

• 导读 •

北方草甸和草甸草原生态恢复的理论、技术与实践

唐华俊¹, 辛晓平¹, 李向林², 闫玉春¹, 李凌浩³, 王德利⁴, 周延林⁵, 王明玖⁶, 周道玮⁷, 崔国文⁸

(¹中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; ²中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; ³中国科学院植物研究所, 北京 100093; ⁴东北师范大学草地研究所, 长春 130024; ⁵内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; ⁶内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019; ⁷中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; ⁸东北农业大学动物科学技术学院, 哈尔滨 150030)

Theory, Technology and Practice of Ecological Restoration of Meadow and Meadow Steppe in Northern China

TANG HuaJun¹, XIN XiaoPing¹, LI XiangLin², YAN YuChun¹, LI LingHao³, WANG DeLi⁴, ZHOU YanLin⁵,
WANG MingJiu⁶, ZHOU DaoWei⁷, CUI GuoWen⁸

(¹Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ²Institute of Animal Science of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193; ³Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093; ⁴Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024; ⁵School of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021; ⁶College of Ecology Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019; ⁷Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102; ⁸College of Animal Science and Technology, Northeast Agriculture University, Harbin 150030)

草地是主要的陆地生态系统类型之一, 全球草地总面积占陆地面积的 22%—25%^[1]。草地不但是重要的牧草生产基地, 每年提供 25—30 亿吨干物质, 而且是最主要的陆地碳库, 草地生态系统碳储量约 650—810 PgC, 占全球陆地生态系统的 37%, 其中 90% 以上储存在土壤中^[2-5]。草地也是受人类干扰最剧烈的自然生态系统之一, 尤其是开垦和放牧活动, 对草地生态系统产生了深刻的影响。同时, 草地生态系统大多位于干旱半干旱地区, 对气候变化比较敏感, 是荒漠化潜势最强烈的生态系统类型之一^[6-7]。由于上述原因, 草地生态系统退化、恢复机制的理论研究, 以及退化草地的生态修复技术研究, 成为生态学历久弥新的研究命题。

我国是草地资源大国, 草地占国土总面积的 41.7%、占全球草地面积的 11%。我国也是草地退化形势最为严峻的国家, 草地开垦、过度放牧, 导致草

地生态功能衰退和丧失, 气候灾害和鼠虫等生物灾害频率增高, 牧草质量和生产能力下降^[8-9]。近年来, 随着草地退化带来的生态灾难和生产损失逐渐增加, 各级政府部门和科技界对草地生态退化机理、恢复治理技术十分关注, 取得了一系列研究进展。“十一五”以来, 国家科技支撑计划、国家重点研发计划相继启动了“典型脆弱生态系统重建技术开发”“典型脆弱生态修复与保护研究”等重点专项, 开展了退化生态系统修复保护的理论和探索^[10-11]。其中“北方草甸退化草地治理技术与示范”是“十三五”国家重点研发计划生态专项第一批启动的任务之一, 以我国北方半湿润半干旱区草甸和草甸草原生态系统为研究对象, 着眼于生态文明建设和草原生态保护的战略需求, 针对北方草甸和草甸草原退化机理、恢复机制和治理技术、后修复阶段生态产业技术创新等三个方面开展研究, 创建系统性、可移植的退化草甸和草甸草原治理

收稿日期: 2020-06-25; 接受日期: 2020-07-02

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0500600)、国家自然科学基金面上项目 (31971769)、国家重点研发计划-中美政府间合作项目 (2017YFE0104500)、现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-34-11)

