环境友好型草原鼠害管理范式：理论基础、技术体系与实践应用

花立民*

（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，
教育部草业生态系统重点实验室，兰州 730070）

摘要：草原鼠害是我国重大生物灾害之一。虽经过数十年的治理，取得了区域性和阶段性成效，但整体治理效果仍难以满足“生态优先、绿色发展”的国家战略要求。该文系统回顾了我国草原鼠害防控的演进历程，深入剖析当前防控策略存在的问题，提出环境友好型草原鼠害管理范式，并围绕其理论基础、技术体系与实践应用展开阐述。该范式是一种方法论框架，以维护草原生态系统的完整性与稳定性为核心目标，整合灾变机制识别、监测预警、危害评价、种群调控与鼠害地修复5大关键环节，倡导以分级治理和非灭杀型种群调控为主的管理理念，旨在为不同草原类型的鼠害可持续管理提供理论依据与技术导向。

关键词：草原鼠害；环境友好型管理；范式

An environmentally friendly paradigm for grassland rodent pest management: theory foundation, technical framework, and practical application

Hua Limin*

（Key Laboratory of Grassland Ecosystem of the Ministry of Education, Engineering and Technology Research Center for Alpine Rodent Pests Control of National Forestry and Grassland Administration, Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China）

Abstract: Rodent outbreaks in grasslands are among the most severe biological disasters in China. Despite decades of management efforts that have yielded regional and short-term achievements, overall control effectiveness remains limited and falls short of meeting the national strategic goals of “ecological priority and green development”. This article systematically reviews the historical evolution of rodent pest control strategies in grasslands in China, critically analyzes existing issues, and proposes an environmentally friendly grassland rodent pest management paradigm. It integrates five core components, including disaster mechanism identification, monitoring and early warning, damage assessment, population regulation and restoration of rodent-damaged habitats, and promotes a tiered governance approach emphasizing non-lethal population regulation. By linking ecological theory with practical management, the paradigm provides a foundation for developing sustainable rodent pest management models adaptable to diverse grassland types.

Key words: grassland rodent pest; environmentally friendly management; paradigm

基金项目：国家重点研发计划项目(2024YFD1400502)，国家自然科学基金项目(32160338)，国家林业和草原局草地啮齿动物危害防控创新团队项目

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：hualm@gsau.edu.cn

收稿日期：2025-11-24

草原鼠害是我国危害面积最大、影响最广泛的草原生物灾害，严重威胁着国家生态安全、粮食安全和生物安全。但是，草原害鼠也是草原生物多样性的重要组成部分，与植物、家畜、昆虫等其他生物因子共同参与生态系统的物质循环和能量流动，在维持生态平衡与系统功能方面发挥着不可替代的作用。协调平衡草原鼠害防治与生物多样性保护之间的关系，既是实现草地生态保护的客观需求，也是当前草地保护学科亟待解决的重大科学问题。

我国草原鼠害防治工作已持续数十年，技术手段也由早期的单一化学防治逐步演化为集化学、物理及生物调控于一体的综合防控体系（花立民和柴守权，2022）。虽取得了区域性、阶段性成果，但整体防控效果仍不理想。据统计，全国草原鼠害发生面积由1985年的3 733.3万 hm^2（青海省草原灭鼠治虫资料选编，1985）下降至2023年的2 846.67万 hm^2（徐震霆等，2024），40年间仅减少23.75%。草原鼠害治理依然面临见效慢、维持难、反弹快等突出问题，难以满足当前“生态优先、绿色发展”的国家战略需求。为破解这一困局，本文通过系统回顾我国草原鼠害防治的发展历程，深入剖析现行策略的短板与瓶颈，最终构建了环境友好型草管理新范式。

1 草原鼠害防控的演进历程

1.1 起步探索期（1950—1979年）

我国草原鼠害防控最初源于鼠疫防控需求。1950年起，内蒙古自治区政府号召“全面预防鼠疫”，最初聚焦农村住宅区的褐家鼠 *Rattus norvegicus*，1952年后确认达乌尔黄鼠 *Spermophilus dauricus* 为主要疫源宿主，野外鼠类防控逐步展开。1954年哲里木盟提出“捕杀野鼠”口号，标志着防控范围由村庄延伸至草原牧区（曹树基，2006）。1956年《一九五六年到一九六七年全国农业发展纲要（草案）》（以下简称《纲要》）发布后，卫生部制定《关于除“四害”和消灭疾病的规划》，要求草原牧区在7年内实现基本无鼠（赵胜和苏智良，2011）。至此，草原灭鼠运动在内蒙古自治区东部部分地区全面展开。青海省牧区自1958年起开展草原灭鼠试验，逐年扩大防控规模。1950年至1970年主要使用甘氟、氟乙酰胺等剧毒药剂，1971年起试用敌鼠钠盐抗凝血剂并取得初步效果（青海省生物研究所，1973；1978）。

该阶段草原鼠害防控的起点并非保障草地畜牧业生产，而是基于遏制鼠疫传播、保障公共卫生的需要。随着《纲要》的实施，防控范围由防疫区延伸至草原牧区，鼠害治理逐步转向服务畜牧业发展。治理理念以“见鼠杀鼠、杀一片保一片”为指导思想，目标聚焦于短期压低种群密度，主要依赖化学防治。整体上缺乏对啮齿动物生态功能及其在草地生态系统中作用的系统认知，治理方式较为简单粗放。

1.2 策略转型期（1980—2009年）

20世纪60—70年代，综合治理（integrated control，IC）、有害生物管理（pest management，PM）及有害生物综合管理（integrated pest management，IPM）等理念相继被提出。1975年，全国植物保护工作会议将“预防为主、综合防治”确立为基本方针，成为IPM的本土化表达。但这些理论主要面向农田病虫害，草原鼠害防治依然缺乏系统指导策略。1986年，全国农牧区鼠害防治学术研讨会首次提出基于生态学观点整合多种措施解决牧区鼠害，要讲求整体效益，这标志着草原鼠害治理理念的转变（赵桂芝和袁宽，1990）。在该方针引导下，我国草原鼠害治理进入综合防治阶段，技术体系逐步由单一化学防治向多手段融合转变。1985年，生物杀鼠剂C型肉毒素在青藏牧区试验成功，1987年起逐步推广应用（沈世英，1987）；第2代抗凝血剂溴敌隆也于1990年后替代剧毒杀鼠剂成为主流药剂（樊乃昌等，1986）。同时，非药物防治手段也在逐步发展，如1980年甘肃省碌曲县采用弓箭捕捉鼢鼠，1984年山丹县建设招鹰架防治草地鼠害并推广至其他草原牧区（孔照芳等，1990），初步体现出多技术协同的综合治理雏形。

