斑蚜对高效氯氟氰菊酯更敏感(郝浩阳等,2024)。

2.7 加强牧草抗性品种的育种力度

选育抗病、抗虫牧草品种是防治病虫害最经济有效的措施,培育一批具有自主知识产权的牧草抗病、抗虫新品种,以满足生产需要。一般先进行种质资源收集与抗性评价,然后利用田间或室内选择、辐射育种、杂交育种、诱变育种、基因工程育种和细胞工程育种等方法培育抗病、抗虫品种(李红,2005;亓雯雯等,2024)。目前,利用分子生物技术选育抗性品种已成为育种研究的热点,其中,抗虫牧草品种育种较为成功的是苜蓿,增加了其对蚜虫、海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* 和甜菜叶蛾 *Spodoptera exigua* 等多种害虫的抗性(Strizhov et al., 1996; 古文鑫等, 2024); 抗病品种育种较为成功的有抗白粉病红三叶 *Trifolium pratense*、抗褐斑病紫花苜蓿 *Medicago sativa*、抗真菌病高羊茅 *Festuca arundinacea* 等(黄春琼等, 2013; 亓雯雯等, 2024)。

2.8 建立和完善可持续发展的草地有害生物防控体系

可持续发展的草地有害生物防控技术是结合草场放牧管理措施,平衡草地有害生物与生态系统的关系,以控制其大暴发带来的严重生态经济损失(涂雄兵等, 2015)。将草地有害生物防治与畜牧业生产相互融合,确立生态平衡管理理念。第一,在牧草主要产区设立草地有害生物监测站,及时监测重大有害生物的发生动态,一旦达到了防治阈值,积极向草业主管部门发布预警信息。第二,增加草地保护技术员,提高培训质量,使其及时掌握有害生物发生动态,指导农牧民进行科学防治。第三,草地有害生物研究科研部门开展的科研内容应密切结合生产实际,了解并集中研究限制牧草生产的重要病害、虫害、鼠害和毒害草,编写各类牧草有害生物识别和预防通讯简报,及时提供给牧草生产者。第四,建立国家级草地有害生物管理信息平台,构建草业管理部门、科研机构、草地生产单位和牧草产品经营单位互动交流的畅通渠道。第五,在重点危害区域建立综合治理示范区,结合当地的环境特点,运用高效实用的防控技术,达到示范引领并广泛推广的目的。

2.9 加强对牧民的技术指导和培训力度

由政府统一规划,充分挖掘并发挥各部门、各专业的独特优势,强化草原保护与修复等方面政策法规,集中资金提高效益。在技术指导和培训环节,应侧重于传授那些既易于理解,又切实可操作的实用技术,确保有害生物综合防治技术真正落地生根,激励牧民主动实施轮牧和适度封育措施,有效减轻草场负荷。针对过度放牧的草场区域,应出台相关

政策措施,积极鼓励牧民降低放牧强度。此外,还需加大草原改良的力度,推动草原生态系统向良性循环方式转变。

3 展望

为促进草地生态系统绿色健康发展,践行强农兴农使命,特从草原生物多样性、新型生物农药研发、生态治理等多方面进行积极组稿,探讨草地管理措施及绿色防控模式在调控草原生物灾害数量方面所展现出的积极潜力与显著成效,最终出版《草地有害生物专辑》。本专辑共收录 29 篇文章,涉及草原主要有害生物多样性调查与研究、新型生物农药研发及综合防控技术等多个方面。其中,涉及虫害的有 16 篇,鼠害的有 10 篇,病害的有 1 篇,毒害草的有 2 篇,希望对从事此方面研究的读者有所启迪。最后,在本专辑即将付梓之际,作为本期的编者,感慨颇多。首先,非常感谢各位作者的密切配合! 同时,也要向各位审稿专家表示深深的敬意,感谢大力支持,认真且细致地提出了修改意见,保证了所选论文的质量! 最后,还要感谢《植物保护学报》编辑部的支持与配合! 希望本专辑文章能够对我国从事草地有害生物防治研究的工作者有所裨益。由于时间紧迫,所选文章难免有不妥之处,敬请各位读者斧正。

