

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.20190406

关振寰, 刘国华, 贺金生. 草地保护技术研究现状及发展趋势的文献分析. 草业科学, 2020, 37(4): 703-717.

GUAN Z H, LIU G H, HE J S. Literature analysis on the research status and development of grassland conservation technology. Pratacultural Science, 2020, 37(4): 703-717.

草地保护技术研究现状及 发展趋势的文献分析

关振寰¹, 刘国华², 贺金生^{1,3}

(1. 兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室 / 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020;

2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 3. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要: 草地是重要的自然资源, 随着草地开发与气候变化, 它面临着越来越严重的威胁。目前中国采取的草地保护措施使草地局部退化有所改善, 但并未遏制总体退化趋势。为此, 需要完善草地保护技术以保障可持续发展。本研究结合我国草地实际问题, 从广义和狭义草地保护出发, 采用 CiteSpace 软件分析 Web of Science 核心数据集 2000–2019 年草地保护技术相关文献, 对比世界范围与中国同类技术的现状和发展趋势, 为我国草地保护技术的发展提供参考。分析结果表明, 我国在草地保护方面的研究影响力虽排名世界第三, 但引用频次较低。相比国外技术发展, 我国在保护草地资源方面需要完善国家公园建设标准、推广栽培草地建植、增加智能刈割研发、加强生物饲料菌种筛选、改良传统围栏; 在有害生物的防治方面需要降低技术成本, 增大适用范围。草地保护技术的不断发展, 将推动中国草地更好地发挥其牧业基地、生态屏障、文化传承和基因库的作用。

关键词: 草地资源保护; 有害生物防治; CiteSpace 软件; 技术发展

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2020)04-0703-15

Literature analysis on the research status and development of grassland conservation technology

GUAN Zhenhuan¹, LIU Guohua², HE Jinsheng^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystems / College of Pastoral Agriculture Science and Technology,

Lanzhou University, Lanzhou 730020, Gansu, China;

2. Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

3. Department of Ecology, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Grassland is an important natural resource. With economic development and climate change, it is facing increasingly serious threats. Current grassland protection measures in China have improved local grassland degradation, but have not stopped the overall trend in degradation. Therefore, grassland protection technology needs to be improved to ensure a sustainable future. Based on the practical problems of grasslands in China, this paper starts from both the broad and narrow sense of grassland protection. CiteSpace was used to analyze relevant literature on grassland protection technology from the Web of Science core data set from 2000 to 2019, to compare the status quo and the development trend of similar technologies in the world and China, to produce suggestions for the development of grassland protection technology in China. The results show that although the research influence of grassland protection in China ranks third in the world, the frequency of citation

收稿日期: 2019-08-02 接受日期: 2019-01-02

基金项目: 兰州大学“双一流”引导专项队伍建设经费 (561119209)

第一作者: 关振寰 (1987-), 男, 湖南长沙人, 博士, 主要从事草地生态学研究。E-mail: guanzhh13@lzu.edu.cn

通信作者: 贺金生 (1965-), 男, 河南洛阳人, 教授, 博士, 主要从事草地生态学研究。E-mail: jshe@pku.edu.cn

<http://cykx.lzu.edu.cn>

is low, and the advanced grassland protection technology from abroad needs to be used for reference in the Chinese context. Compared with the development of foreign technologies, China needs to improve the construction standards of national parks, promote the cultivation of grasslands, increase the research and development of intelligent mowing, strengthen the selection of biological feed bacteria, and improve traditional fence lines. It is also necessary to reduce the technical cost and enlarge the scope of application of pest control. Research and resources need to be directed toward grassland conservation in order to cope with the problems of grassland ecological function, declining grassland productivity caused by grassland exploitation, natural disasters and pests, in order to leave a legacy of grassland care.

Keywords: grassland resource conservation; pest control; CiteSpace; key technology and development

Corresponding author: HE Jinsheng E-mail: jshe@pku.edu.cn

中国草地面积达 4 亿 hm^2 , 占国土面积的 41.7%^[1]。草地生长着盖度超过 5% 的草本植物、灌木和稀疏乔木, 不仅为动物提供食料和生存场所, 也为人类提供优良的生活环境和生物产品, 是重要的自然资源^[1]。草地生态系统不仅具备涵养水源、保持水土、防风固沙、维系生物多样性、固碳和美化环境等生态功能, 还具有生产多种草畜产品的生产功能, 并维系着民族的团结和草原文化的传承^[1]。中国草地在全国陆地生态系统的结构、格局、功能和过程中占有重要地位, 支撑着中国社会经济发展, 是实现现代农牧业转型的重要保障^[1]。

但是近 20 年来, 由于人们采用落后的技术和基础设施加大对草地的开发、利用, 加上气候变化和雪灾、火灾、旱灾、虫害、鼠害等自然灾害^[2-4], 引起草地荒漠化、沙尘暴等生态灾难^[5-8], 这不仅直接影响草地净初级生产力, 还间接影响食草动物的健康和畜产品质量^[9-10], 阻碍民族团结和文化发展^[11]。为此, 探索草地生态保护成为我国草地可持续发展的当务之急。“十二五”时期, 国家出台了草原生态保护补助奖励机制, 完善了草原保护建设重大工程措施, 推进建立了草原保护建设利用政策体系。“十三五”时期, 我国草原保护建设大力推进生态文明建设, 为草原生态保护、草原政策的完善注入新动力, 深入推进农业结构调整, 为促进草牧业发展开辟新途径。

近十年来, 国家对草地保护建设举措的实施, 使草原生物多样性不断丰富, 固碳储氮、涵养水源能力增强、草原载畜量增加、防灾减灾能力提升。但是, 我国草地资源管理利用水平低, 草原畜牧业转型困难, 加上欠债太多, 灾害难以防

控, 威胁草地生态的各种不利因素依然存在, 已经取得的建设成果还需长期巩固, 草地保护是一项长期且艰巨的任务, 保护技术还需要进一步发展^[12]。

广义的草地保护包括草地资源的保护与利用, 如牧场、割草地、栽培草地饲草的保护, 草地气候调节、涵养水源、水土固持、防风固沙功能的保护, 草地提供野生动植物生存环境的保护, 草地科研、教学试验基地的保护等。而狭义的草地保护指草地植物病害、鼠害、虫害和草地有毒杂草防治等^[13]。总体来说就是采取适宜的措施, 控制草地有害生物、避免灾害, 获取最大的经济、生态和社会效益。为了实现该目标, 就要采用相应的草地保护技术, 着力改善草地应对胁迫的能力^[1]。因此, 本研究从中国草地退化的实际问题出发, 针对具体问题从广义和狭义两个方面综述中国草地保护采用的具体技术, 通过对比各类草地保护技术在世界范围的发展, 明确我国现有技术与世界领先技术的差距, 以期为中国草地资源的永续利用和牧业经济的持续发展提供理论基础和技术保障, 从而使中国草地能更好地发挥其牧业基地、生态屏障、文化传承和基因库的作用。

1 数据来源及分析方法

为了能客观分析中国草地主要问题和对比国内外草地保护技术的发展, 本文采用 CiteSpace 软件^[14], 对 Web of Science 核心数据集收录的文献进行可视化计量分析。文献检索时间跨度限制在 2000–2019 年间, 文章类型设置为 Article, 以“(grassland OR steppe OR meadow OR rangeland) AND (conservation * OR protection *)”为检索词, 共获得文献记录 11 625

条。通过软件分析论文题目、关键词、摘要内容、高引指数、总被引频次、平均引用次数、文献发表年、年发表数量、国家等基本信息，明确国内外在草地保护方面论文的数量和科研竞争力。接着从 11 625 篇文章内容中提炼出不同草地保护技术，分类后以不同草地保护技术为关键词分别对上述文献进行二级检索。各类保护技术文章信息采用 CiteSpace 软件的时间知识演进模块分析后，结合重要时间节点的文章内容，综述草业大国与我国草地保护技术的发展进程、水平与差

距，进而为我国草地保护技术的发展提供参考。检索日期为 2019 年 10 月 28 日。

由于世界和中国草地保护技术适用的背景和目标不同，本文将所筛选的草地保护分为草地资源保护和有害生物防治。其中，草地资源保护依据文献记载归纳出 6 项具体技术，有害生物防治依据草地保护学分为 4 项具体技术^[13]。可以看出，草地资源保护方面中国在防护林构建技术中的发文量所占比重最大，刈割技术占比最小；有害生物防治方面中国的发文量高于世界范围(表 1)。