尽管该阶段我国草原鼠害防控在理念上引入了“综合防治”，并开始使用多元化的技术手段。但在实际执行过程中，治理目标仍主要聚焦于压低鼠类种群密度。这种以控制数量为导向的思路，忽视了草原啮齿动物在维持生态系统功能中的多重作用。与此同时，防治标准以经济阈值为依据，缺乏对生态阈值的系统考量，难以有效平衡鼠害治理与生态保护之间的关系。

1.3 生态导向期（2010年至今）

1996年，Grant Singleton与Herwig Leirs提出基于生态学的鼠害管理理念（ecologically-based rodent management，EBRM）。1999年，Grant Singleton、Lyn Hinds和张知彬等人联合出版了专著 *Ecologically-Based Rodent Management*（Singleton et al.，1999），为该理念的全球推广奠定了基础。EBRM与传统的IPM在防控手段整合、多维考量风险等方面具有相似性，但也存在明显差异。IPM更侧重以经济损失阈值为核心，聚焦于农业系统中病虫害的

综合防控；而EBRM则以鼠类为对象，强调将鼠害防治纳入生态系统中考量，倡导从生态学原理出发，以生态阈值、经济损失和社会容忍度为综合防控依据，通过改善栖息地管理、恢复捕食者种群、优化土地利用等生态手段，优先控制鼠类暴发风险，而非单纯依赖化学灭杀。EBRM在推动我国草原鼠害实施生态治理策略方面起到了重要作用。

2 当前我国草原鼠害防治策略存在的问题

2.1 防治理念缺乏生态系统观

我国当前草原鼠害防控策略多沿用农田害鼠以灭为主的治理思路，强调采用药物防治实现快速灭杀以降低害鼠种群密度。但是，草原生态系统不同于农田生态系统，具有更强的开放性、自然性和时空异质性，其生态服务功能远超单一的农田生产系统。草地啮齿动物在草地生态系统中承担着维系食物网、促进植物群落演替和土壤养分循环等多重功能。当前草原鼠害防控简单套用农田灭鼠保产的防控策略，往往导致过度防治、非靶标生物受害以及生物多样性降低等问题，甚至破坏了生态系统的自然调节能力，导致生态系统结构与功能不稳定，陷入越治越乱的恶性循环。

2.2 管理职责分割和跨部门协同不足

草地啮齿动物灾变通常与草原生态系统退化和草地资源过度利用密切相关。过度放牧导致植被高度、覆盖度下降和杂类草比例上升，提高了草原害鼠的反捕食能力和食物可利用性，为鼠类增殖和扩散提供了有利条件。理论上，遏制草原鼠害的关键在于控制放牧强度，实现草畜平衡。然而，在现行管理体制下，草原生态保护及鼠害防治工作由国家林业和草原局管理，而畜牧业发展则归属农业农村部管理。在实际工作中，林草部门难以干预畜牧业发展布局、规模等与草地退化密切相关的管理措施，而农业农村部门在推动畜牧业发展的过程中，往往忽视由于草原过渡放牧带来的鼠害加剧风险。这种职责分割造成控鼠不控牧或治标不治本的现象，难以从源头上实现草原鼠害可持续防控的目标。

2.3 防治启动指标和防效评价指标单一

我国现行的草原鼠害防治标准在很大程度上沿用了原《草原治虫灭鼠实施规定》中的相关指标（岳方正等，2022）。这些标准大多基于经济阈值设定，即以牧草产量的损失程度作为启动防治措施的主要依据。尽管该类标准具有一定的可操作性，但难以体现不同草地类型的生态承载能力差异，也忽视了啮齿动物干扰对生态系统过程的深层影响。此外，一些省区制定的防治效果验收标准偏高，缺乏生态合理性。例如，青海省制定的《草地地面鼠害防治技术规范》（DB63/T 164—2021）和内蒙古自治区制定的《大沙鼠防治技术规程》（DB15/T 2354—2021）均规定采用药物或物理防治措施后，害鼠有效洞口的减退率需达到80%以上才可视为合格。这种以高效消除为导向的防效标准，忽略了啮齿动物在维系草地食物网结构、促进土壤养分循环等方面的重要生态功能，不利于草地生态系统的长期稳定与生物多样性保护。

2.4 缺乏基于监测评价的动态响应机制

在当前草原鼠害防控实践中，监测、评价、治理三者之间缺乏有效衔接，尚未形成以数据驱动的闭环管理模式。部分地区尚未建立系统化、常态化的鼠害监测体系，监测手段滞后，覆盖面不足，数据采集周期长且精度低，难以支撑草原鼠害防控的科学决策。治理任务多以年度计划方式下达，制订依据常常脱离实际鼠情变化，忽略了对草地生态状况与鼠害风险的动态评估。由此导致防控工作与灾情发生不同步，不仅降低了治理效果，也造成资源浪费和基层执行困难的局面。此外，各环节之间缺乏统一技术规范、数据标准和信息共享机制，制约了草原鼠害精准防控与应急响应能力的提升。

2.5 管理机制区域适应性不足

尽管各省草原鼠害治理面积多通过基层逐级申报，但实际防控措施和技术路线仍主要由上级主管部门统一部署。这种“自下而上报面积、自上而下定措施”的管理方式，忽视了各地在鼠种组成、草地类型、受害程度等方面的差异，防控方案缺乏针对性和适应性，难以因地制宜实施科学防控。同时，地方防控队伍的技术选择权和自主决策能力受到一定限制，影响了基层草原鼠害防治队伍的积极性与灵活性。

2.6 草原鼠害防控缺乏系统成熟的理论指导

长期以来，我国草原鼠害防控研究和实践聚焦于技术层面，虽取得一定成效，但在理论构建方面却相对滞后。当前国内外缺乏以草地生态系统为研究背景、以啮齿动物种群调控为核心的系统管理理论。即使在农业害虫、城市鼠类控制等领域已有一些理论模型，如IPM和害虫综合防治（integrated pest control，IPC）等，但因生态背景不同，难以直接套用到草原鼠害管理中。由于缺乏理论指导，虽然可能在短期内压低鼠群密度，但却常常忽视了其与

植被结构、天敌种群和草畜关系的深层次耦合机制，甚至在局部地区引发草地次生退化、生物多样性下降等生态风险。薄弱的理论基础已成为制约我国草原鼠害防控走向生态化、系统化与可持续发展的核心障碍。