参 考 文 献 (References)

- Barrientos-Lozano L, Hernández-Velázquez VM, Milner RJ, Hunter DM. 2002. Advances in biological control of locusts and grasshoppers in Mexico. *Journal of Orthoptera Research*, 11(1): 77–82
- Cao ZY, Zhang HX, Xiong CY, Cui YF, Wang Y, Shi C, Ban LP, Zhang R, Wei SH. 2024. Effects of different types of steppe fences on insect diversity. *Journal of Plant Protection*, 51(5): 1189–1202 (in Chinese) [曹梓渝, 张海翔, 熊昌宇, 崔艺凡, 王颖, 石淳, 班丽萍, 张蓉, 魏淑花. 2024. 不同类型草原围栏封育对昆虫多样性的影响. 植物保护学报, 51(5): 1189–1202]
- Chen HQ. 2008. Sustainable control technology of agricultural rodent pests. *China Agricultural Technology Extension*, 24(9): 43 (in Chinese) [陈活起. 2008. 农业鼠害可持续控制技术. 中国农技推广, 24(9): 43]
- Chen YL. 2000. Control and ecological management of locust infestation again. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 15(5): 341–345 (in Chinese) [陈永林. 2000. 蝗虫再猖獗的控制与生态学治理. 中国科学院院刊, 15(5): 341–345]
- Gu WX, Zhu KH, Liu CZ, Tu XB. 2024. Analysis of spotted alfalfa aphid *Theroaphis trifolii* salivary gland transcriptome differences based on feeding on susceptible and resistant varieties of *Medicago sativa*. *Journal of Plant Protection*, 51(4): 899–909 (in Chinese) [古文鑫, 朱凯辉, 刘长仲, 涂雄兵. 2024. 取食抗感品