表 1 2000–2019 年间不同草地生态系统保护技术发文情况

Table 1 The number of papers published using different conservation techniques in grassland conservation from 2000 to 2019

研究方向 Research field	保护技术 Conservation techniques	关键词 Keywords	国外发文数量 Number of papers published globally	中国发文数量 Number of papers published in China	中国发文数量所占 国外发文数量比重 Proportion/%
草地资源保护 Grassland resources conservation	设立自然保护区 Nature Reserve	Reserve * OR Protect *	1 410	106	8
	栽培草地技术 Cultivated grassland	Cultivat * OR Artifi *	655	98	15
	刈割技术 Mowing	Mow * OR Cut *	721	10	1
	防护林构建技术 Shelterbelt	Shelterbelt	336	181	54
	饲料技术 Feedstuff technology	Feed OR Feedstuff	329	19	6
	围栏封育技术 Fencing	Fenc * OR Enclos *	158	35	22
有害生物防治 Pest management	病害防治技术 Forage diseases	Pest manag *	401	500	125
	虫害防治技术 Insect harm				
	鼠害防治技术 Rat harm				
	毒草防治技术 Poisonous weeds				

2 结果与讨论

2.1 草地保护相关研究全球发文趋势

文献分析结果如图 1 所示，节点的大小表示该国在草地保护领域的核心程度，即文章高产与高合作国家。由此可见，美国是该领域最有影响力的国家，其次是德国，中国在 2000 年后进入快速发展阶段，居世界第三(图 1)。表 2 分别列出近 19 年草地保护领域发表文献影响力排名前 8 国家的文献数量和引用频次。美国为期刊载文量最多的国家，共有 1 846 篇文献收录于 Web of Science 核心数据库。英国所发表文献引用频次最高，达到 0.33，

而中国在该领域引用频次最低，仅为 0.04(表 2)。

2.2 草地资源保护技术

虽然中国在草地保护技术领域的影响力列位世界第三，但是所发表文章的引用频次却在 8 国排名最后。从文章内容看，一是因为世界草业大国技术发展和管理制度领先；二是中国和国外草地面临的实际问题不同。以下先着重介绍草地资源保护的主要技术。

2.2.1 设立自然保护区

设立自然保护区可有效并全面地保护草地生态系统^[15]。图 2 是依据自然保护区关键词检索到的



图 1 前 8 名合作国家文献计量图谱

Figure 1 The bibliometric map of the top eight cooperating countries

颜色相近表示两国在该领域合作关系密切，节点的大小表示该国在草地保护领域的核心程度。

The size of the nodes indicates the core contribution of the country to grassland conservation, and a similar color indicates close cooperation between countries.

表 2 前 8 名合作国家文献发表数量和引用频次
Table 2 Reference count and citation frequency of top eight cooperating countries

国家 Country	文献数量 Count	引用频次 Citation frequency
美国 USA	1 846	0.13
德国 Germany	796	0.07
中国 China	633	0.04
英国 UK	623	0.33
法国 France	358	0.22
意大利 Italy	291	0.05
南非 South Africa	265	0.12
荷兰 Netherland	254	0.04

1 410 篇文献内容与文章检索信息分析得出的时间区域知识演进图谱，图中关键词为时间区域尺度上的研究热点，圈层越大代表热点越受关注。可以看出，世界范围保护区管理方面的发文量较大，管理方案获得充分研究后，生物问题是世界范围保护区建设研究的热点。中国专注于地理信息技术在保护区建设中的应用，近年来发展方向与世界一致。

欧美等国的自然保护区建设将保护生物多样性为首要目标，就成熟的土地利用模型，充分研究并发展保护区建设条例和管理技术^[16-19]。我国保护区建设基于国家相关政策，结合生态系统自然演替理论和联合国教科文组织的“人与生物圈”计划作为指导方针^[20]。自然保护区的选址需有较强的生态系统自然恢复能力^[21]。为了自然保护区建设的发展，近十年来学者们通过遥感分析草地生态系统景观指标，长期监测保护区生态系统变化，并逐步完善我国保护区的管理技术^[22-24]。对比世界范围与中国关键节点的文章内容，中国采用卫星遥感和 NDVI 数据分析技术对自然保护区长期监控，其可靠的监测数据和广泛的适用范围处于世界领先地位^[25-26]。但是我国对保护区管理以借鉴为主，草地自然保护区内的资源缺乏调查，加上我国草地类型多样，保护区土地权属不明晰，不同保护地之间交叉重叠，而管理条例和技术不能统一，致使管理有效性不高。研究表明，草地“两屏三带”自然保护区在未来情景下保护区内的生态服务功能

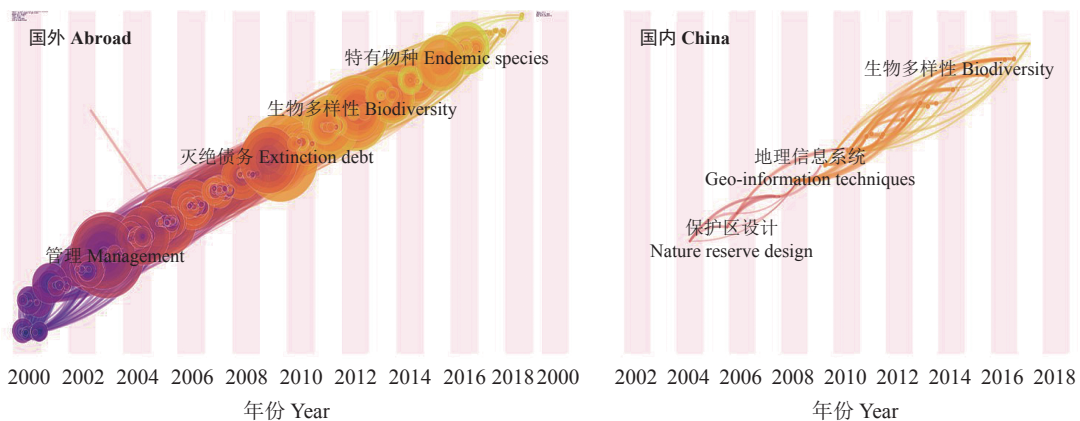


图 2 2000–2019 年自然保护区文献计量聚类知识演进图谱

Figure 2 The bibliometric map of knowledge evolution based on literature on nature reserves from 2000 to 2019

圈层越大代表热点越受关注；下图同。

The larger the circle is, the more attention is paid to the hot spot; similarly for the following figures.

仍然面临退化威胁。三江源区高寒荒漠生态系统局部虽然向草地生态系统转变, 荒漠面积减少了 492.16 km^2 , 但总草地面积只增加了 123.70 km^2 , 且生态服务功能并未有所恢复^[27-28]。

为此, 中国开始将自然保护区的空间及功能重组升级, 依照世界范围较成熟的3种管理模式试点建设国家公园, 分别是中央集权型(如美国、加挪威等)、地方自治型(如德国、澳大利亚)和中央-地方共治型(如日本、加拿大等)。纵观近20年中国草地保护区研究历程, 国家公园虽然是自然保护建设的升级, 但仍然需要运用3S技术和实地调查, 在明确保护对象的前提下, 结合中国实际情况设置保护区标准。

2.2.2 栽培草地技术

栽培草地种植规模和生产水平是衡量一个国家或地区草业发达程度的标志^[29]。建立栽培草地, 可以减少季节性变化对草地的影响, 改善草地土壤结构, 提高牧草产量, 保证饲草供需平衡^[30]。图3是依据栽培草地关键词检索到的655条检索记录, 经分析呈现出的时间区域知识演进图谱, 结合检索文献内容分析可知, 20世纪初世界范围主要研究栽培草地的移栽技术, 随后开始关注栽培草地的养分利用和草地质量, 近年主要围绕能源作物展开研究。中国对栽培草地的研究从水管理到养分利用, 近年来注重整体草地质量的提高(图3)。