联系方式: 唐华俊, E-mail: tanghuajun@caas.cn

技术体系与模式,为我国草原畜牧业与生态环境和谐发展、牧民致富和稳定增收提供技术支撑^[12]。

北方草甸和草甸草原是位于半湿润半干旱地区的主要草地生态系统类型,草甸草原是地带性草地植被,集中分布在年降水 350—500 mm 的气候地带,包括内蒙古东部、东北平原等半湿润半干旱地区;草甸是非地带性草地植被,在干旱、半干旱与半湿润气候区域均有分布,只要局部地形低洼、土壤水分含量较高均可发育成草甸^[13]。北方草甸和草甸草原总面积 0.4 亿公顷,占整个北方温带草地面积的 25%,是中国北方草原水分条件最好的区域,土壤以暗栗钙土、黑钙土、草甸土为主,土壤腐殖质远高于其他类型草地,土壤碳密度是典型草原的 2—3 倍、荒漠草原的 6—10 倍。北方草甸和草甸草原植物多样性丰富,每平方米物种数 25—40 种,总物种数 1 400—1 600 种;草地生产力高,一般在 1 500—2 500 kg·hm⁻²,是典型草原的 2—3 倍、荒漠草原的 4—6 倍。北方草甸和草甸草原的家畜承载力约为 6 000 万只羊单位,占整个北方温带草原的 58%^[13-14]。相对于干旱半干旱区分布的典型草原和荒漠草原,草甸和草甸草原由于水分条件好、生产力高,其利用方式更加多元,利用强度大,退化过程和机制更加复杂^[15]。但由于高生产力、高多样性的表现特征,北方草甸和草甸草原退化隐蔽性强,生产力下降 50% 仍然高于典型草原,其退化程度往往与人们认识存在偏差,实际退化程度往往被低估^[12]。北方草甸和草甸草原的退化和恢复研究比较薄弱,在本项目立项之前,没有形成针对性的草甸草原退化标准和恢复理论,也没有形成完整的生态治理和持续利用技术体系,制约了北方草甸和草甸草原生态修复及其高生产力优势的发挥。另一方面,由于自然条件比较优越,退化草甸和草甸草原恢复潜力和利用空间远大于其他草原类型,生态修复及后续产业建设会达到事半功倍的效果。

针对北方草甸和草甸草原的上述特征,本项目联合国内 18 家同行机构、主要技术骨干近百人,针对北方草甸和草甸草原的退化机制、恢复技术及其原理、后修复阶段生态产业发展进行了 5 年联合攻关,理论上探索了多元利用途径和气候变化共同作用下北方草甸及草甸草原的退化机理,建立了北方草甸和草甸草原退化等级评估体系,提出了我国草甸退化草地的系统性恢复理论及生态恢复治理的技术原理;技术上以呼伦贝尔、锡林郭勒、科尔沁、松嫩平原、寒地黑土区等典型区域草甸草地为对象,研发区域差异化的恢

复治理技术,重点突破群落优化配置、生态系统功能提升等关键共性技术,建立各区域生态恢复治理技术标准与配套模式^[16-17];应用上从修复后生态系统稳定性维持及替代产业持续发展的需求出发,构建生态富民的产业技术体系与优化模式,促进北方草甸草地区域新兴生态产业带的发展^[16-18]。

本专刊主要介绍项目相关研究成果。专刊收录了退化草地系统性恢复的理论框架、草甸草原退化过程与机制、草甸草原恢复技术及原理、退耕地恢复技术与原理、生态产业示范及区域尺度分析等 5 个研究栏目共 21 篇研究论文。退化草地系统性恢复理论框架方面,王德利等^[19]分析总结了草地退化和恢复的理论发展历程,提出了退化草地的系统性恢复的概念,即通过构建基本的草地关键组分,激发草地生态系统自组织过程,实现以系统稳定平衡和多功能协同为目标的生态恢复,丰富和发展了草地恢复的一般性理论。杨允菲等^[20]基于表型与遗传分化理论,探讨了草甸和草甸草原主要优势种羊草在中国草原的扩散途径,为羊草退化草地恢复中群落构建研究提供重要参考。草甸草原退化过程与机制方面,报道了放牧、刈割及盐胁迫下草甸草原群落特征与多样性、生理生态特征、功能性状及营养品质的响应^[21-25]。草甸草原恢复技术及原理方面,报道了退化草地恢复过程中,群落生产力、物种多样性及土壤微生物等对养分添加和刈割留茬高度等改良培育措施的响应^[26-29]。退耕地恢复技术与原理方面,李强等^[30]报道了退耕地恢复重建中品种选择及组合的生态影响及其潜在生理机制,巩皓等^[31-34]报道了不同植被和土壤管理措施下,退耕地栽培草地从牧草生产性能、营养品质到土壤有机碳和微生物过程,以及草甸草原区退耕地的牧草-水分-氮肥耦合机制。生态产业示范及区域尺度分析方面,刘欣超等^[35]基于全生命周期分析(LCA)方法,对天然草场修复、后续生态草牧业建立及产业示范过程中的经济环境综合效益进行了定量评估,为后修复阶段生态产业发展提供理论基础;朱晓昱等^[36-39]分别从呼伦贝尔草原、内蒙古草原、半干旱区天然草原、北方草原及农牧交错带等多个尺度,探讨了草地生态系统大尺度过程及其与气候变化和人类活动的相互作用,为退化草地恢复技术模式在不同区域的应用、复制和推广提供宏观支持。

