

草地生态系统空间异质性的研究进展

洛桑塔青^{1,2}, 普布卓玛^{1,2*}, 旦增姑桑³, 格珍⁴, 普布普赤⁵

(1. 西藏自治区农牧科学院草业科学研究所, 西藏 拉萨 850000; 2. 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室, 西藏 拉萨 850000; 3. 西藏自治区拉萨市城关区纳金街道办事处农牧综合服务中心, 西藏 拉萨 850000; 4. 西藏自治区拉萨市墨竹工卡县门巴乡人民政府农牧综合服务中心, 西藏 拉萨 850000; 5. 西藏自治区拉萨市达孜区畜牧兽防站, 西藏 达孜 850100)

摘要:草地生态系统是我国最大的生态系统, 放牧是草地生态系统最常见的利用方式。不同的放牧条件下, 动物不喜食的或不可采食的毒杂草量增加, 且由于家畜不均匀采食、践踏以及排泄粪尿等都会加剧草地异质性的程度, 从而导致重度放牧情况下草地群落空间异质性高于适度放牧, 导致草地生态系统的空间异质性存在差异。禁牧条件下, 在一定的时间内可以提高典型草原的物种多样性, 但持续时间不长。本文主要论述了不同放牧程度下以及游牧民定居条件下草地生态系统的异质性, 并对我国草地生态系统的可持续发展做了展望。

关键词:草地; 生态系统; 异质性; 放牧; 禁牧

中图分类号: S812

文献标志码: A

Research Progress on Spatial Heterogeneity of Grassland Ecosystem

Luosangtaqing^{1,2}, Pubuzhuoma^{1,2*}, Danzenggusang³, Gezhen⁴, Pubupuchi⁵

(1. Institute of Prataculturae, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850000, China; 2. State Key Laboratory of Highland Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Tibet Lhasa 850000, China; 3. Agricultural and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Najin Sub-district Office, Chengguan District, Lhasa, Tibet Autonomous Region, Tibet Lhasa 850000, China; 4. Agricultural and Animal Husbandry Comprehensive Service Center of Menba Township People's Government, Mozhuogongka County, Lhasa, Tibet Lhasa 850000, China; 5. Livestock and Animal Defense Station in Dazi District, Tibet Dazi 850100, China)

Abstract: The grassland ecosystem is the largest ecosystem in China, and grazing is the most common utility pattern of grassland ecosystems. Under different grazing conditions, the amount of poisonous weeds that animals do not like or cannot eat increases. Moreover, uneven harvesting, trampling, and excretion of feces and urine of livestock will aggravate the degree of grassland heterogeneity, resulting in higher spatial heterogeneity of grassland communities under heavy grazing than moderate grazing, and resulting in differences in the spatial heterogeneity of grassland ecosystems. Under grazing prohibition conditions, the species diversity of typical grasslands can be increased within a certain period of time, but the duration is not long. This article mainly discusses the heterogeneity of grassland ecosystems under different grazing levels and nomadic settlement conditions. It also looks forward to the sustainable development of the grassland ecosystem in China.

Key Words: grassland; ecosystem; heterogeneity; grazing; grazing prohibition

1 草地生态系统概况

作为全球草原面积第二大国, 我国草原面积近4亿hm², 在国土面积中占比达到41%, 同时也是国

内面积最庞大的一个陆地生态系统, 尤其碳循环发挥着不可替代的重要作用, 可不间断地进行地球化学循环^[1]。草地资源是我国陆地生态系统中面积最大的一个, 目前我国可开发的草地资源面积为3.10×10⁸ hm², 不但能维持生物多样性以及保持水土资源不流失, 同时还能大幅度促进畜牧业的正常发展, 全面维护自然资源的生态平衡。在我国淮河、长江以及黄河等几个水系里面, 其中游、上游以及源头区域大部分都为草原地区, 发挥着生态屏障的重要作用^[2]。

收稿日期: 2021-08-11

基金项目: 国家牧草产业技术体系拉萨综合试验站项目(CARS-34)。

作者简介: 洛桑塔青(1978-), 男, 研究实习员, 主要从事草业研究工作, E-mail: 916369908@qq.com; *为通讯作者: 普布卓玛(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物逆境生物学研究, E-mail: puzhuo050509@nwafu.edu.cn。