- 种紫花苜蓿的苜蓿斑蚜唾液腺转录组差异分析. 植物保护学报, 51(4): 899–909]
- Guo LZ, Lin KJ, Hao LF, Li YY, Li JH, He W. 2024. Advance in the study on microbial ecology associated with *Stellera chamaejasme* expansion. Journal of Plant Protection, 51(5): 1014–1022 (in Chinese) [郭丽珠, 林克剑, 郝丽芬, 李宇宇, 李佳欢, 何玮. 2024. 狼毒扩张的微生物生态学研究进展. 植物保护学报, 51(5): 1014–1022]
- Hao HY, Zhu KH, Shali Y, Tu XB. 2024. Interference with the *Vm-CarEs-6* gene affects the sensitivity of spotted alfalfa aphid *Therioaphis trifolii* to lambda-cyhalothrin. Journal of Plant Protection, 51(5): 1240–1247 (in Chinese) [郝浩阳, 朱凯辉, 牙森·沙力, 涂雄兵. 2024. 干扰 *VmCarEs-6* 基因影响苜蓿斑蚜对高效氯氟氰菊酯的敏感性. 植物保护学报, 51(5): 1240–1247]
- He M, Pan YH, Zhou GY, Barry KE, Fu YL, Zhou XH. 2022. Grazing and global change factors differentially affect biodiversity–ecosystem functioning relationships in grassland ecosystems. Global Change Biology, 28(18): 5492–5504
- Hua LM, Chai SQ. 2022. Rodent pest control on grasslands in China: current state, problems and prospects. Journal of Plant Protection, 49(1): 415–423 (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, 49(1): 415–423]
- Huang CQ, Liu GD, Bai CJ. 2013. Application advances of genetic engineering in pasture breeding. Acta Agrestia Sinica, 21(3): 413–419 (in Chinese) [黄春琼, 刘国道, 白昌军. 2013. 基因工程在牧草育种中的应用进展. 草地学报, 21(3): 413–419]
- Jäkel T, Khoprasert Y, Promkerd P, Hongnark S. 2006. An experimental field study to assess the effectiveness of bait containing the parasitic protozoan *Sarcocystis singaporensis* for protecting rice crops against rodent damage. Crop Protection, 25(8): 773–780
- Kang L, Han XG, Zhang ZB, Sun OJ. 2007. Grassland ecosystems in China: review of current knowledge and research advancement. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 362(1482): 997–1008
- Lambert JP, Niu YJ, Shi K, Riordan P. 2024. The history and development of small mammal control on China's grasslands and potential implications for conservation. Rangeland Ecology & Management, DOI: 10.32942/X2MP4M
- Li H. 2005. Research status and development direction of forage breeding in Heilongjiang Province. Heilongjiang Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, (11): 68–69 (in Chinese) [李红. 2005. 黑龙江省牧草育种研究现状及发展方向. 黑龙江畜牧兽医, (11): 68–69]
- Li JD, Fang JY. 2017. Study on ecological function of Chinese grassland. Beijing: Science Press, pp. 5–35 (in Chinese) [李建东, 方精云. 2017. 中国草原的生态功能研究. 北京: 科学出版社, pp. 5–35]
- Li S, Chang X, Wang M, Yang L, Hong L, Narisu, Tu XB, Zhang ZH. 2024a. Synergistic efficacy of prairie sagebrush *Artemisia frigida* crude extract and entomopathogenic fungus *Metarrhizium anisopliae* on the development of resistant grasshopper *Oedaleus de-*