本专刊针对以往对北方草甸和草甸草原退化恢复研究关注不足的问题,集中报道了草甸退化草地恢复的理论和技术进展,有助于全面理解退化草地恢复机制和方法,促进草地恢复生态学的完善和发展。

致谢: 感谢“北方草甸退化草地治理技术与示范”项目跟踪专家李秀彬、赵学勇、徐安凯、杨允菲、刘永志、张英俊对本项目给予的指导, 感谢项目办公室及各课题负责人和研究骨干在本项目实施过程中给予的支持, 感谢本项目所有参加人员的辛苦付出。

References

- [1] 《中国资源科学百科全书》编辑委员会. 中国资源科学百科全书. 北京: 中国大百科全书出版社, 2000.
Editorial Committee of China Encyclopedia of Resources Science. *China Encyclopedia of Resource Science*. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 2000. (in Chinese)
- [2] 刚成诚. 全球草地生产力时空动态定量评估及其驱动因素分析[D]. 南京: 南京大学, 2015.
GANG C C. Spatial-temporal dynamic quantitative assessment of global grassland productivity and its driving factors analysis[D]. Nanjing: Nanjing University, 2015. (in Chinese)
- [3] 吕超群, 孙书存. 陆地生态系统碳密度格局研究概述. 植物生态学报, 2004, 28(5): 692-703.
LÜ C Q, SUN S C. A review on the distribution patterns of carbon density in terrestrial ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 692-703. (in Chinese)
- [4] PARTON W J, SCURLOCK J M O, OJIMA D S, GILMANOV T G, SCHOLLES R J, SCHIMEL D S. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 785-809.
- [5] PARTON W J, SCURLOCK J M O, OJIMA D S, SCHIMEL D S, VEEN J A V. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. *Global Change Biology*, 1995, 1(1): 13-22.
- [6] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. 中国农业科学, 1997, 30(6): 1-9.
LI B. The rangeland degradation in North China and its preventive strategy. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(6): 1-9. (in Chinese)
- [7] 张振锋, 游广永, 张瑞芳, 代磊强, 赵元杰. 我国草原生态系统退化与恢复研究的进展与启示. 安徽农业科学, 2009(20): 279-281+295.
ZHANG Z F, YOU G Y, ZHANG R F, DAI L Q, ZHAO Y J. Inspirations and progresses on research of degradation and restoration of grassland ecosystem in China. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009(20): 279-281+295. (in Chinese)
- [8] 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 李波, 黄永梅, 龚吉蕊. 中国草原的困境及其转型. 科学通报, 2016, 61(2): 165-177.
ZHANG X S, TANG H P, DONG X B, LI B, HUANG Y M, GONG J R. The dilemma of steppe and its transformation in China. *Science China Press*, 2016, 61(2): 165-177. (in Chinese)