因为经常受到人为以及自然因素干扰,在草地生态系统里面碳自身具备的源汇特征往往不会明显表现出来。通常来讲,草地生态系统碳汇特征比较弱,很容易受到降雨以及放牧等外界影响,因此源汇特征经常出现变化^[3-4]。不过需要肯定的是,草地生态系统固碳潜力不容忽视^[5-6],合理开发利用草地资源可以将碳汇功能更好地发挥。恰当合理的草原利用方式,不仅可以提高牧草和牲畜生产力,而且有利于草原碳汇功能的发挥^[7]。目前在研究草地生态系统碳蓄积影响要素方面,主要集中在多种强度以及利用方式上,而且所得结果存在较大差异。Johnston^[8-9]等研究后表示,在草地上长时间放牧将导致碳移出量不断增多。

2 空间异质性概念

草地生态系统里面最重要的一个特征就是空间异质性,所有草原生态系统都具备该特征。空间异质性指的是就空间层面而言,生态学变量自身具备的复杂性以及不均匀性等特征,主要体现方式为环境出现的梯度改变以及生态系统拥有的缀块性^[10]。在对草地增长以及发展潜力进行判断时主要参考标准为草地生物量,对草地生物量积极动态改变特征进行精准判断可综合评估草地植被具备的生态效益,同时也能以此为基础全面探究全球碳循环^[11]。第二种观点认为,放牧对SOC没有显著影响^[12-13],草原生态系统对放牧有相当的弹性^[14-15]。

3 人为活动对草地空间异质性的影响

3.1 放牧条件下草地生态系统的异质性

在所有草地生态系统利用方式里面,放牧属于利用率最高的一种,在很大程度上能对草地生物量以及物种多样性带来改变。有研究表明,物种数量、生物总数量以及多样性指数最高的为那些未放牧的地区,这些地区具有最强的异质性程度,如果在这些地区开始放牧,则异质性程度将不断下降,放牧强度越大异质性也越高。一旦出现过度放牧,草原动物不能吃食的毒杂草数量越来越多,再加上草原家畜排泄粪便、日常践踏以及采食等外界因素,草原异质性程度将越来越严重,最终使得空间异质性远远高出适度放牧^[16]。

徐增让^[17]等研究表明,草地生态系统固碳能力对全球碳贮量的大小有重要影响。放牧作为草地最广泛的利用方式之一影响着草地的碳贮量,过度

和不合理的放牧方式造成草地退化,引起草地碳的损失。围栏禁牧与放牧对草地生态系统固碳能力的影响主要包括对植被生产力和土壤碳贮量的影响。由于受植被凋落物、群落结构和气候等多种因素的影响,围栏禁牧对草地植被生产力有正面或负面的效应;放牧对植被生产力的影响也没有一致的结果,此外,放牧对植被生产力的影响还与放牧的强度有关。围栏禁牧与放牧可以通过多种途径对草地土壤碳贮量产生正面或负面的影响。总之,围栏禁牧与放牧对草地生态系统固碳能力的影响是复杂多样的,需要对草地碳贮量进行估算,并对相关的机制进行研究,这样才能在草地管理方面做出合理的决策。我国草地表层土壤有机碳年变化量在不合理管理方式下对草地土壤有机碳的积累具有不利影响,而补播、禁牧则有益于中国草地的固碳作用^[18]。

陈文青^[19]研究探讨了天然草原家畜选择性采食的地上影响机制;不同的放牧利用方式对草地土壤碳输入的影响;放牧利用方式对植被地上及地下凋落物降解的影响。家畜的选择性采食存在明显的季节性动态并受放牧方式的影响。不同放牧方式显著影响地上及地下植被产量进而影响土壤碳的输入。持续适牧处理(MMM)具有最大的地下根系产量及周转速率,积累了最多的土壤有机碳。放牧方式导致环境条件的改变,显著影响地上凋落物的降解速率,但对地下凋落物并无显著影响。