3 环境友好型草原鼠害管理范式

本文提出的环境友好型草原鼠害管理范式（以下简称范式），是在“生态优先、绿色发展”国家战略指导下，围绕草原生态系统完整性与稳定性目标，构建系统化、集成化与适应性兼备的综合治理框架。该范式涵盖灾变机制识别、监测预警、危害评估、种群调控与鼠害地修复5大核心环节，不仅关注鼠害对畜牧业生产的经济损失，更重视啮齿动物在生态系统中的多重生态功能，主张治理范式由灭杀型向调控型转变，最终实现草原有鼠无害的管理目标。

3.1 概念和内涵

环境友好型草原鼠害管理范式是指关注草原啮齿动物在草原生态系统中的重要性，以维持草原生态系统稳定性和完整性为目标，以保护生物多样性为前提，以危害监测评价为重点，优先运用非灭杀技术调控草原害鼠种群密度，最终实现草原有鼠无害的管理目标。

本范式的核心特征是环境友好性与管理导向性，二者共同构建了区别于传统灭杀式或生态友好型防控理念的新型理论框架。第一，环境友好性。草原害鼠暴发不仅威胁草地畜牧生产安全、生态安全和生物安全，还对人类生存的社会环境构成潜在威胁。生态友好型防控理念更多聚焦于自然生态系统功能的维持和生物多样性保护，这与EBRM的核心理念在目标上相近，但在实践中往往忽视了草原害鼠防控中与公共卫生安全、化学污染风险、牧业生产适配性等密切相关的社会与环境因素，缺乏对环境健康和人类生活质量的系统考量。相比之下，环境友好型防控理念是在生态友好型基础上的进一步拓展与外延升级，不仅关注自然生态环境的完整性，还综合纳入社会环境与公共卫生安全，强调防控措施生态可持续性的同时，最大限度降低对人类健康、土壤与水体安全以及社会经济运行的负面影响，从而实现对自然与人类生存环境的整体友好性。本范式强调，草原鼠害治理应优先采用对环境与人类健康影响最小的技术路径；特别是在使用化学或物理防控措施时，应严格限制剧毒、高残留、广谱杀伤性的药剂与器械，避免造成土壤污染、生物多样性下降、食物链断裂等次生生态风险。同时，倡导天敌保护、栖息地调控、繁殖干扰等绿色防控手段，实现生态系统的正向调节与功能恢复。这种环境友好性不仅体现于技术选择，更反映了一种兼顾生态伦理与系统治理的理念。第二，管理导向性。与传统草原鼠害防治侧重短期压制、以清除害鼠种群为主要目标不同，环境友好型草原鼠害管理强调系统性、过程性与动态调控思维。传统防治多为结果导向，依赖快速、高效的灭杀手段，在忽视生态系统反馈机制的情况下，容易引发抗药性进化、伤害非靶标物种及鼠害反弹等问题。而管理是一种更具整合性与前瞻性的过程，其核心不在于彻底消灭害鼠，而是以生态安全、畜牧生产和社会可接受性为多元目标，构建涵盖监测预警、风险评估、生境改善、种群调控等多策略融合的防控体系。管理的出发点是承认啮齿动物是草原生态系统的重要组成部分，接受其在一定密度下的存在，并通过科学干预将其种群长期维持在生态经济阈值以下，从而实现草原生态系统的稳定与可持续利用。

本范式构建了一个涵盖致灾机制解析、监测预警、危害评价、种群调控、鼠害地修复5个环节的全过程管理流程体系。这一体系不仅厘清了草原鼠害从发生到治理的全过程逻辑，更提供了具体的干预入口与调控顺序，是理论向实践转化的关键。致灾机制解析是管理的前提。通过识别导致鼠害暴发的致灾因子，揭示鼠害发生的灾变规律，阐明其致灾机制。监测预警是响应的基础。利用地面调查、遥感监测和智能物联网技术等手段，构建常态化、多尺度的鼠害监测体系，动态掌握鼠类种群变化，及时识别潜在风险区，提升监测的时效性和准确度。危害评价是干预的决策依据。以应急防控阈值和常态调控阈值为标准，科学设定防治启动指标与响应等级，实现分级防治的目标。种群调控是防控的核心环节。根据优势害鼠种群特征和风险等级，实施多元组合的调控策略，优先选择改善害鼠生境、非灭杀型调控技术，调控害鼠种群密度而非简单灭杀。鼠害地修复是恢复草地生态系统调节功能的关键。针对鼠害型退化草地，以提升草地生态系统调节功能为目标，采取近自然、低扰动修复技术，重建植物群落结构，降低害鼠栖息地生境适合度。

3.2 技术体系

3.2.1 致灾机制解析技术

致灾机制解析是草原鼠害管理的基础环节，包括识别致灾因子和明晰灾变规律两个方面。致灾因

子是指在特定生态条件下能够驱动鼠害发生、发展或扩散的关键生态驱动因素。本身并不一定直接造成灾害，但当其强度、频率或空间格局发生变化时，会通过影响啮齿动物的种群动态、分布格局、群落结构或生态过程，从而诱发灾害进程。因此，致灾因子的识别不仅关注种群数量波动，也需涵盖影响种群空间分布与扩散的生态条件。常见的致灾因子包括气候变化、过度放牧干扰、土地利用格局变动、天敌数量减少以及草地生态系统调控能力下降等。致灾因子识别技术通常通过整合多时空尺度的植被与土壤监测数据、遥感数据、气象数据和放牧压力数据，结合统计关联分析、结构方程模型、机器学习与因果推断等方法，对候选因子进行筛选并量化其与鼠害发生的关联强度。

灾变规律是指在致灾因子作用下，草原啮齿动物种群由相对稳定状态转向快速增长、扩散并最终形成灾害的动态演变模式，揭示了鼠害由量变到质变的关键节点、突变点及其驱动机制。明晰灾变规律的技术体系依托长期定位监测、多源遥感数据、种群生命参数以及植被和土壤生态过程数据，通过时空序列分析、阈值识别、突变检验等方法，识别鼠害发生的关键时点、增殖速率变化区间与扩散路径；进一步结合机制模型，可以阐明气候波动、放牧强度、生境破碎化等因子对种群增长、扩散以及草地承载能力下降的作用途径，从而构建草原鼠害发生–发展–扩散–暴发全过程的灾变规律框架，为预警模型构建与管理策略选择提供科学依据。