- [9] 任继周, 沈禹颖. 我国草地资源面临的生态危机及对策. 农业现代化研究, 1990(3): 13-16.
REN J Z, SHEN Y Y. Ecological crisis of grassland resources in China and its countermeasures. *Research of Agricultural Modernization*, 1990(3): 13-16. (in Chinese)
- [10] 袁吉有, 欧阳志云, 郑华, 徐卫华. 中国典型脆弱生态区生态系统管理初步研究. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(127): 97-99.
YUAN J Y, OUYANG Z Y, ZHENG H, XU W H. Preliminary study on ecosystem management of typically fragile ecological region in China. *China Population, Resources And Environment*, 2011, 21(127): 97-99. (in Chinese)
- [11] 佚名. 典型脆弱生态修复项目有哪些?. 中国生态文明, 2016(2): 75.
YI M. What are the typical fragile ecological restoration projects. *China's Ecological Civilization*, 2016(2): 75. (in Chinese)
- [12] 唐华俊, 辛晓平, 李凌浩, 王德利, 闫玉春, 周延林, 王明玖, 周道玮, 崔国文, 李向林, 闫瑞瑞, 陈宝瑞, 徐丽君, 王旭. 北方草甸退化草地治理技术与示范. 生态学报, 2016, 36(22): 7034-7039.
TANG H J, XIN X P, LI L H, WANG D L, YAN Y C, ZHOU Y L, WANG M J, ZHOU D W, CUI G W, LI X L, YAN R R, CHEN B R, XU L J, WANG X. North meadow degraded grassland treatment technology and demonstration. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7034-7039. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司, 全国畜牧兽医总站. 中国草地资源. 中国科学技术出版社, 1996.
Department of Animal Husbandry and Veterinary Area, Ministry of Agriculture, PRC. *National Animal Husbandry and Veterinary Terminus, Grassland Resources in China*. Beijing: China Map Press. 1996. (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司. 中国草地资源数据. 中国农业科技出版社, 1994.
Department of Animal Husbandry and Veterinary Area, Ministry of Agriculture, PRC. *Data on Grassland Resources in China*. China Agricultural Science and Technology Press, 1994. (in Chinese)
- [15] 杨阳, 贾丽欣, 张峰, 乔芳璐, 赵天启, 陈大岭, 赵萌萌. 草地利用方式对草甸草原植被空间异质性的影响. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2015-2022.
YANG Y, JIA L X, ZHANG F, QIAO J R, ZHAO T Q, CHEN D L, ZHAO M L. Effects of different grassland use modes on spatial heterogeneity of vegetation in meadow steppe. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(7): 2015-2022. (in Chinese)
- [16] WANG L, BAQUERIZO D M, WANG D L, ISBELL F, LIU J, FENG