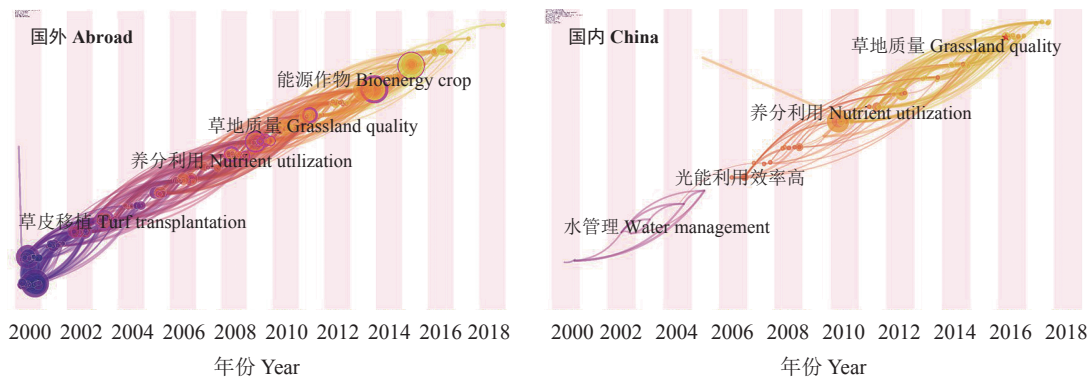


图3 2000–2019年栽培草地文献计量聚类知识演进图谱

Figure 3 The bibliometric map of knowledge evolution based on literature on cultivated grasslands from 2000 to 2019

相比传统栽培的草地建植, 移栽可以让草地快速发挥用途^[31]。欧洲国家在21世纪初通过评估目标区域的移栽面积、植物类型、胁迫来源和土壤理化指标, 结合配套挖铲机, 确保了根系的完整性和土壤存留, 以提高栽培草地的存活率^[31]。随着时间发展, 世界范围栽培草地技术开始朝向草地养分利用和草产品质量发展。技术框架基于生态化学计量学^[32], 生态位分化、补偿和互惠^[33], 放牧优化假说和中度干扰假说^[34]3种理论, 对土壤养分和水分进行计量化管理^[35]。近年来畜牧业发达国家的饲草用地基本已经达到极限, 提高栽培草地植物组织乙醇、甲烷等能源物质转化效率, 成为了栽培草地新的方向^[36-38]。

中国栽培草地是以生产优质高产的牧草生物量或种子为目标。借鉴国外栽培草地技术的发展经验, 依据水分资源分布的时空特征规划栽培草地布局, 首先解决栽培草地水分利用效率的难题^[39]。

在草地的养分利用效率方面, 中国草业学者通过细化栽培草地的肥料施入、物种搭配、刈割频率和节能减排^[40-41], 建立了重要养分元素及其计量平衡对草地生产力调控的指导标准, 健全了多草种组合对草地生产功能与生态功能影响机制, 完善了不同刈割程度对再生牧草产量和品质调控参照依据^[42]。

尽管多年努力拉近了中国与草业大国的差距, 但是截至2013年, 中国地区栽培草地面积仅1.8亿亩(合约1200万 hm^2), 为天然草地面积的3%, 远低于草业发达国家。原因除了技术上的差距外, 还有牧民的观念问题, 以及国家对栽培草地建设没有长期稳定的支持与政策保障^[43]。面对现存问题, 不仅需要加大对栽培草地的科研工作, 还需要加强草业科研、示范、推广设施的建设力度, 产学研相结合, 提高牧草种植的经济效益, 吸引农牧民进行牧草种植。

2.2.3 智能刈割技术

刈割在中国和世界范围主要应用于饲草的收割和草地火灾的防治。虽然依据刈割技术关键词可检索到 721 篇文章,但近 20 年刈割技术向智能化单线发展,无法绘制知识演进图谱。

草业发达国家的刈割技术向大型自动化发展^[44-48]。例如美国纽荷兰公司生产的 H7220 圆盘式刈割机和克拉斯 Disco 系列刈割机。随着人工智能的发展,韩国率先将拖拉机和全球定位系统相结合,再配备陀螺罗经传感器 (RTK-DGPS 系统),大幅降低对拖拉机驾驶员的技术要求^[49]。刈割机器人在装备 RTK-DGPS 系统后,基本可以解放人力,独立完成大规模刈割工作^[50-51]。刈割效率的提升,再配合饲料青贮可以最大化地保持牧草的养分和减少干物质流失^[52]。

提升刈割效率可以减少我国部分地区草地雪灾和火灾造成的经济损失。但当前自动化刈割技术不适合中国地区复杂的地形,切割装置的各类参数难以精确计算,实际应用中易出现漏割、重割

的状况。除此之外刈割机刀片的硬度与强度不足,增加了劳动成本。并且自动化、智能化的程度不高^[53]。根据国外发展理念,依据中国实际地形地貌和第五代通信技术,研制并推广智能化多功能刈割机械是草地刈割机械发展的重要方向。

2.2.4 草牧防护林构建技术

草牧防护林在改善草地微域气候、减轻自然灾害、提高牧草和牲畜的产量及质量、增加草地生态经济系统的生产力和稳定性、增强对有害自然因子的抵抗力等方面发挥重要作用^[54]。结合知识演进图谱和文章内容可知,世界范围将防护林用于增加害虫、害鼠天敌的栖息地,以达到控制草地虫害和鼠害的目的^[55]。随后,草牧防护林被用于防护草地土壤的风蚀。目前,防护林在草地农业系统中,主要扮演固碳,减少温室气体排放等作用。中国防护林技术依据我国实际情况明确发展。从树种的选择到灌溉技术,都有着充分的研究基础。目前研究热点是对不同的种植区和防护对象,采用配套的造林方案(图 4)。

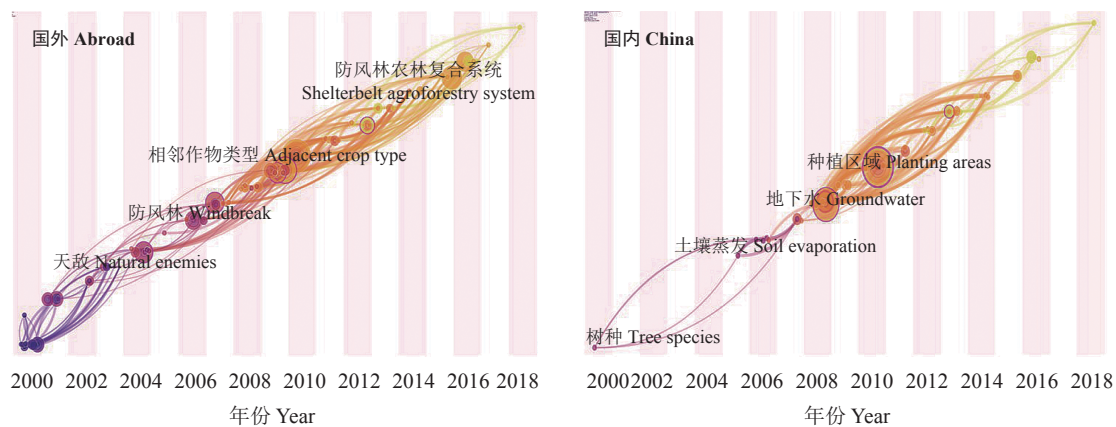


图 4 2000–2019 年刈割技术文献计量聚类知识演进图谱

Figure 4 The bibliometric map of knowledge evolution based on literature on mowing from 2000 to 2019

虽然美国、澳大利亚、加拿大、新西兰、英国及北非等草业大国对防护林的研究工作起步较早^[56],然而牧场主普遍认为草地防护林不仅没有带来经济效益,还降低了牧草播种、农药喷洒和收获作业的效率^[57]。因此世界范围对草牧放牧防护林技术的研究逐年降低。

我国是世界上营造防护林较早的国家之一,“三北”防护林工程的实施和“两屏三带”保护区的建立使我国草牧防护林的理论基础和技术水平不断

丰富并趋于完善。草牧防护林理论基础基于生态动力学原理,在区域尺度上的空间分布与景观格局、系统尺度上的林种配置与模式优化、林分尺度上的结构优化与树种选择以及不同类型草牧场防护林效益评价方面均处于世界领先。

2.2.5 生物饲料技术

发展生物饲料技术,能减少污染,缓解草地放牧压力,提高畜牧业抵御自然灾害的能力和提升饲料转化率,保证中国粮食安全^[58-59]。生物饲料技

术还具有节约粮食、缓解饲料资源匮乏、保障动物产品安全等特点。而中国利用生物饲料技术进行草地保护的发文量较少,无法进行文献聚类分析。依据饲料技术关键词检索到的329条检索记录进行文献计量分析得出,世界范围对饲料技术的研究主要集中在饲料作物的利用效率。近年来各国均加强对生物饲料技术的研究,进一步提高饲料的利用率(图5)。