- corus asiaticus*. Journal of Plant Protection, 51(5): 1226–1233 (in Chinese) [李霜, 畅笑, 王敏, 杨蕾, 洪林, 那日苏, 涂雄兵, 张泽华. 2024a. 冷蒿粗提物协同金龟子绿僵菌对亚洲小车蝗存活及生长发育的影响. 植物保护学报, 51(5): 1226–1233]
- Li S, Du GL, Yin XF, Liu XH, Jiang XL, Li YZ, Li XY, Tu XB, Zhang ZH. 2020. Research advance in forage diseases, insect pests and rodents in China. Chinese Journal of Biological Control, 36(1): 9–16 (in Chinese) [李霜, 杜桂林, 尹晓飞, 刘晓辉, 蒋细良, 李彦忠, 李新一, 涂雄兵, 张泽华. 2020. 我国饲草重大病虫鼠害研究进展. 中国生物防治学报, 36(1): 9–16]
- Li S, Feng SQ, Wang M, Yu JJ, Li ZP, Yang L, Hong L. 2024b. Research progress on the interaction between plants and herbivorous insects based on sRNA movement. Journal of Plant Protection, 51(5): 1006–1013 (in Chinese) [李霜, 冯士骞, 王敏, 蔚建军, 李治平, 杨蕾, 洪林. 2024b. sRNA 移动在植物与植食性昆虫互作中的作用. 植物保护学报, 51(5): 1006–1013]
- Liu XH. 2022. Discrepancy, paradox, challenges, and strategies in face of national needs for rodent management in China. Journal of Plant Protection, 49(1): 407–414 (in Chinese) [刘晓辉. 2022. 中国鼠害防控需求的差异、矛盾、挑战与对策. 植物保护学报, 49(1): 407–414]
- Lockwood J. 1998. Management of orthopteran pests: a conservation perspective. Journal of Insect Conservation, 2(3): 253–261
- Ma CY, Zhang ZR, Shan YM, Wang ZY, Ji YH, Xiang KF, Du GL. 2017. Grassland rodent damage and application situation of green prevention-control techniques in Inner Mongolia. Chinese Journal of Grassland, 39(5): 108–115 (in Chinese) [马崇勇, 张卓然, 单艳敏, 王智勇, 季彦华, 项凯峰, 杜桂林. 2017. 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, 39(5): 108–115]
- Maestre FT, Le Bagousse-Pinguet Y, Delgado-Baquerizo M, Eldridge DJ, Saiz H, Berdugo M, Gozalo B, Ochoa V, Guirado E, García-Gómez M, et al. 2022. Grazing and ecosystem service delivery in global drylands. Science, 378(6622): 915–920
- Men XY, Li LL, Ouyang F, Zhang QQ, Lu ZB, Li C, Ge F. 2020. Ecological and economic threshold (EET) and its estimation method. Chinese Journal of Applied Entomology, 57(1): 214–217 (in Chinese) [门兴元, 李丽莉, 欧阳芳, 张晴晴, 卢增斌, 李超, 戈峰. 2020. 害虫防治的生态经济阈值及其估算方法. 应用昆虫学报, 57(1): 214–217]
- Pu XP, Shi SL, Yang M. 2011. Ancient Chinese grassland protection regulation and its impact on modern grassland management. Grassland and Turf, 31(5): 85–90, 96 (in Chinese) [蒲小鹏, 师尚礼, 杨明. 2011. 中国古代主要草原保护法规及其思想对现代草原保护工作的启示. 草原与草坪, 31(5): 85–90, 96]
- Qi WW, Ma HY, Li YX, Du Y, Sun MD, Wu HT. 2024. Progress in research on breeding methods to produce new, high-quality forage varieties. Acta Prataculturae Sinica, 33(6): 187–202 (in Chinese) [亓雯雯, 马红媛, 李亚晓, 杜艳, 孙梦丹, 武海涛. 2024. 优质牧草新品种选育方法研究进展. 草业学报, 33(6): 187–202]
- Qian XJ, Wang XD, Zheng CZ, Liu CZ. 2024. Diversity and spatial niche of grasshoppers in alpine steppe of Gansu Province. Jour-