- C, LIU J S, ZHONG Z W, ZHU H, YUAN X, CHANG Q, LIU C. Diversifying livestock promotes multidiversity and multifunctionality in managed grasslands. *PNAS*, 2019, 116 (13): 6187-6192.
- [17] YAN Y C, YAN R R, CHEN J Q, XIN X P, ELDRIDGE D J, SHAO C L, WANG X, LV S J, JIN D Y, CHEN J Q, GUO Z J, CHEN B R, XU L J. Grazing modulates soil temperature and moisture in a Eurasian steppe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 262: 157-165.
- [18] 李向林. 草原管理的生态学理论与概念模式进展. 中国农业科学, 2018, 51(1): 191-202.
- LI X L. Advances in ecological theories and management models regarding rangeland management. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1): 191-202. (in Chinese)
- [19] 王德利, 王岭, 辛晓平, 李凌浩, 唐华俊. 退化草地的系统性恢复: 概念、机制与途径. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2532-2540.
- WANG D L, WANG L, XIN X P, LI L H, TANG H J. Systematic restoration for degraded grasslands: Concept, mechanisms and approaches. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2532-2540. (in Chinese)
- [20] 杨允菲, 辛晓平, 李建东. 基于表型与遗传分化的羊草在中国草原扩散途径的探讨. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2541-2549.
- YANG Y F, XIN X P, LI J D. A discussion on the diffusion pathway of *Leymus Chinensis* in the natural grassland of China based on differentiation in the phenotypes and genotypes. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2541-2549. (in Chinese)
- [21] 张宇, 侯路路, 闫瑞瑞, 辛晓平. 放牧强度对草甸草原植物群落特征及营养品质的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2550-2561.
- ZHANG Y, HOU L L, YAN R R, XIN X P. Effects of grazing intensity on plant community characteristics and nutrient quality of herbage in a meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2550-2561. (in Chinese)
- [22] 侯路路, 闫瑞瑞, 张宇, 辛晓平. 放牧强度对草甸草原羊草功能性状的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2562-2572.
- HOU L L, YAN R R, ZHANG Y, XIN X P. Effects of grazing intensity on functional traits of *Leymus chinensis* in meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2562-2572. (in Chinese)
- [23] 闫瑞瑞, 张宇, 辛晓平, 卫智军, 乌仁其其格, 郭美兰. 刈割干扰对羊草草甸草原植物功能群及多样性的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2573-2583.
- YAN R R, ZHANG Y, XIN X P, WEI Z J, WURENQIQIGE, GUO M L. Effects of mowing disturbance on grassland plant functional groups and diversity in *Leymus chinensis* meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2573-2583. (in Chinese)
- [24] 姚远, 徐月乔, 王贵, 孙伟. 盐碱胁迫下松嫩草地 2 种生态型羊草根际效应及光合生理响应. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2584-2594.
- YAO Y, XU Y Q, WANG G, SUN W. Salt-alkalinze stress induced rhizosphere effects and photosynthetic physiological response of two ecotypes of *Leymus chinensis* in Songnen meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2584-2594. (in Chinese)
- [25] 范凯凯, 佟旭泽, 闫玉春, 辛晓平, 王旭. 呼伦贝尔草原蘑菇圈对土壤呼吸作用的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2595-2603.
- FAN K K, TONG X Z, YAN Y C, XIN X P, WANG X. Effect of fairy rings on soil respiration in Hulunber meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2595-2603. (in Chinese)
- [26] 王洪义, 常继方, 王正文. 退化草地恢复过程中群落物种多样性及生产力对氮磷养分的响应. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2604-2613.
- WANG H Y, CHANG J F, WANG Z W. Responses of community species diversity and productivity to nitrogen and phosphorus addition during restoration of degraded grassland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2604-2613. (in Chinese)
- [27] 商丽荣, 万里强, 李向林. 有机肥对羊草草原土壤细菌群落多样性的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2614-2624.
- SHANG L R, WAN L Q, LI X L. Effects of organic fertilizer on soil bacterial community diversity in *Leymus chinensis* steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2614-2624. (in Chinese)
- [28] 王开丽, 杨合龙, 肖红, 孙伟, 戎郁萍. 施氮与刈割留茬高度对草场生产力及植物群落组成的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2625-2636.
- WANG K L, YANG H L, XIAO H, SUN W, RONG Y P. Effects of nitrogen application and clipping height on vegetation productivity and plant community composition of haying meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2625-2636. (in Chinese)
- [29] 朱瑞芬, 刘杰淋, 王建丽, 韩微波, 申忠宝, 辛晓平. 基于分子生态学网络分析松嫩退化草地土壤微生物群落对施氮的响应. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2637-2646.
- ZHU R F, LIU J L, WANG J L, HAN W B, SHEN Z B, XIN X P. Molecular ecological network analyses revealing the effects of nitrogen application on soil microbial community in the degraded grasslands. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2637-2646. (in Chinese)
- [30] 李强, 黄迎新, 钟荣珍, 孙海霞, 周道玮. 豆-禾混播草地中紫花苜蓿比例对其固氮效率的影响及潜在生理机制. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2647-2656.
- LI Q, HUANG Y X, ZHONG R Z, SUN H X, ZHOU D W. Influence of *Medicago sativa* proportion on its individual nitrogen fixation efficiency and underlying physiological mechanism in legume-grass