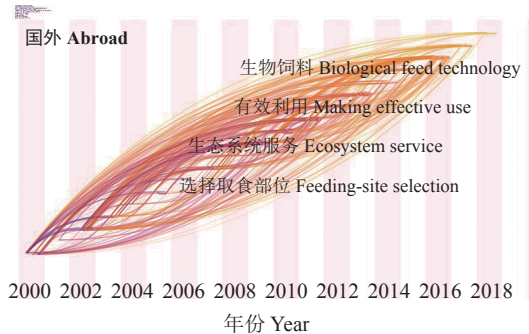


图5 2000–2019年饲料技术文献计量聚类知识演进图谱
Figure 5 The bibliometric map of knowledge evolution based on literature on feedstuff from 2000 to 2019

生物饲料技术主要向饲用酶、抗菌肽、饲用微生物制剂方向发展。这些生物产品由基因工程、蛋白质工程、发酵工程和生物提取等手段合成和开发^[60]。80%的饲用酶生产集中在丹麦诺维信公司和美国杰能科公司,欧盟、美国和日本在饲用微生物制剂研制方面遥遥领先^[61]。目前国际上加强对益生菌/菌剂型的研究,并采用研究真空冻干技术和微胶囊技术,来解决饲用生物产品在功能表达上存在的缺陷,以提高活菌浓度及其对不良环境的耐受力。

中国对饲料的研究发文量较少,但对饲用酶的研究已处于国际领先水平,如高表达的饲料用植酸酶不仅占据了国内80%以上的市场,还实现了出口,创造了巨大的社会效益和经济效益。国内对饲用微生物制剂的研究远落后于发达国家,中国研发的饲用微生物以芽孢杆菌(*Bacillus*)、乳酸杆菌(*Lactobacillus*)和酵母菌(*Saccharomycetes*)为主。而国外饲用微生物产品包括丙酸杆菌(*Propionibacterium*)、双歧杆菌(*Bifidobacterium*)、肠球菌(*Enterococcus*)、链球菌(*Streptococcus*)、芽孢杆菌(*Bacillus*)、埃氏巨球型菌(*Megasphaera elsdenii*)和布雷恩特普雷沃菌等(*Prevotella bryantii*)^[62-66]。中国对于抗菌肽的研

究仅刚起步。目前中国生物饲料在总体上还处于产品和技术引进为主,自主开发仅处于初期阶段,研究与产业化水平落后于发达国家^[67]。

针对中国生物饲料技术与国外的差距,未来研究重点应集中于:1)建立生物饲料菌种产品相关基因资源的高通量筛选技术和快速功能评估体系;2)提高菌种重组蛋白的活性,改善制品的稳定性等;3)加强生物饲料的推广,增强中国饲料行业和畜禽产品的市场竞争力。

2.2.6 围栏技术

21世纪初围栏技术研究的方向主要集中于草地植物多样性保护。随着围栏技术的广泛应用,如何降低成本逐渐成为围栏技术关注的焦点。2005年,世界各国首先尝试采用低成本、高强度的超级金属材料替代传统铁质围栏。之后开始尝试利用风能和太阳能驱动电子围栏来降低成本、提高便携度(图6)。中国鲜有对围栏技术的研究,天然草地围封主要以传统围栏为主。

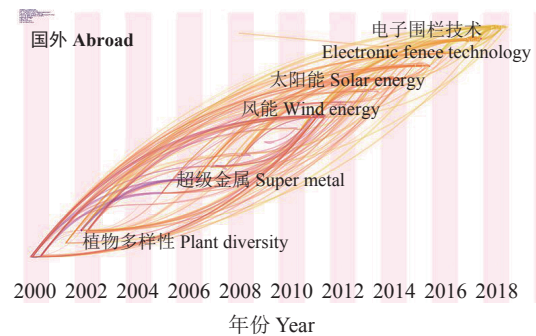


图6 2000–2019年围栏技术文献计量聚类知识演进图谱
Figure 6 The bibliometric map of knowledge evolution based on literature on fencing from 2000 to 2019

早在1886年美国人就采用了电围栏^[68]。电围栏的建立比传统围栏更加低廉、容易安装。无伤的电流能使家畜产生心理障碍,而非依靠围栏的物理保护。一旦家畜畏惧通电的围栏,就无需持续通电^[69]。然而,电围栏也存在不足之处。一方面,电围栏和传统围栏一样,会缠绕动物使其无法挣脱,严重时造成触电甚至死亡;另一方面,电围栏可截断动物的迁徙路线,将大型食草动物排除在重要资源之外,却能促使可跨越围栏的食草动物种群持续增长,甚至失去控制,造成植被破坏^[70-71]。

因为这些不利因素,便携式电围栏应运而生。

便携电围栏配备小型太阳能充电电池，可以在几分钟内快速安装、拆除和移动，并且防水^[68]。虽然便携式电围栏在一定程度上避免了野生动物的侵扰，但是不能彻底解决在复杂地形上使用的问题，并且需要一定成本。因此虚拟围栏技术应运而生。

虚拟围栏技术始于20世纪末，Marsh^[72]将全球定位系统(GPS)安装在动物身上获取位置信息，给予脱离规定范围的家畜使用声音和电击惩罚。早期的虚拟围栏系统用牛进行试验^[73]，对越界家畜直接采用声音和电击刺激^[74-75]。之后，澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)发明了自动化虚拟围栏演算法，在牲畜接近虚拟边界时发出声音警告，如果牲畜停止或转开，虚拟围栏不会施加电刺激，但如果继续向前，则会受到电击惩罚。然而家畜对声音和电击的应激反应有较大的个体差异，比如有些家畜在受到刺激后转头回去，有些则向前跑去^[76]。Anderson等^[77]为了使接近虚拟边界的家畜能够分辨出不同方向的刺激，发明了“耳圈”系统。目前，使用虚拟围栏技术对牛的管理逐渐趋臻完善，开始针对羊进行研究^[78-79]。然而，电和声音的刺激所造成家畜心理和身体的损伤，以及能源问题，均是该项技术的主要限制因素。在未来发展中，应该主要注意动物的训练方法和

解决电池续航问题。

围栏技术在中国用来保障草地管理政策的有效实施。目前主要以传统围栏为主，由木桩或钢铁固定，并用木板、铁丝或钢筋连接在一起以物理屏障限制家畜活动范围^[71]。传统围栏有很多缺点，除了受到成本和复杂地形的限制外，还能缠绕动物致死^[80]。中国在未来可以考虑推广清洁能源驱动的便携式电围栏。一方面可以节约放牧成本；另一方面还能在不使用时拆除，避免野生动物的隔离。

2.3 草地有害生物防治技术

草地有害生物防治的主要目标是预防和控制草地有害生物大量出现，避免或减轻草地植物遭受严重损失^[81]。由文献分析可知，自2000年起，世界范围和中国都将植物入侵作为研究重点。随着时间的发展，2011年起世界范围开始广泛研究生物防治技术。中国在近20年来主要致力于研究毒草和害虫的防治(图7)。

与世界范围相比，草地有害生物防治技术是中国草地保护研究的核心。中国在与病、虫、鼠、毒杂草等有害生物的斗争中积累了丰富的经验。中国草地有害生物防治技术比世界范围更加丰富，主要包括物理机械防治、生物防治、农业防治、抗性品种利用、植物检疫和化学防治技术。

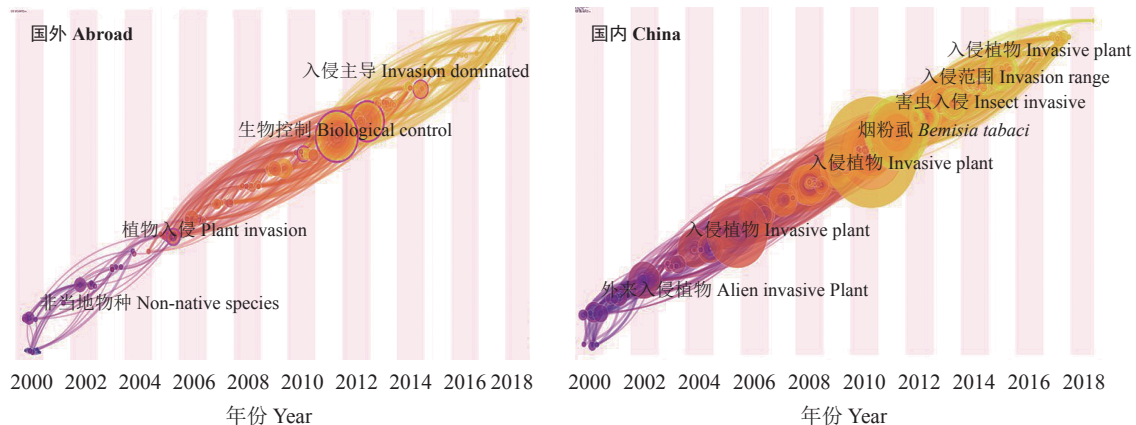


图7 2000–2019年有害生物防治技术文献计量聚类知识演进图谱

Figure 7 The bibliometric map of knowledge evolution based on literature on pest control from 2000 to 2019