3.2.2 监测预警技术

监测预警是推动草原鼠害防控由被动响应向主动预判转变的关键环节。首先，应构建科学的监测指标体系，筛选出既能表征鼠害发生特征又可被遥感或智能设备识别的关键因子，如裸地秃斑、鼠洞数量和鼠丘密度。其次，应针对不同尺度、草地类型和优势鼠种构建分层分类的监测技术体系。在大尺度区域（如青藏高原、内蒙古草原）宜采用卫星遥感手段划分风险等级区；在县域尺度则优先使用无人机遥感技术，精准识别鼠害发生区域及其面积；而对于鼠种识别和密度评估等精细化信息的获取，引入基于物联网的智能监测装备开展地面调查，实现遥感与地面监测的有效互补。此外，防治效果的持续监测对于优化防控策略至关重要，可通过前后对比评估干预成效，及时调整控制措施，从而实现草原鼠害治理的科学化、精准化和动态化。

3.2.3 危害评价技术

危害评价是实现草原鼠害分级而治的前提和基础，直接决定是否启动害鼠防控以及选择何种调控方式。不同鼠种在不同草地类型及利用方式下对草地生态系统的影响存在差异性，因此危害评价技术必须具备情景适应性与区域针对性。基于草原生态优先的草原鼠害可持续防控需求，量化同一鼠种在不同草地类型的应急防治阈值和常态调控阈值尤为重要。在明晰不同防控阈值的基础上，构建适应不同情境的鼠害综合评价模型，实现对鼠害风险的等级划分与动态预判，为精准启动调控措施、优化调控策略提供科学依据。

3.2.4 种群调控技术

种群调控技术是环境友好型草原鼠害管理的核心内容之一，其目标是将害鼠密度控制在生态系统可承载范围内。在总体原则上强调“非灭杀调控为主、应急药物防治为辅”，即在常态管理阶段，主要依赖生态调控和繁殖干扰等非致死性手段；而在鼠害暴发时，可合理使用药物防控迅速降低害鼠密度以遏制灾变扩展。非灭杀型调控技术主要包括两类。一类是通过改善草地管理措施如优化放牧制度、草畜平衡等降低害鼠生境适合度，从源头压制种群扩张能力；另一类是以干扰害鼠繁殖为核心，采用多种技术手段阻断其种群增长。具体方法包括施用植物源或微生物源不育剂，降低其繁殖成功率；利用声波、振动波等物理干扰技术影响其求偶成功率；模拟猛禽活动的无人机飞行模式，在繁殖关键期制造天敌捕食压力，干扰其繁殖活动。

3.2.5 鼠害地修复技术

鼠害型退化草地以秃斑与植被交错镶嵌为主要特征，明显不同于过度放牧所致的均质性退化草地。鼠害地修复作为环境友好型鼠害管理的“闭环”环节，强调灾后草地生态功能的重建与系统韧性的提升。该类型退化草地的修复以调控害鼠种群密度为前提，防止新生鼠丘和秃斑的产生及持续扩展，并为植被恢复创造基础条件。在此基础上，应坚持近自然、低扰动的修复原则，围绕限制植被恢复的关键因子，优化放牧管理，改善土壤水分和养分等微环境条件，逐步恢复植被群落结构和生态功能，提升草地生态系统的稳定性和恢复力，同时削弱害鼠的生境适宜性，降低其再次暴发的风险，实现草地修复与鼠害防控的协同增效。

3.3 理论基础

本范式是基于草原生态系统可持续发展目标而

提出的新型草原鼠害管理策略，它不是孤立产生的，而是建立在多个成熟学科理论体系的基础之上，具有坚实的理论根基和跨学科的整合特性。

3.3.1 *系统科学理论*

在环境友好型草原鼠害管理范式的理论构建中，系统科学理论提供了基础性的认知框架。系统科学强调整体性、层次性、动态性与反馈调节（钱学森等，1983），适用于分析草原生态系统这一典型的复杂适应系统。草原鼠害成灾并非孤立现象，而是放牧压力、植被结构、气候变异与啮齿动物种群之间相互作用的结果。应用系统科学理论，有助于从整体上识别草原生态系统中鼠害发生的致灾机制、关键节点与调控路径，厘清各要素之间的非线性关系与反馈回路，从而构建分级治理、动态响应的防控策略。该范式以草原生态系统运行规律为基础，提出将生态系统稳定性与完整性纳入治理目标，有助于推动鼠害管理从局部治理向系统化管理转变。

3.3.2 *区域灾害系统理论*

区域灾害系统是由致灾因子、孕灾环境与承灾体共同组成的地球表层系统结构体系，以及由致灾因子危险性、孕灾环境不稳定性和承灾体脆弱性共同组成的地球表层系统功能体系（史培军，2009）。草原鼠害作为典型的生物灾害，其发生演化过程符合致灾因子–孕灾环境–承灾体–灾害结果4要素协同作用的系统逻辑。具体而言，致灾因子是指引发鼠害发生的直接驱动力量；孕灾环境包括草地生态系统结构脆弱性、放牧压力过高和气候异常变化等支撑或助推鼠害形成的系统背景；承灾体则涉及草地植被、土壤、畜牧生产及人身健康等易受损对象；灾害结果指在致灾因子与孕灾环境共同作用下对承灾体造成的具体破坏后果，表现为草地退化、生物多样性和生产力下降以及人身健康受损等。本范式正是在这一系统框架下，通过对灾变机制的全过程识别，采用多模态监测与模型分析，为区分自然种群波动与潜在的灾害性扩张提供依据。相较于传统以压低害鼠种群密度为主的灭杀式防控模式，本范式将治理重心转向对致灾因子的系统性干预与生态过程的可逆性调节，从而实现预防为主、兼顾生态与生产安全的综合管理目标。

3.3.3 *草地农业生态系统理论*

草地农业生态系统理论是研究草地如何在生态保护与资源利用之间实现可持续平衡的重要理论框架，强调环境因子、生物因子与社会因子在草地系统中的耦合关系与动态调控（任继周等，2002）。该理论提出草地系统由前植物生产层、植物生产层、动物生产层和后生物生产层构成一个完整的四层次生产体系，分别对应光能输入、植物生长、动物利用与人类获取产出等环节。在该多层次系统中，鼠类作为生物因子，既作为扰动源干扰生态系统功能正常发挥，也在食物网维持、土壤养分循环和植物群落演替等方面发挥着特定功能。本范式正是基于这一理解，强调在地境–植物、草地–动物、草畜–经营三大界面上实现生态过程的合理调控。在地境–植物界面上，通过调节鼠类扰动强度维系植物群落稳定；在草地–动物界面上，协调鼠类与家畜的资源利用关系，避免过度重叠导致草地退化；在草畜–经营界面上，倡导以生态承载力为基础的经营策略，推动草畜平衡与鼠害管理的有机融合，推动草–鼠–畜–人多要素协同发展。