- mixture grassland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2647-2656. (in Chinese)
- [31] 巩皓, 杨柳, 李丹丹, 刘国富, 肖知新, 吴清莹, 崔国文. 寒地黑土农区紫花苜蓿生产与品质对施肥和刈割频次的响应及效益分析. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2657-2667.
- GONG H, YANG L, LI D D, LIU G F, XIAO Z X, WU Q Y, CUI G W. Response of alfalfa production and quality to fertilization and cutting frequency and benefit analysis in mollisol agricultural area in cold region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2657-2667. (in Chinese)
- [32] 肖知新, 王洋, 刘国富, 巩皓, 李丹丹, 巩林, 白珍建, 崔国文. 寒地黑土区春季施肥期对紫花苜蓿生产性能及营养品质的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2668-2677.
- XIAO Z X, WANG Y, LIU G F, GONG H, LI D D, GONG L, BAI Z J, CUI G W. Effects of fertilizing time in early spring on alfalfa (*Medicago sativa*) production performance and nutritional quality in mollisol area in cold region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2668-2677. (in Chinese)
- [33] 徐梦, 徐丽君, 程淑兰, 方华军, 卢明珠, 于光夏, 杨艳, 耿静, 曹子钺, 李玉娜. 人工草地土壤有机碳组分与微生物群落对施氮补水的响应. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2678-2690.
- XU M, XU L J, CHENG S L, FANG H J, LU M Z, YU G X, YANG Y, GENG J, CAO Z C, LI Y N. Responses of soil organic carbon fractionation and microbial community to nitrogen and water addition in artificial grassland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2678-2690. (in Chinese)
- [34] 李达, 方华军, 王笛, 徐丽君, 唐雪娟, 辛晓平, 聂莹莹, 乌仁其其格. 草甸草原区退耕地的牧草-水分-氮肥耦合机制. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2691-2702.
- LI D, FANG H J, WANG D, XU L J, TANG X J, XIN X P, NIE Y Y, WURENQQIIGE. Coupling mechanism of herbage-water-nitrogen fertilizer in abandoned farmland in meadow steppe. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2691-2702. (in Chinese)
- [35] 刘欣超, 王路路, 吴汝群, 辛晓平, 孙海莲, 姜明红, 李晓爽, 王淼, 刘云, 邵长亮. 基于 LCA 的呼伦贝尔生态草牧业技术集成示范效益评估. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2703-2714.
- LIU X C, WANG L L, WU R Q, XIN X P, SUN H L, JIANG M H, LI X S, WANG M, LIU Y, SHAO C L. LCA-based assessment of Hulunber ecological grassland technology integration demonstration. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2703-2714. (in Chinese)
- [36] 朱晓昱, 徐大伟, 辛晓平, 沈贝贝, 丁蕾, 王旭, 陈宝瑞, 闫瑞瑞. 1992—2015 年呼伦贝尔草原区不同草地类型分布时空变化遥感分析. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2715-2727.
- ZHU X Y, XU D W, XIN X P, SHEN B B, DING L, WANG X, CHEN B R, YAN R R. The spatial-temporal distribution of different grassland types in Hulunber grassland based on remote sensing from 1992 to 2015. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2715-2727. (in Chinese)
- [37] 程伟, 辛晓平. 基于 TVDI 的内蒙古草地干旱变化特征分析. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2728-2742.
- CHENG W, XIN X P. Analysis of spatial-temporal characteristics of drought variation in grassland area of Inner Mongolia based on TVDI. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2728-2742. (in Chinese)
- [38] 毛平平, 沈贝贝, 丁蕾, 朱晓昱, 辛晓平, 闫玉春, 王旭, 闫瑞瑞, 徐丽君, 陈宝瑞. 半干旱牧区天然打草场生产力时空变化及对气候响应分析. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2743-2756.
- MAO P P, SHEN B B, DING L, ZHU X Y, XIN X P, YAN Y C, WANG X, YAN R R, XU L J, CHEN B R. Temporal and spatial variation of productivity and its response to climate in semi-arid pasture of forage harvesting area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2743-2756. (in Chinese)
- [39] 辛晓平, 丁蕾, 程伟, 朱晓昱, 陈宝瑞, 刘钟龄, 何广礼, 青格勒, 杨桂霞, 唐华俊. 北方草地及农牧交错区草地植被碳储量及其影响因素. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2757-2768.
- XIN X P, DING L, CHENG W, ZHU X Y, CHEN B R, LIU Z L, HE G L, QINGGELE, YANG G X, TANG H J. Biomass carbon storage and its effect factors in steppe and agro-pastoral ecotones in Northern China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(13): 2757-2768. (in Chinese)

(责任编辑 林鉴非)