2.3.1 草地毒害草

近年来中国毒草防治技术更新很快，生物防治技术以其环保的特点，逐渐取代人工拔除和化学防除^[82-83]，成为草地毒草防治技术的主流。其技术特点是利用植物间的相互竞争，引入天敌因子重

新建立有害生物与天敌之间的相互调节、相互制约机制抑制毒草的生长繁殖。例如我国草业专家利用黄花棘豆白粉病、锈病、狼毒栅锈菌，以及醉马草多种病害限制毒草的生长，防止毒草蔓延^[84-86]。但是如何精准施药是该类技术的难点，难以应对

大范围入侵的毒草。为了弥补该类技术缺陷,可以借鉴阿根廷采用最新的毒草防治技术,通过从毒草中提取的天然物质——砒吡草唑和苯嘧磺草胺,制成天然除草剂“Zidua”,能够大面积且较为精准地控制草地优势杂草的生长,达到以杂草控制杂草的目的。

2.3.2 草地虫害

中国当前普遍采用生物防治技术和物理机械技术治理草地虫害。运用肉毒素、鸟、蜘蛛、爬行和两栖动物等生物技术和施氮、刈割技术有效控制害虫^[87-89]。例如饲养1000只以上的雏鸡每天可治蝗10~13.3 hm²^[18]。修筑鸟巢招引粉红椋鸟栖息育雏,捕食蝗虫,控制蝗害效果十分明显,一次性投资,多年受益^[90]。然而上述方法对人力和资金的要求较高,不能适用大范围的草地。而利用微生物,包括病原菌、微孢子和昆虫痘病毒防治草地害虫是未来发展的方向。随着害虫致病菌、寄生虫筛选技术的进步,可以筛选出对害虫专一性、致病性、传染性强的病菌和寄生虫,更高效且广泛地控制虫害的发生。

2.3.3 草地鼠害

中国常用的灭鼠方法包括微生物灭鼠、天敌灭鼠、生态防治。生物和天敌灭鼠主要利用微生物给鼠接种使其产生某种疾病,在鼠类种群中传染引起鼠类大量死亡,从而达到灭鼠的目的,如含量为0.2%的C型肉毒素毒饵、肉抱虫属毒素应用于鼠害防治^[91]。天敌灭鼠是有意识的利用狐、虞、鼬、蛇等害鼠天敌捕捉和威慑作用来控制鼠害,如设立鹰墩和鹰架为隼及鸢形目猛禽提供落脚点,为其避敌及就近觅食提供有利条件,从而达到防治鼠害的目的^[92]。生态防治通过破坏鼠的栖居环境和食物条件,达到减少和控制鼠害的措施。可采用补播、浅耕翻、灌溉、施肥、划区放牧、围栏封育、调整载畜量等措施改良草地,防止草地退化,使之不利于鼠类栖息。这些措施通过间接改变鼠类生存环境,使其繁殖减少,死亡增加,从而达到降低鼠类密度,甚至从长远角度能根除鼠害^[93]。美国基于生物抗性假说(Biotic resistance hypothesis),通过在天然草地上斑块化引入长喙婆罗门参(*Tragopogon dubius*)有效抑制啮齿类动物的数量^[94]。依据这个原理,鼠用植物不育剂是一种新

型的防治鼠害的生物药剂,与化学灭鼠剂不同的是,它有很强地节制生育的功能,使雌雄两性的生殖器官遭受严重的破坏,可降低鼠类数量90%以上,达到控制鼠群数量防治鼠害的效果^[95]。

2.3.4 草地病害防治技术

草地病害主要采用农业防治、抗性品种利用和生物防治这3类技术。早在21世纪初,南志标^[96]就提出了通过抗病品种的利用和混播、焚烧、合理刈割等措施对草地持续管理,并辅以杀菌剂拌种和生物防治等措施,将病害控制在经济阈值水平之下,达到提高草地农业生态系统整体生产力和稳定性的目的。我国学者采用荧光假单胞拮抗菌(*Pseudomonas fluorescens*)防治沙打旺镰刀菌根腐病(*Fusarium spp.*)取得较好防治效果^[97]。美国学者采用杂草控制病害技术,从杂草提取联苯吡菌胺,推出叶面杀菌剂“Lucento”,有效地防治了草地植物叶片病害。

综上所述,目前有害生物防治技术的应用主要受到防治成本的影响,加上近年来劳工工资及物价上涨,投入的经费数量远不能满足草原虫灾、鼠害防治的需要,防治工作仅限于严重发生区,大面积未防区为次年鼠害的大发生埋下隐患。为了降低防治成本,应学习国外病、虫、鼠、草一体化防治技术,首先是卫星预警,采取定位观测、路线调查和常年观测相结合,实时评估灾情,及时发布预警信息,并且根据有害生物的规律,结合气象、植被等确定调查时间和范围,及时采取有效的防治方法。

3 总结与展望

联合国千年生态系统评估报告指出^[98]:草地生态系统提供的生态服务功能,如涵养水源、保持水土、防风固沙、生物多样,固碳和美化环境等,即使受到微小破坏,都会造成难以估量的损失。中国在草地保护近20年的发展已解决了诸多问题,但并未完全摆脱诸多因素造成的草地荒漠化,沙尘暴等生态灾难。国内外草地保护技术的发展虽然存在一定差别,但是技术发展始终朝向精准预测、精确调控、节能环保的方向发展,以尽可能小的环境代价增加粮食产量,重建已遭破坏的生态系统,降低温室气体排放。

基于上述对草地保护技术的发展现状分析,提

出如下建议:

1) 自然保护区向国家公园建设的发展过程中, 应继续发扬和挖掘 3S 技术对园内区域监管的实际作用, 并增加适用范围及精准度, 并身处实地摸清保护区资源类型和数量, 明确保护对象, 健全管理办法。

2) 栽培草地技术方面, 精准制定栽培草地的养分供给和生产力调控标准, 提高栽培草地资源利用效率和稳定性, 提高牧草种植的经济效益, 加大牧草种植推广力度。

3) 中国在生物饲料技术发展方面需要加大菌种

筛选的投资, 建立基因工程技术、蛋白质工程技术、发酵工程技术平台, 优化优良菌种的筛选, 以提高生物饲料的推广。

4) 围栏、刈割技术的发展应以节能环保为前提, 结合“5G”通信技术, 研发适合我国地理地形的智能刈割机。

5) 有害生物防治应以防为主, 采用卫星遥感和定位观测相结合, 控制有害生物的爆发。并时刻更新有害生物的发生规律, 结合气象、植被等因素确定调查时间和范围, 实时评估灾情, 制定防护方案。

参考文献 References:

- [1] 旭日干, 任继周, 南志标. 我国草地生态保障与粮食安全战略研究. 北京: 科学出版社, 2016.
XU R G, REN J Z, NAN Z B. Strategies and Policies to Ensure Grassland Ecology and Food Safety in China. Beijing: Science Press, 2016.
- [2] 谢国平, 呼天明, 王俭珍, 朱勇. 西藏草地生态现状分析与治理对策. 安徽农业科学, 2008, 36(19): 8260-8262.
XIE G P, HU T M, WANG Q Z, ZHU Y. Status analysis and control countermeasures on grassland ecology in Tibet. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(19): 8260-8262.
- [3] 陈怀斌. 肃南县天然草地主要鼠害种类、分布及发生面积. 青海草业, 2016, 25(3): 50-51.
CHEN H B. The main types of rat distribution and occurrence area in Su'n'an of natural grassland. Qinghai Prataculture, 2016, 25(3): 50-51.
- [4] 王虎威. 青海省不同生态区草地退化状况及定量评估研究. 西安: 陕西师范大学硕士学位论文, 2017.
WANG H W. Study on the status and quantitative evaluation of grassland degradation in different ecological zones in Qinghai Province. Master Thesis. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2017.
- [5] 布尔金, 赵澍, 何峰, 徐大伟, 朱小林, 李向林, 辛晓平. 新疆草地畜牧业可持续发展战略研究. 中国农业资源与区划, 2014, 35(3): 120-127.
BU E J, ZHAO S, HE F, XU D W, ZHU X L, LI X L, XIN X P. Sustainable development strategy study on Xinjiang's grassland animal husbandry. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(3): 120-127.
- [6] 姚小伟, 韩燕. 新疆草地类型的形成分布特征及目前存在的突出问题. 新疆畜牧业, 2008, 6: 57-58.
YAO X W, HAN Y. Forming and distributing characteristics of grassland types in Xinjiang and the outstanding problems. Xinjiang Xumuye, 2008, 6: 57-58.
- [7] 穆少杰, 朱超, 周可新, 李建龙. 内蒙古草地退化防治对策及碳增汇途径研究. 草地学报, 2017, 25(2): 217-225.
MU S J, ZHU C, ZHOU K X, LI J L. The preventive strategies of degradation and the approaches to enhance carbon sequestration ability in Inner Mongolia grassland. Acta Agrectir Sinica, 2017, 25(2): 217-225.
- [8] 阿丽玛古丽·胡拉太. 新疆草地资源存在的问题与对策. 畜牧兽医科技信息, 2017, 5(1): 130-131.
Alimaguli·Hulatai. Trouble and countermeasures of grassland resources in Xinjiang. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2017, 5(1): 130-131.
- [9] MARTIN P. The humbling of the NDRC: China's national development and reform commission searches for a new role amid restructuring. China Brief, 2014, 14(5): 14-18.
- [10] 韦惠兰, 祁应军. 中国草原问题及其治理. 中国草地学报, 2016, 38(3): 1-6.
WEI H L, QI Y J. Grassland problems and grassland governance in China. Chinese Journal of grassland, 2016, 38(3): 1-6.
- [11] QIU J. Trouble in Tibet. Nature, 2016, 529: 142-145.