3.3.4 *保护生物学理论*

保护生物学理论认为生物多样性和生态系统复杂性本身具有内在价值，应避免人为灭绝，尊重生态系统的演化过程，并维护其结构与功能的完整性（Soulé，1985）。草原啮齿动物作为草原生态系统的原生成员，拥有比人类更为久远的演化历史，其在维持系统多样性、结构复杂性和功能稳定性方面具有不可替代的生态功能。然而，传统草原鼠害治理策略常将其简化为单一负面因子，过度依赖化学防治和大面积灭杀，导致非靶标动物误伤、食物链破坏和生态系统简化，反而削弱了生态稳定性。本范式主张要承认啮齿动物在草原生态系统中的价值，害鼠种群调控应当以维护系统物种组成与结构的稳定性为前提，在控制其对草地和生产系统产生危害的同时，最大限度保留其在生态系统中的多功能价值。

3.3.5 *种群生态学理论*

种群生态学认为种群数量波动是生物与环境相互作用的结果，受资源供给、生境承载、天敌压力、种内竞争与种间关系等多重因素的共同调节（Hannan & Freeman，1977）。在理想状态下，种群处于动态平衡之中，不会无限扩张。然而，在草原生态系统中，过度放牧、栖息地破碎化、天敌数量下降等人类干扰因素打破了这种平衡，常常导致鼠类种群异常增长甚至暴发。本范式基于这一认知，明确指出鼠害频繁发生并非种群自然增长的体现，而是生态系统调控能力下降的表征。在害鼠种群调控方面倡导在尊重自然生态调节机制的基础上，通过人为干预手段辅助恢复生态系统调控力，将鼠类种群稳定控制在草地承载阈范围内。

3.3.6 生态风险评估理论

生态风险评估理论强调以决策为导向，采用问题界定–分析–风险表征的三阶段结构化流程，系统评估生态干扰因子对关键生态受体造成的潜在影响（Suter，2007）。本范式提出构建以监测预警–风险评价–响应机制为核心的全过程风险管控体系。强调防控工作的前移与响应链条的闭环，构建早识别、早预警、早干预的动态管理机制。通过多模态监测技术和物种分布模型构建害鼠空间分布模型，绘制区域鼠害风险分布图，叠加气候、植被、放牧压力等要素，开展灾变规律分析，精准识别高风险区域与关键时间窗。在此基础上，制订分区、分级、分期的差异化干预策略，实现资源投入的精准配置与干预强度的科学匹配。

3.3.7 动物福利理论

动物福利理论强调，在人类干预动物行为或种群时，应遵循最小痛苦原则，尽可能减少动物的痛苦、恐惧与非必要死亡（Broom，1991）。本范式主张，在草原害鼠种群调控过程中，优先采用非致死性的技术路径，减少对靶标动物的直接灭杀，同时避免对非靶标动物的误伤和食物网的次生破坏。动物福利理论为本范式提供了伦理指导，促使治理策略从单一灭杀转向更加人道、审慎与生态兼容的调控方式。

3.4 核心学术观点

3.4.1 生态系统观

草原啮齿动物本身是草原生态系统不可或缺的组成部分，它们广泛参与食物链结构、土壤扰动过程和植物群落演替，在维系生态系统稳定与完整方面发挥着重要作用。只有当其种群密度超过生态系统的环境容许阈值，超出生态系统自我调节能力时，才会转化为具有灾害性的鼠害现象。简单的灭杀策略虽然可能在短期内压低鼠类数量，但往往破坏了生态系统原有的调控功能，导致非靶标物种受损、天敌链断裂、生物多样性下降，甚至引发生态系统退化或鼠害反弹。因此，草原鼠害的防控不应以清除害鼠作为主要目标，更不能以破坏生态系统稳定性和完整性为代价。防控措施应服务于生态系统健康，而非与之对立。应该从生态系统整体出发，将鼠类种群控制在系统可承受范围内，通过调节生态过程，强化生态系统自身的调控能力。

3.4.2 环境友好观

环境友好观强调，草原鼠害防控必须在保障生态系统稳定的同时，兼顾畜牧业生产安全与人类健康风险防范，构建生态、生产和健康为一体的广义环境友好理念。草原害鼠管理不仅要避免对植物、土壤、水体等自然环境造成污染和破坏，更应防止对畜禽安全、人类健康和草原社会经济系统产生间接损害。因此，本范式明确反对使用高毒性、残留性强、广谱灭杀型的化学药剂和器械，因其不仅对生态系统有长期污染风险，也可能通过食物链、饮水路径或误食事件危及家畜和人类健康。在防控技术选择上，优先推广害鼠栖息地改善、非灭杀或低毒药剂治理、招引天敌等绿色干预手段，以实现对自然生态、畜牧生产与人身安全的协同保护。

3.4.3 应急防控观

草原鼠害具有典型的常态–暴发–衰退周期性演替特征。在常态阶段，鼠类种群多维持在生态系统容许范围内，可通过生态调控手段加以管理。然而，一旦种群密度突破生态系统承载阈值进入暴发阶段，将迅速加剧草地退化，威胁畜牧生产，破坏生态结构，甚至造成大范围的社会、经济、生态系统失衡。在历史上，极端鼠害甚至诱发过重大公共卫生灾难，如鼠疫暴发，表明生态容忍原则在灾变状态下存在现实边界。基于此，本范式的应急防控观主张强调在尊重环境友好的大方向下，当鼠害暴发时采取包括药物防治在内的多种手段，启动跨部门联防联控机制，调配防控物资与力量，快速压制高密度害鼠种群，防止其造成持续性、系统性的破坏。

3.4.4 精准防控观

本范式强调草原鼠害管理精准防控理念，主张在防控全过程中实现区域精准、指标精准、对象精准、时间精准、措施精准、药物精准和药量精准。通过监测调查识别重点受害区域（区域精准），建立科学的防治启动标准与防效评价标准（指标精准），明确优势害鼠种群（对象精准），掌握其活动和繁殖高峰期（时间精准），科学匹配干预手段（措施精准），优选低毒、靶向性强的药物（药物精准），设定差异化用药剂量（药量精准）。

4 实践应用

在环境友好型草原鼠害管理范式的指导下，依托致灾机制解析、监测预警、危害评价、种群调控、生态修复五位一体的管理框架，国家林业和草原局草地啮齿动物危害防控创新团队（以下简称团队）近年来在高寒草地、荒漠草地鼠害管理方面开展了一系列实践。