- nal of Plant Protection, 51(5): 1134–1146 (in Chinese) [钱秀娟, 王兴锋, 郑成卓, 刘长仲. 2024. 甘肃省天然草原蝗虫群落结构及生态位. 植物保护学报, 51(5): 1134–1146]
- Strizhov N, Keller M, Mathur J, Koncz-Kálmann Z, Bosch D, Prudovskiy E, Schell J, Sneh B, Koncz C, Zilberman A. 1996. A synthetic *cryIC* gene, encoding a *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin, confers *Spodoptera* resistance in alfalfa and tobacco. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 93(26): 15012–15017
- Tu XB, Du GL, Li CJ, Wei YH, Zhang WG, Yuan XJ, Hong J, Li YZ, Wang BH, Zhao L, et al. 2015. Research progress in biological control of rangeland pests in China. Chinese Journal of Biological Control, 31(5): 780–788 (in Chinese) [涂雄兵, 杜桂林, 李春杰, 尉亚辉, 张卫国, 负旭江, 洪军, 李彦忠, 王保海, 赵莉, 等. 2015. 草地有害生物生物防治研究进展. 中国生物防治学报, 31(5): 780–788]
- Wang ZJ, Qin QL, Hao SG, Chen YL, Li HC, Li DM. 2002. Present status of locust outbreak and its sustainable control strategies in China. Entomological Knowledge, 39(3): 172–175 (in Chinese) [王正军, 秦启联, 郝树广, 陈永林, 李鸿昌, 李典模. 2002. 我国蝗虫暴发成灾的现状及其持续控制对策. 昆虫知识, 39(3): 172–175]
- Wei X, Cao CX, Huang DY, Yao JW, Yuan QF. 2024. Research progress on biocontrol mechanism and synergistic disease prevention of *Trichoderma*. Journal of Agricultural Science and Technology, <https://doi.org/10.13304/j.nykjdb.2023.0524> (in Chinese) [危潇, 曹春霞, 黄大野, 姚经武, 袁勤峰. 2024. 木霉菌生防作用机制及协同防病的研究进展. 中国农业科技导报, <https://doi.org/10.13304/j.nykjdb.2023.0524>]
- Wu JG, Lin J, Li X, Jia M, Guo JM. 2022. Present situation and control mode of main poisonous weeds in natural grassland of Xinjiang. Xinjiang Animal Husbandry, 37(2): 42–46 (in Chinese) [吴建国, 林峻, 李璇, 加马力丁, 郭继敏. 2022. 新疆天然草原主要毒害草危害现状及治理模式. 新疆畜牧业, 37(2): 42–46]
- Xu CM, Wang JT, Li S, Liu LL, Yao GM, Wei J, Wang KF, Wang WC, Tu XB, Zhang ZH. 2021. Research progresses in control technology of locust pests. Journal of Plant Protection, 48(1): 73–83 (in Chinese) [徐超民, 王加亭, 李霜, 刘路路, 姚贵敏, 伟军, 王坤芳, 王文成, 涂雄兵, 张泽华. 2021. 蝗虫综合防控技术研究进展. 植物保护学报, 48(1): 73–83]
- Xu ZT, Wang Y, Wang ZP, Yang D, Yan JY, Yue FZ. 2024. Harmfulness of pests in major grasslands in China in 2023 and trend forecast in 2024. Forest Pest and Disease, 43(4): 46–48 (in Chinese) [徐震霆, 王越, 王志鹏, 杨鼎, 闫佳钰, 岳方正. 2024. 2023年全国主要草原有害生物危害情况及2024年趋势预测. 中国森林病虫, 43(4): 46–48]
- Yan C, Li CJ, Lin KJ, Fu HP, Zhang ZB. 2023. Current situation, research progress and management strategies of plant diseases, insect pests, and rodent pests in grasslands of China. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 37(4): 580–586 (in Chinese) [严川, 李春杰, 林克剑, 付和平, 张知彬. 2023. 我国草原病虫鼠害现状、研究进展与治理对策. 中国科学基金, 37(4): 580–586]
- Yan YC, Tang HP. 2008. Differentiation of related concepts of grassland degradation. Acta Prataculturae Sinica, 17(1): 93–99 (in Chinese) [闫玉春, 唐海萍. 2008. 草地退化相关概念辨析. 草业学报, 17(1): 93–99]
- Ye WD, Li F, Zhou X, Zou YX, Shen XQ. 2023. Exploration of comprehensive management of harmful organisms in the core theory of plant protection. Agricultural Technology & Equipment, (12): 96–99 (in Chinese) [叶卫东, 李芬, 周祥, 邹游兴, 沈秀清. 2023. 植物保护核心理论有害生物综合治理通式化探索. 农业技术与装备, (12): 96–99]
- Ye WD, Li F, Zou YX, Wu SY, Wu XX. 2022. Origin and development of the concept of integrated pest management (IPM). South China Agriculture, 16(11): 30–32, 42 (in Chinese) [叶卫东, 李芬, 邹游兴, 吴少英, 吴小香. 2022. 有害生物综合治理(IPM)概念的起源与发展. 南方农业, 16(11): 30–32, 42]
- Yue FZ, Gao SJ, Cheng TT, Xu LB, Han HB, Ding W, Chai SQ. 2021. Current situation and prospect of pest control in grassland of China. Acta Agrestia Sinica, 29(8): 1615–1620 (in Chinese) [岳方正, 高书晶, 程通通, 徐林波, 韩海斌, 丁伟, 柴守权. 2021. 中国草原有害生物防治工作现状及展望. 草地学报, 29(8): 1615–1620]
- Zhang HX, Cao ZY, Cui YF, Wang Y, Sun W, Ban LP, Zhang R, Wei SH. 2024. Review of impacts of grassland fragmentation on grasshopper outbreaks and natural enemy insect diversity. Journal of Plant Protection, 51(5): 988–997 (in Chinese) [张海翔, 曹梓渝, 崔艺凡, 王颖, 孙伟, 班丽萍, 张蓉, 魏淑花. 2024. 草地破碎化对蝗虫暴发及其天敌昆虫多样性影响的研究概述. 植物保护学报, 51(5): 988–997]
- Zhao L, Yan DH, Zhang XX, Zhou S. 2015. Actuality and control technology of prairie rodent pests in Sichuan. Prataculture & Animal Husbandry, (4): 3–7 (in Chinese) [赵磊, 严东海, 张绪校, 周俗. 2015. 四川省草原鼠害现状与防控技术进展. 草业与畜牧, (4): 3–7]
- Zhou GY, Luo Q, Chen YJ, Hu JQ, He M, Gao J, Zhou LY, Liu HY, Zhou XH. 2019. Interactive effects of grazing and global change factors on soil and ecosystem respiration in grassland ecosystems: a global synthesis. Journal of Applied Ecology, 56(8): 2007–2019

(责任编辑:高 峰)