- [12] 刘加文. 从“十三五”规划纲要看草原保护建设主要任务. 中国畜牧业, 2016, 10: 65-67.
LIU J W. The main tasks of grassland protection and construction are seen from the outline of the 13th five-year plan. *China Animal Industry*, 2016, 10: 65-67.
- [13] 刘长仲. 草地保护学. 北京: 中国农业大学出版社, 2015.
LIU C Z. *Grassland Conservation*. Beijing: China Agricultural University Press, 2015.
- [14] CHEN C M. Cascading citation expansion. *Journal of Information Science Theory and Practice*, 2018, 6(2): 6-23.
- [15] GUO Z L, CUI G. Establishment of nature reserves in administrative regions of mainland China. *PLoS One*, 2015, 10(3): 1-13.
- [16] HOWARD P C, DAVENPORT T R B, KIGENYI F W, VISKANIC P, BALTZER M C, DICKINSON C J, WANGA J, MATHEWS R A, MUPADA E. Protected area planning in the tropics: Uganda's national system of forest nature reserves. *Conservation Biology*, 2010, 14(3): 858-875.
- [17] 解焱, 汪松, PETER SCHEI. 中国的保护地. 北京: 清华大学出版社, 2004.
XIE Y, WANG S, SCHEI P. *China's Protected Area*. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [18] 刘方正, 崔国发. 国内外保护区管理有效性评价方法比较. 世界林业研究, 2013, 26(6): 33-38.
LIU F Z, CUI G F. Comparative study of methodologies for management effectiveness evaluation of protected areas in China and overseas. *World Forestry Research*, 2013, 26(6): 33-38.
- [19] ROUNSEVELL M D A, REGINSTER I, ARAUJO M B, CARTER T R, DENDONCKER N, EWERT F, HOUSEES J I, KANKAANPÄÄC S, LEEMANSF R, METZGERD M J, SCHMITA C, SMITHG P, TUCK G. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2006, 114(1): 57-68.
- [20] WAN S W, QIN P, LI Y, LIU X P. Wetland creation for rare waterfowl conservation: A project designed according to the principles of ecological succession. *Ecological Engineering*, 2001, 18(1): 115-120.
- [21] LIU J G, LI S X, OUYANG Z Y, TAM C, CHEN X D. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(28): 9477-9482.
- [22] ZHOU D M, GONG H L, LIU Z L. Integrated ecological assessment of biophysical wetland habitat in water catchments: Linking hydro-ecological modelling with geo-information techniques. *Ecological Modelling*, 2008, 214(2/4): 411-420.
- [23] ZHOU D M, GONG H L, LUAN Z, HU J, WU F. Spatial pattern of water controlled wetland communities on the Sanjiang Floodplain, Northeast China. *Community Ecology*, 2006, 7(2): 223-234.
- [24] GUO X J, SHAO Q Q, LI Y Z, WANG Y C, WANG D L, LIU J Y, FAN J W, YANG F. Application of UAV remote sensing for a population census of large wild herbivores-taking the headwater region of the Yellow River as an example. *Remote Sensing*, 2018, 10(7): 2-15.
- [25] QIAN D W, CAO G M, DU Y G, LI Q, GUO X W. Impacts of climate change and human factors on land cover change in inland mountain protected areas: a case study of the Qilian Mountain National Nature Reserve in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, 191(8): 468.
- [26] TIAN Y L, WANG Z M, MAO D H, LI L, LIU M Y, JIA M M, MAN W D, LU C Y. Remote observation in habitat suitability changes for waterbirds in the west Songnen Plain, China. *Sustainability*, 2019, 11(6): 2-21.
- [27] 邵全琴, 曹巍, 樊江文, 黄麟, 徐新良. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估. 地理学报, 2017, 71(1): 3-34.
SHAO Q Q, CAO W, FAN J W, HUANG L, XU X L. Effects of an ecological conservation and restoration project in the Three-River Source Region, China. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 71(1): 3-34.
- [28] 刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 三江源生态工程的生态成效评估与启示. 自然杂志, 2013, 35(1): 40-46.
LIU J Y, SHAO Q Q, FAN J W. Ecological construction achievements assessment and its revelation of ecological project in Three Rivers Headwaters Region. *Chinese Journal of Nature*, 2013, 35(1): 40-46.
- [29] 杜青林. 草业的可持续发展战略. 中国畜牧业, 2006, 13: 16-18.
DU Q L. Sustainable development strategy of grass industry. *China Animal Industry*, 2006, 13: 16-18.
- [30] 金昌杰, 王安志, 范志平, 刘志明, 关德新. 中国半干旱草原的恢复治理与可持续利用, 北京: 科学出版社, 2012.
JIN C J, WANG A Z, FAN Z P, LIU Z M, GUAN D X. *Management and Sustainable Utilization of Semi-arid Grassland in China*. Beijing: Science Press, 2012.