一是揭示高寒草地重大害鼠致灾因子与灾变规

律，为实现鼠害精准预测及制订科学防控策略奠定理论基础。识别驱动草原害鼠种群分布和数量变化的影响因子，对于预测害鼠种群数量变动及其调控具有重要意义。团队采取实地调查和定点研究相结合的方法，识别出影响高原鼠兔*Ochotona curzoniae*和高原鼢鼠*Eospalax baileyi*种群分布的关键因子分别为植被指数（贡献率29.1%）和人为干扰（贡献率46.4%），预测出高原鼠兔高适生区向青藏高原西北高海拔地区扩张、高原鼢鼠向西南方向扩张的趋势（楚彬等，2020；花蕊等，2023）。团队基于定点研究，发现随高原鼠兔和高原鼢鼠种群数量的持续增加，降低了植物群落高度、盖度、生物量、多样性指数，土壤碳氮含量先增加后降低（蔡新成等，2024），土壤动物密度增加，从植物、土壤和土壤动物3个维度系统阐释了鼠害灾变过程。团队基于放牧试验、食性分析与肠道微生物学等方法，发现放牧强度增加导致植物群落中禾草比例下降、杂类草增加，显著提升了害鼠反捕食能力和食物可利用性（牛钰杰等，2020；Dong et al.，2025）。高原鼠兔和高原鼢鼠具有消化杂类草的独特胃肠结构和肠道微生物（蔡新成等，2022），增强了食物利用效率与种群增殖能力。这进一步阐明了放牧压力–植被结构–食物可利用性–行为生理适应的协同驱动致灾机制。

二是“空–天–地”融合的监测预警新技术和装备显著提升了监测效率和准确度。团队基于实地调查和物种分布模型，绘制了青藏高原高原鼠兔和高原鼢鼠风险等级预警图，预测了其潜在扩散范围，为草地鼠害宏观防控布局提供量化依据（楚彬等，2020；Hua et al.，2023a）。团队还筛选了表征高原鼠兔危害的关键指标，发现秃斑相比鼠洞对草地生产力和物种多样性的影响更显著，为无人机监测指标选择奠定理论基础（Hua et al.，2023b）；明确了无人机监测草地鼠害的航测参数及秃斑影像解译深度学习最优算法，秃斑识别精度达93.3%，较人工监测节省80%的时间（蔡斌等，2024）；研发了在县域尺度上利用无人机遥感技术调查草地鼠害发生面积的分层抽样法，突破了传统现场勾绘法效率低、准确度差的技术瓶颈（花蕊等，2023）；研制了具有4G传输功能的鼢鼠无损伤活捕器（Hua et al.，2015）；基于红外相机监测技术发现了高原鼢鼠地面活动行为，为招引天敌控鼠提供了依据（Chu et al.，2021）；将实时动态定位技术运用到鼠丘、鼠洞空间分布及数量调查，显著提高了监测效率和精度（花立民等，2018）；将无线电追踪、电子标签标志重捕技术运用到高原鼢鼠种群动态研究中，显著推动了高原鼢鼠生态学研究（姬程鹏等，2017）。

三是高原鼠兔生态防控阈值量化和多指标融合的危害等级评价模型的建立实现了鼠害灾变的分级管理。我国现行高原鼠兔防治标准（180个有效洞口/hm^2）是基于牧草损失的经济阈值确定的，忽视了对草原生态功能的考量。本团队聚焦草原生态优先导向需求，量化了高原鼠兔在高寒草甸和高寒草原的生态防控阈值分别为613~700个有效洞口/hm^{2}和197~218个有效洞口/hm^2，避免过度防治引发生物多样性损失（花蕊等，2024）。本团队构建了基于无人机遥感的地上生物量、有效洞口数、盖度等多指标融合的高原鼠兔危害评价模型（花蕊等，2022），为实现草原鼠害分级而治提供了依据，并制定了甘肃省地方标准《高原鼠兔危害等级划分》（DB62/T 2626—2015）和《高原鼢鼠危害等级划分》（DB62/T 2627—2015）。最终建成了集遥感监测、模型计算与风险判定于一体的可视化鼠害监测评价系统，实现了草地鼠害监测评价的信息化和自动化管理。

四是创制了非灭杀型害鼠种群调控新技术及产品，开辟了绿色防控新途径。依据本范式提出的非灭杀型种群调控理念，本团队研发无人机模拟猛禽捕食风险干扰高原鼠兔繁殖新技术，干扰后胎仔数和种群密度分别下降了21.91%和26.44%（周睿，2020）。团队还发现高原鼢鼠依赖振动通信实现求偶定位，进而研制了振动波干扰发射器，发射同频率振动波干扰高原鼢鼠求偶通信，相比非干扰区，干扰后高原鼢鼠怀孕率下降了50%（待发表数据）。

五是非补播修复技术的应用实现了鼠害地退化草地的原生植被恢复。秃斑与植被镶嵌是鼠害型退化草地独有的特征。在高寒草甸，秃斑是黑土滩型鼠害地形成的启始，限制秃斑面积扩大是有效预防黑土滩型鼠害地形成的关键。秃斑块土壤中并不缺少种子，而是缺少种子萌发、生长的条件。秃斑块土壤有机质、土壤温度和入渗速率是影响种子萌发的主要因素（拉毛草等，2023）。基于此，针对高寒草甸，提出了“浅耙+润湿剂”的鼠害地非补播修复技术，显著提升了秃斑植物物种数和地上生物量（拉毛草等，2024）。

本文提出的环境友好型草原鼠害管理范式，其核心价值在于倡导以生态系统保护为导向的治理理念，而非限定于某一套固定的技术环节。本文提出的致灾机制解析、监测预警、危害评价、种群调控、生态修复5个环节框架主要源于青藏高原鼠害治理的

长期实践，是在该区域生态背景、致灾因子结构和管理目标下形成的典型路径，可作为环境友好型管理理念的一个案例式实践模型。需要明确的是，在我国不同草原类型中，生态约束条件、鼠害发生机制及治理重点差异显著。因此，各区域在贯彻环境友好型草原鼠害管理理念时，不必严格套用本文提出的全部环节，而应结合当地生态系统结构、限制因子和治理需求进行调整和优化。特别是在荒漠草原，由于鼠害地恢复受土壤水分制约，其管理路径与青藏高原存在明显不同，更应强调减压稳态维持、生境优化和风险预警等方面的策略。总体而言，草原鼠害环境友好型管理范式强调理念的可迁移性与技术路径的弹性，支持不同草原在各自生态条件下构建适宜的治理模式。