- [31] BRUELHEIDE H, FLINTROP T. Evaluating the transplantation of a meadow in the Harz Mountains, Germany. *Biological Conservation*, 2000, 92: 109-120.
- [32] SCHINDLER D E. Ecological Stoichiometry: The biology of elements from molecules to the biosphere. // STERNER R W, JAMES J E. (eds). *The Quarterly Review of Biology*. New Jersey: Princeton University Press, 2003: 501.
- [33] HOOPER D U, ADAIR E C, CARDINALE B J, BYRNES J E K, HUNGATE B A, MATULICH K L, GONZALEZ A J, DUFFY E, GAMFELDT L, CONNOR M. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 2012, 486: 105-129.
- [34] LI W H, XU F W, ZHENG S W, TAUBE F, BAI Y F. Patterns and thresholds of grazing-induced changes in community structure and ecosystem functioning: Species-level responses and the critical role of species traits. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(3): 963-975.
- [35] BELL C, CARRILLO Y, BOOT C M, ROCCA J D, PENDALL E, WALLENSTEIN M D. Rhizosphere stoichiometry: Are C : N : P ratios of plants, soils, and enzymes conserved at the plant species-level? *New Phytologist*, 2014, 201(2): 505-517.
- [36] POPP D, VON GILLHAUSSEN P, WEIDLICH E W A, STRAUBERH, HARMSH, TEMPERTON V M. Methane yield of biomass from extensive grassland is affected by compositional changes induced by order of arrival. *Global Change Biology Bioenergy*, 2017, 9(10): 1555-1562.
- [37] FRENCH K E. Assessing the bioenergy potential of grassland biomass from conservation areas in England. *Land Use Policy*, 2019, 82: 700-708.
- [38] JUNGERS J M, FARGIONE J E, SHEAFFER C C, WYSE D L, LEHMAN C. Energy potential of biomass from conservation grasslands in Minnesota, USA. *PLoS One*, 2013, 8(4): 1-11.
- [39] 程荣香, 张瑞强. 发展节水灌溉是我国干旱半干旱草原区人工草地建设的必然举措. *草业科学*, 2000, 17(2): 53-56.
CHENG R X, ZHANG R Q. Shape index and its ecological significance in salinized meadow landscape. *Pratacultural Science*, 2000, 17(2): 53-56.
- [40] 郑伟, 朱进忠, 加娜尔古丽, 李海, 张景路. 不同混播方式对豆禾混播草地生产性能的影响. *中国草地学报*, 2011, 33(5): 45-52.
ZHENG W, ZHU J Z, Jianaerguli, LI H, ZHANG J L. Effects of different mixed sowing patterns on production performance of legume-grass mixture. *Chinese Journal of Grassland*, 2011, 33(5): 45-52.
- [41] 张金旭, 马玉寿, 施建军, 王彦龙, 汪海波, 盛丽. 刈割对江河源区混播草地牧草产量及品质的影响. *草业科学*, 2010, 27(1): 92-96.
ZHANG J X, MA Y T, SHI J J, WANG Y L, WANG H B, SHENG L. Effects of clipping on forage yield and quality of mixed-sown artificial grassland in Yangtze and Yellow river headwater region. *Pratacultural Science*, 2010, 27(1): 92-96.
- [42] 白永飞, 玉柱, 杨青川, 万宏伟, 黄建辉, 纪宝明, 李昂. 人工草地生产力和稳定性的调控机理研究: 问题、进展与展望. *科学通报*, 2018, 63(5/6): 511-520.
BAI Y F, YU Z, YANG Q C, WAN H W, HUANG J H, JI B M, LI A. Mechanisms regulating the productivity and stability of artificial grasslands in China: Issues, progress, and prospects. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(5/6): 511-520.
- [43] 白永飞, 潘庆民, 邢旗. 草地生产与生态功能合理配置的理论基础与关键技术. *科学通报*, 2016, 61(2): 201-212.
BAI Y F, PAN Q M, XING Q. Fundamental theories and technologies for optimizing the production functions and ecological functions in grassland ecosystems. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(2): 201-212.
- [44] HANSSON M, FOGELFORS H. Management of a semi-natural grassland; results from a 15-year-old experiment in southern Sweden. *Journal of Vegetation Science*, 2000, 11(1): 31-38.
- [45] KAHMEN S, POSCHLOD P, SCHREIBER K F. Conservation management of calcareous grasslands. Changes in plant species composition and response of functional traits during 25 years. *Biological Conservation*, 2002, 104(3): 319-328.
- [46] PETER M, GIGON A, EDWARDS P J, LUESCHER A. Changes over three decades in the floristic composition of nutrient-poor grasslands in the Swiss Alps. *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18(3): 547-567.
- [47] OELMANN Y, BROLL G, HOELZEL N, KLEINEBECKER T, VOGEL A, SCHWARTZE P. Nutrient impoverishment and limitation of productivity after 20 years of conservation management in wet grasslands of north-western Germany. *Biological Conservation*, 2009, 142(12): 2941-2948.

- [48] HEJCMAN M, HEJCMANOVA P, PAVLU V, BENES J. Origin and history of grasslands in Central Europe-a review. *Grass and Forage Science*, 2013, 68(3): 345-363.
- [49] SONG M, KABIR M S N, CHUNG S O, KIM Y J, HA J K, LEE K H. Path planning for autonomous lawn mower tractor. *Journal of Agricultural Science*, 2015, 42(1): 63-71.
- [50] ZHOU J H, ZHOU J Q, ZHENG Y S, KONG B. Research on path planning algorithm of intelligent mowing robot used in large airport lawn. // 2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISIA). Hong Kong: IEEE Computer Society, 2016: 375-379.
- [51] ZHOU J H, ZHOU J Q, ZHANG X Y, KONG B. Research on a new large mowing robot and path planning based on GPS-RTK. // 2017 3rd International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM 2017). Shenzhen: Atlantis Press, 2018: 1604-1610.
- [52] MWILAWA A J, KOMWIHANGILO D M, KUSEKWA M L. Conservation of forage resources for increasing livestock production in traditional forage reserves in Tanzania. *African Journal of Ecology*, 2008, 46(1): 85-89.
- [53] 宋月鹏, 张韬, 樊桂菊, 高东升, 王征, 高雪. 国内外果园生草技术及其刈割机械的研究进展. *中国农机化学报*, 2017, 38(5): 111-117.
SONG Y P, ZHANG T, FAN G J, GAO D S, WANG Z, GAO X. Research progress of domestic and foreign growing grass technologies and cutting machines in orchard. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2017, 38(5): 111-117.
- [54] 段文标, 赵雨森, 陈立新. 草牧场防护林综合效益研究综述. *山地学报*, 2002, 20(1): 90-96.
DUAN W B, CHAO Y L, CHEN L X. A study on the synthetic effect of pastureland shelterbelt. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(1): 90-96.
- [55] BRANDLE J R, HODGES L, ZHOU X H. Windbreaks in north American agricultural systems. *Agroforestry Systems*, 2004, 61/62(1/3): 65-78.
- [56] 曹新孙, 陶玉英. 农田防护林国外研究概况. 北京: 科学出版社, 1981.
CAO X S, TAO Y Y. Overview of Foreign Research on Farmland Shelterbelt. Beijing: Science Press, 1981.
- [57] KULSHRESHTHA S, REMPEL J. Shelterbelts on Saskatchewan Farms: An Asset or Nuisance. New York: Nova Publishers, 2014: 37-45.
- [58] 赵云, 谢开云, 万江春, 张英俊. 粮草兼顾型畜牧业饲草料发展现状及展望. *草业科学*, 2017, 34(3): 653-660.
ZHAO Y, XIE K Y, WAN J C, ZHANG Y J. Development and prospects of 'grain-forage supply' in modern animal husbandry. *Pratacultural Science*, 2017, 34(3): 653-660.
- [59] 方精云, 白永飞, 李凌浩, 蒋高明, 黄建辉, 黄振英, 张文浩, 高树琴. 我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践. *科学通报*, 2016, 62(2): 155-164.
FANG J Y, BAI Y F, LI L H, JIANG G M, HUANG J H, HUANG Z Y, ZHANG W H, GAO S Q. Scientific basis and practical ways for sustainable development of China's pasture regions. *China Science Bulletin*, 2016, 62(2): 155-164.
- [60] 景耀辉, 马伟林, 马建武. 生物饲料对不同品种肉牛肉质的影响. *中国畜牧兽医文摘*, 2018, 34(5): 233-235.
JING Y H, MA L L, MA J W. Effects of biological feed on meat quality of beef cattle of different breeds. *Chinese Abstracts of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018, 34(5): 233-235.
- [61] 赵天智. 生物饲料及其添加剂的研究与开发应用. 重庆: 中国农学会, 中国畜牧兽医学会, 2004.
ZHAO T Z. Development and application of biological feed and its additives. Chongqing: China Association of Agricultural Science Societies, Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2004.
- [62] LIU J J, LIU X P, REN J W, ZHAO H Y, YUAN X F, WANG X F, SALEMD A Z M, CUI Z J. The effects of fermentation and adsorption using lactic acid bacteria culture broth on the feed quality of rice straw. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(3): 503-513.
- [63] COELHO M M, GONCALVESO L C, SANTOS RODRIGUES J A, KELLER K M, DE SOUZA DOS ANJOSO GV, OTTONI D, PEDRO HENRIQUE FULGÊNCIO MICHEL, DIOGO GONZAGA JAYME. Chemical characteristics, aerobic stability, and microbiological counts in corn silage re-ensiled with bacterial inoculant. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2018, 53(9): 1045-1052.
- [64] LARA E C, BRAGIATO U C, RABELO C H S, MESSANA J D, SOBRINHO A G S, REIS R A. Inoculation of corn silage with

- Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* associated with amylolytic enzyme supply at feeding. Growth performance and carcass and meat traits of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 243: 112-124.
- [65] LI D X, NI K K, ZHANG Y C, LIN Y L, YANG F Y. Influence of lactic acid bacteria, cellulase, cellulase-producing *Bacillus pumilus* and their combinations on alfalfa silage quality. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(12): 2768-2782.
- [66] ELGHANDOUR M M Y, SALEM A Z M, CASTANEDA J S M, CAMACHO L M, KHOLIF A E, VAZQUEZ CHAGOYAN J C. Direct-fed microbes: A tool for improving the utilization of low quality roughages in ruminants. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(3): 526-533.
- [67] 蔡辉益, 刘世杰, 邓雪娟, 刘晶晶, 程善燕. 生物饲料团体标准开启产业健康发展新时代. *中国畜牧杂志*, 2018, 54(9): 138-141.
CAI H Y, LIU S J, DENG X J, LIU J J, CHENG S Y. Biofeed group standards open a new era of healthy development of industries. *Chinese Journal of Animal Science*, 2018, 54(9): 138-141.
- [68] MORGAN N B. The role of portable electric fencing in biodiversity-friendly pasture management. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2016, 31(1): 2-8.
- [69] CHEN M Y, SHI J P. Effect of rotational grazing on plant and animal production. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2017, 15(2): 393-406.
- [70] BOONE R B, HOBBS N T. Lines around fragments: effects of fencing on large herbivores. *Proceedings of the Annual Congresses of the Grassland Society of Southern Africa*, 2004, 21(3): 147-158.
- [71] UMSTATTER C. The evolution of virtual fences: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(1): 10-22.
- [72] MARSH R E. United STATES Patent-US5868100, Fenceless animal control system using GPS location information, Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office, 1999.
- [73] BUTLER Z, CORKE P, PETERSON R, RUS D. From robots to animals: Virtual fences for controlling cattle. *International Journal of Robotics Research*, 2006, 25(5/6): 485-508.
- [74] BISHOP-HURLEY G J, SWAIM D L, ANDERSON D M, SIKKA P, CROSSMAN C, CORKE P. Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007, 56(1): 14-22.
- [75] LEE C, FISHER A D, REED M T, HENSHALL J M. The effect of low energy electric shock on cortisol, beta-endorphin, heart rate and behaviour of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 2008, 113(1/3): 32-42.
- [76] LEE C, HENSHALL J M, WARK T J, CROSSMAN C C, REED M T, BREWER H G, O'GRADY J, FISHER A D. Associative learning by cattle to enable effective and ethical virtual fences. *Applied Animal Behaviour Science*, 2009, 119(1/2): 15-22.
- [77] ANDERSON S A J, ANDERSON W R, HOLLIS J J, BOTHA E J. A simple method for field-based grassland curing assessment. *International Journal of Wildland Fire*, 2011, 20(6): 804-814.
- [78] MARINI D, LLEWELLYN R, BELSON S, LEE C. Controlling within-field sheep movement using virtual fencing. *Animals*, 2018, 8(3): 31-41.
- [79] MARINI D, MEULEMAN M D, BELSON S, RODENBURG T B, LLEWELLYN R, LEE C. Developing an ethically acceptable virtual fencing system for sheep. *Animals*, 2018, 8(3): 33-40.
- [80] HARRINGTON J L, CONOVER M R. Characteristics of ungulate behavior and mortality associated with wire fences. *Wildlife Society Bulletin*, 2006, 34(5): 1295-1305.
- [81] 尚占环, 董全民, 施建军, 周华坤, 董世魁, 邵新庆, 李世雄, 王彦龙, 马玉寿, 丁路明, 曹广民, 龙瑞军. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近10年研究进展-兼论三江源生态恢复问题. *草地学报*, 2018, 26(1): 1-21.
SHANG Z H, DONG Q M, SHI J J, ZHOU H K, DONG S K, SHAO X Q, LI S X, WANG Y L, MA Y T, DING L M, CAO G M, LONG R J. Research progress in recent ten years of ecological restoration for “black soil land” degraded grassland on Tibetan Plateau-concurrently discuss of ecological restoration in Sanjiangyuan region. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(1): 1-21.
- [82] 赵宝玉, 刘忠艳, 万学攀, 霍星华, 郭玺, 王建军, 刘忠艳, 孙莉莎, 史志诚. 中国西部草地毒草危害及治理对策. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3094-3103.
ZHAO B Y, LIU Y Z, WAN X P, HUO X H, GUO X, WANG J J, LIU Z Y, SUN L S, SHI Z C. Damage and control of poisonous-weeds in Chinese western grassland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3094-3103.
- [83] 吴国林, 魏有海. 青海草地毒草狼毒的发生与防治对策. *青海农林科技*, 2006(2): 63-64.

- WU G L, WEI Y H. Occurrence and control measure on *Stellera chamaejasme* in Qinghai grassland. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2006(2): 63-64.
- [84] 马占鸿, 田乃祥, 赵桢梅. 毒草黄花棘豆上新发现的两种病害. 植物保护, 1991, 17(3): 51-52.
MA Z H, TIAN N Y, ZHAO Z M. Two newly discovered diseases of the poisonous herb *echinacea japonicum*. Plant Protection, 1991, 17(3): 51-52.
- [85] 姚拓, 寇建村, 刘英. 狼毒栅锈病调查及其用于控制狼毒的初步研究. 中国生物防治, 2004, 20(2): 142-144.
YAO T, KOU J C, LIU Y. *Stellera chamaejasme* rust disease caused by *melampsora stelleriae*. Chinese Journal of Biological Control, 2004, 20(2): 142-144.
- [86] 李春杰, 高嘉卉, 马斌. 我国醉马草的几种病害. 草业科学, 2003, 20(11): 51-53.
LI C J, GAO J H, MA B. Seven diseases of drunken horse grass (*Achnatherum inebrians*) in China. Pratacultural Science, 2003, 20(11): 51-53.
- [87] 洪军, 尕旭疆, 林峻, 张焕强. 我国天然草原鼠害分析及其防控. 中国草地学报, 2014, 36(3): 1-4.
HONG J, YUN X J, LIN J, ZHANG H Q. Pest rodents damages analysis and control in natural grassland of China. Chinese Journal of Grassland, 2014, 36(3): 1-4.
- [88] 杨爱莲. 2001年我国草地鼠虫害控灾对策. 中国草地学报, 2001, 23(3): 70-72.
YANG A L. Tentative countermeasures to control rats and pests on grassland in 2001. Chinese Journal of Grassland, 2001, 23(3): 70-72.
- [89] LIU Y Z, MA G G, ZAN Z M, CHEN A Q, MIAO Y, WANG D, MIAO R H. Effects of nitrogen addition and mowing on rodent damage in an Inner Mongolian steppe. Ecology and Evolution, 2018, 8(8): 3919-3926.
- [90] 熊玲. 新疆草原以生物防治为主的蝗虫综合防治技术应用. 新疆畜牧业, 2011(3): 59-63.
XIONG L. Application of integrated locust control technology in grassland in Xinjiang. Xinjiang Xumuye, 2011(3): 59-63.
- [91] 熊玲. 新疆草原鼠害综合防治技术应用. 新疆畜牧业, 2011(6): 58-60.
XIONG L. Application of integrated pest control technology in Xinjiang grassland. Xinjiang Xumuye, 2011(6): 58-60.
- [92] 阿德克·乌拉孜汗. 新疆阿勒泰地区主要草地害鼠的危害及防治. 新疆畜牧业, 2011(4): 58-61.
Adeke·Wulazihan. The harm and control of rodent in main grassland in Altay region of Xinjiang. Xinjiang Xumuye, 2011(4): 58-61.
- [93] 陈立坤. 川西北草原鼠类危害特点及防治技术. 四川草原, 2004, 11: 44-45.
CHEN L K. Pest characteristics and control techniques of rodents in grassland in northwest Sichuan. Journal of Sichuan Grassland, 2004, 11: 44-45.
- [94] PEARSON D E, POTTER T, MARON J L. Biotic resistance: exclusion of native rodent consumers releases populations of a weak invader. Journal of Ecology, 2012, 100(6): 1383-1390.
- [95] 杨帆. 印谏油两性不育灭鼠颗粒剂的研制与质量标准及其药效学研究. 雅安: 四川农业大学硕士学位论文, 2010.
YANG F. Research on the preparation of the neem oil granules for rodents' Ambisexual sterility and study on its quality standard and pharmacodynamics. Master Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2010.
- [96] 南志标. 我国的苜蓿病害及其综合防治体系. 动物科学与动物医学, 2001, 18(4): 1-4.
NAN Z B. Alfalfa disease and its comprehensive control system in China. Animal Science and Veterinary Medicine, 2001, 18(4): 1-4.
- [97] 郑双悦, 潘建梅, 谢秉仁, 解克绵, 于景瑞. 沙打旺根腐病及其防治. 中国草地, 2004, 26(4): 57-61.
ZHENG S Y, PAN J M, XIE B R, XIE K M, YU J R. Studies on the control of root rot of *Astragalus adsurgens* pall. Grassland of China, 2004, 26(4): 57-61.
- [98] 祀人. 联合国《千年生态系统评估报告》指出地球生态堪忧. 生态经济, 2005, 7(1): 8-11.
SI R. The united nations millennium ecosystem assessment ecological economy point out glob ecosystem in trouble. Ecological Economy, 2005, 7(1): 8-11.

(责任编辑 王芳)