参 考 文 献（References）

Broom DM. 1991. Animal welfare: concepts and measurement. Journal of Animal Science, 69(10): 4167−4175

Cai B, Dong R, Hua R, Liu JZ, Wang L, Hao YY, Yang SW, Hua LM. 2024. Screening of identification algorithm for rodent-induced bare patches based on the drone imagery. Chinese Journal of Applied Ecology, 35(7): 1951−1958 (in Chinese) [蔡斌, 董瑞, 花蕊, 刘济泽, 王磊, 郝媛媛, 杨思维, 花立民. 2024. 基于无人机影像的鼠害地秃斑识别算法筛选. 应用生态学报, 35(7): 1951−1958]

Cai XC, Bao D, Zhou R, Ma YJ, Dong KC, Hua LM. 2022. Comparison of the gastrointestinal tract morphology between plateau pika and plateau zokor. Acta Agrestia Sinica, 30(5): 1237−1245 (in Chinese) [蔡新成, 包达尔罕, 周睿, 马义杰, 董克池, 花立民. 2022. 高原鼠兔和高原鼢鼠胃肠组织形态比较研究. 草地学报, 30(5): 1237−1245]

Cai XC, Wei CB, Chu B, Hua LM. 2024. Assessing the effects of plateau pika *Ochotona curzoniae* disturbance on vegetation and soil in alpine meadow: insights from bibliometric and meta-analytical approaches. Journal of Plant Protection, 51(5): 1045−1055 (in Chinese) [蔡新成, 魏才卜, 楚彬, 花立民. 2024. 基于文献计量学和Meta分析方法评估高原鼠兔干扰对高寒草甸植物与土壤的影响. 植物保护学报, 51(5): 1045−1055]

Cao SJ. 2006. The human-rodent war: the Inner Mongolia grasslands in the 1950s: centered on Zhelimu League//Li CL, Zuo YH. City and country in modern China. Beijing: Social Sciences Academic Press, pp. 333−348 (in Chinese) [曹树基. 2006. 人鼠大战: 1950年代的内蒙古草原: 以哲里木盟为中心//李长莉, 左玉河. 近代中国的城市与乡村. 北京: 社会科学文献出版社, pp. 333−348]

Chu B, Bao D, Zhang FY, Zhou R, Ye GH, Hua XZ, Hua LM. 2020. Study on characteristics of environmental factor affecting distribution of plateau zokor in the eastern Qinghai-Tibet Plateau. Grassland and Turf, 40(5): 52−58 (in Chinese) [楚彬, 包达尔罕, 张飞宇, 周睿, 叶国辉, 华铣泽, 花立民. 2020. 青藏高原东缘高原鼢鼠分布区的环境因子特征研究. 草原与草坪, 40(5): 52−58]

Chu B, Ji CP, Zhou JW, Zhou YS, Hua LM. 2021. Why does the plateau zokor (*Myospalax fontanieri*: Rodentia: Spalacidae) move on the ground in summer in the eastern Qilian Mountains? Journal of Mammalogy, 102(1): 346−357

Department of Animal Husbandry of Qinghai Province. 1985. Selected compilation of Qinghai Province's grassland rodent and pest control materials. Xining: Department of Animal Husbandry of Qinghai Province (in Chinese) [青海省畜牧厅. 1985. 青海省草原灭鼠治虫资料选编. 西宁: 青海省畜牧厅]

Dong LM, Cai XC, Gan RX, Zhang J, Dong R, Dong KC, Hua LM, Zhou R, Dong LM, Cai XC, et al. 2025. Seasonal variations in the foraging strategies of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*). Animals, 15(7): 902

Fan NC, Jing ZC, Wang QY, Zhou WY. 1986. Studies on bromadiolone against the pika and the zokor. Acta Theriologica Sinica, 6(3): 211−217 (in Chinese) [樊乃昌, 景增春, 王权业, 周文扬. 1986. 溴敌隆防治高原鼠兔和高原鼢鼠的研究. 兽类学报, 6(3): 211−217]

Hannan MT, Freeman J. 1977. The population ecology of organizations. American Journal of Sociology, 82(5): 929−964

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]

Hua LM, Chu B, Zhou YS, Ma SJ, Zhou JW. 2018. A method for investigating mounds number of subterranean rodent and its distribution. Chinese Journal of Zoology, 53(3): 461−467 (in Chinese) [花立民, 楚彬, 周延山, 马素洁, 周建伟. 2018. 一种地下啮齿动物土丘数量和分布调查的新方法. 动物学杂志, 53(3): 461−467]

Hua LM, Ji WH, Zhou JW, Zuo ST. 2015. A live trap and trapping technique for subterranean zokors (Rodentia). Mammalia, 79(4): 487−490

Hua R, Bao D, Dong R, Tang ZS, Chu B, Hao YY, Hua LM. 2023. Monitoring of rodent damage areas in grassland using unmanned aerial vehicle remote sensing technology. Acta Prataculturae Sinica, 32(5): 71−82 (in Chinese) [花蕊, 包达尔罕, 董瑞, 唐庄生, 楚彬, 郝媛媛, 花立民. 2023. 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, 32(5): 71−82]

Hua R, Hua LM, Lin KJ, Wang L, Bao D, Chu B. 2024. Determination of ecological thresholds and construction of hazard prediction models for plateau pika *Ochotona curzoniae* in alpine meadows and alpine steppes. Journal of Plant Protection, 51(5): 1068−1077 (in Chinese) [花蕊, 花立民, 林克剑, 王磊, 包达尔罕, 楚彬. 2024. 高寒草甸和高寒草原高原鼠兔的生态阈值确定及为害预测模型构建. 植物保护学报, 51(5): 1068−1077]

Hua R, Hua LM, Tang ZS, Dong R, Bao D, Ye GH, La MC, Sun WQ, Zhang ZY, Wang L, et al. 2023a. MaxEnt modeling for predicting habitat suitability and potential distribution of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on the Qinghai-Tibet Plateau, China. Rangeland Ecology & Management, 87: 34−43

Hua R, Ye GH, De Giuli M, Zhou R, Bao D, Hua LM, Niu YJ. 2023b.

Decreased species richness along bare patch gradient in the degradation of *Kobresia* pasture on the Tibetan Plateau. Ecological Indicators, 157: 111195

Hua R, Zhou R, Bao D, Dong KC, Tang ZS, Hua LM. 2022. A study of UAV remote sensing technology for classifying the level of plateau pika damage to alpine rangeland. Acta Prataculturae Sinica, 31(4): 165−176 (in Chinese) [花蕊, 周睿, 包达尔罕, 董克池, 唐庄生, 花立民. 2022. 基于旋翼无人机低空遥感的高原鼠兔危害等级划分技术研究. 草业学报, 31(4): 165−176]

Ji CP, Zhou JW, Chu B, Zhou YS, Zhou R, Wang ZP, Tian YL, Wang T, Hua LM. 2017. Application of radio tracking technology in ecological research of plateau zokor (*Myospalax baileyi*). Grassland and Turf, 37(3): 48−52, 59 (in Chinese) [姬程鹏, 周建伟, 楚彬, 周延山, 周睿, 王志鹏, 田永亮, 王婷, 花立民. 2017. 无线电追踪技术在高原鼢鼠生态学研究中的应用. 草原与草坪, 37(3): 48−52, 59]

Kong ZF, Lu T, Meng XZ, Chai LZ, Yang SW, He ZY, Tang XF, Chen TF. 1990. Opening up the way of biological control in rangeland rat destruction: research on the application of artificial hawk: attractive stands to rangeland protection. Pratacultural Science, 7(2): 8−13 (in Chinese) [孔照芳, 鲁挺, 孟宪政, 柴来智, 杨生武, 贺占英,汤学峰, 陈天福. 1990. 拓宽生物防治草地鼠害的途径: 应用人工鹰架防治草地鼠害的研究. 草业科学, 7(2): 8−13]

La MC, Dong LM, Gan RX, Cai B, Yu T, Sun WQ, Zhang J, Zhang ZY, Hua LM. 2024. Study on improvement effect of different concentrations of wetting agents on alpine meadow rodent-damaged bald land. Grassland and Turf, 44(4): 113−120 (in Chinese) [拉毛草, 董隆明, 甘瑞勋, 蔡斌, 余涛, 孙文倩, 张静, 张志莹, 花立民. 2024. 不同浓度湿润剂对高寒草甸鼠害型秃斑地改良效果研究. 草原与草坪, 44(4): 113−120]

La MC, Zhou FF, Ye GH, Li Y, Cai XC, Dong R, Tang ZS, Hua LM. 2023. Effects of soil seed bank and physicochemical physicochemical properties on plant community characteristics in alpine meadow bald patches. Chinese Journal of Grassland, 45(3): 30−39 (in Chinese) [拉毛草, 周富斐, 叶国辉, 李杨, 蔡新成, 董瑞, 唐庄生, 花立民. 2023. 高寒草甸秃斑块土壤种子库和理化性状对植物群落特征的影响. 中国草地学报, 45(3): 30−39]

Niu YJ, Yang SW, Hua LM. 2020. Effects of grazing intensity on plant community composition in alpine meadow with seasonal changes. Grassland and Turf, 40(6): 16−23 (in Chinese) [牛钰杰, 杨思维, 花立民. 2020. 放牧强度与季节因子变化对高寒草甸植物群落组成的影响. 草原与草坪, 40(6): 16−23]

Qian XS. 1983. On thinking science. Chinese Journal of Nature, 6(8): 563−567, 572 (in Chinese) [钱学森. 1983. 关于思维科学. 自然杂志, 6(8): 563−567, 572]

Qinghai Institute of Biology. 1973. Research report on rodent control and rodent biology: volume I. Beijing: Science Press (in Chinese) [青海省生物研究所. 1973. 灭鼠和鼠类生物学研究报告: 第1集. 北京: 科学出版社]

Qinghai Institute of Biology. 1978. Research report on rodent control and rodent biology: volume III. Beijing: Science Press (in Chinese) [青海省生物研究所. 1978. 灭鼠和鼠类生物学研究报告: 第3集. 北京: 科学出版社]

Ren JZ, Li XL, Hou FJ. 2002. Research progress and trend on grassland agroecology. Chinese Journal of Applied Ecology, 13(8): 1017−1021 (in Chinese) [任继周, 李向林, 侯扶江. 2002. 草地农业生态学研究进展与趋势. 应用生态学报, 13(8): 1017−1021]

Shen SY. 1987. A preliminary study on botulin model C for killing pika. Acta Theriologica Sinica, 7(2): 147−153 (in Chinese) [沈世英. 1987. C型肉毒梭菌毒素杀灭高原鼠兔的研究. 兽类学报, 7(2): 147−153]

Shi PJ. 2009. Theory and practice on disaster system research in a fifth time. Journal of Natural Disasters, 18(5): 1−9 (in Chinese) [史培军. 2009. 五论灾害系统研究的理论与实践. 自然灾害学报, 18(5): 1−9]

Singleton GR., Hinds LA, Leirs H, Zhang ZB. 1999. Ecologically-based management of rodent pests. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, pp. 17−29

Soulé ME. 1985. What is conservation biology? BioScience, 35(11): 727−734

Suter GW II. 2007. Ecological risk assessment. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, pp. 4−14

Xu ZT, Wang Y, Wang ZP, Yang D, Yan JY, Yue FZ. 2024. Status of major grassland pest outbreaks in China in 2023 and trend forecast for 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]

Yue FZ, Li X, Yang D, Wang ZP, Xu ZT, Hua LM, Tu XB, Wang BY, Han HB, Chai SQ. 2022. Establishment and analysis of key pest control indicators in grasslands in China. Pratacultural Science, 39(9): 1773−1781 (in Chinese) [岳方正, 李璇, 杨鼎, 王志鹏, 徐震霆, 花立民, 涂雄兵, 王炳煜, 韩海斌, 柴守权. 2022. 我国主要草原有害生物防治指标制定与分析. 草业科学, 39(9): 1773−1781]

Zhao GZ, Yuan KL. 1990. The advance of ecological control and forecast of the damage by rodent in field. Scientia Agricultura Sinica, 23(5): 53−59 (in Chinese) [赵桂芝, 袁宽林. 1990. 农田害鼠的生态控制及其预测预报技术进展. 中国农业科学, 23(5): 53−59]

Zhao S, Su ZL. 2011. New China's "eliminate the four pests" campaign. Contemporary China History Studies, 18(5): 28−35, 125 (in Chinese) [赵胜, 苏智良. 2011. 新中国的"除四害"运动. 当代中国史研究, 18(5): 28−35, 125]

Zhou R. 2020. The response of individuals and populations in plateau pika (*Ochotona curzoniae*) to predation risk and changes of habitat vegetation communities. PhD thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University (in Chinese) [周睿. 2020. 高原鼠兔个体和种群对捕食风险的响应及其栖息地植物群落的变化. 博士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学]

(责任编辑:李美娟)