巴雷等^[20]选择人工草地,然后通过奶牛放牧进行实验,主要探究对白三叶、鸡脚草以及黑麦草3种草原植物种群规模、强度以及空间分布等产生的影响。最终发现,通过草原放牧植物开始转移至集聚分布,同时放牧强度对集聚程度带来不同程度影响;3种草原植物拥挤情况最大的为黑麦草,最小的则为白三叶,集聚参数顺序与其保持一致,聚块指数顺序则完全相反,黑麦草占据最大优势,不过也会受到白三叶和鸡脚草的影响,拥挤效应更为明显,随着放牧强度不断增加效应也越来越突出;家畜对植物格局规模影响明显,高放牧强度下黑麦草始终保持稳定的格局规模;轻度放牧强度下白三叶的格局规模变化很大,区组规模复杂。

黄琛等^[21]分析不同放牧强度下植物群落中物种的空间分布特征,有助于阐明群落在放牧胁迫下的演替规律。该研究基于幂函数法则,探讨了不同放牧强度下短花针茅 *Stipa breviflora* 荒漠草原

群落植物的频率和空间异质性。结果表明:不同放牧强度下物种空间分布与幂函数法则能很好地吻合;不同物种空间异质性具有特异性,随着放牧强度的增加,提高群落空间异质性的物种分别由无芒隐子草 *Cleistogenes songorica*、冷蒿 *Artemisia frigida*、短花针茅、银灰旋花 *Convolvulus ammannii* 等多个物种逐渐转变为以无芒隐子草、短花针茅为主的少数物种,同时,物种空间异质性大于群落空间异质性的物种数逐渐减少。

3.2 禁牧条件下草地生态系统的异质性

张鹏莉等^[22]采用幂乘方法则模型对鄂尔多斯3类草地在禁牧条件下的群落结构特征进行了研究。结果显示:此方法在对鄂尔多斯不同类草地的空间异质性进行解释的吻合度更高;羊草草地、芨芨草草地和油蒿灌丛草地都比随机分布表现出更明显的空间异质性,群落整体的空间异质性指数以油蒿灌丛草地最大,其次是羊草草地,最后是芨芨草草地;在群落整体的物种多样性指数上,油蒿灌丛草地最大,最低为芨芨草草地;样方(50 cm×50 cm)内的平均物种数与物种多样性指数都呈现了相同的结果,就是羊草草地比油蒿灌丛草地明显更高,以芨芨草草地最低($p<0.001$);样方内的平均生物量相对于芨芨草草地,油蒿灌丛草地更高($p<0.001$),而羊草草地与其他二者间无明显差异;随着群落整体空间异质性指数变大,这3种草地其样方内的平均生物量与物种多样性指数也随之变大。

武山梅等^[23]对西藏那曲地区高寒草甸土壤碳矿化受禁牧的影响进行了研究。结果显示,禁牧没有明显改变草原的主要物种构成,而会导致物种的相对重要性发生明显变化,优势物种将更具优势;并且,禁牧在某一期间内能使典型草原的物种更加多样化,但随着禁牧期限越久,物种多样化也会呈现出先增后降的态势;在同一禁牧或放牧条件下,水分更充足的典型草原,物种多样性更丰富。因此可知,科学合理控制禁牧时间及水分条件,对典型草原物种多样性的保持更有利。其物种多样性降低的原因是人为介入与干旱环境一同作用导致的结果。放牧管理方式下的土壤碳矿化速率比禁牧管理更高。所以,放牧适度对西藏那曲地区高寒草地资源丰富性的保持是有益的,能促进其可持续利用和发展。

3.3 游牧民定居条件下草地生态系统的异质性

逐水而居,逐绿而牧是传统游牧方式的主要特

征^[24],季节性畜群流动能更好地适应水、草在空间与季节上的异质性,居所具流动特征,生产生活并不会对生态环境产生严重影响^[25]。但在定居条件下,游牧方式受限^[26],且草原牧区空间功能分化会导致资源生态效应的空间分异。畜群分布不仅受到水源、植被和地貌等因素的影响,还会受土地资源应用、聚落和放牧方式的影响^[27-28]。从游牧到定居,草原牧区生计与资源应用方式都产生了明显变化。徐增让等人以GPS跟踪方式对游牧民定居条件下的草地空间功能分异与其生态效应进行了研究。结果显示:定居条件下草原牧区生活、生产和生态功能空间会不断分化,定居可能引起资源过度利用或资源浪费以及草场过牧退化等生态效应^[29]。

王云英等^[30]研究发现,放牧极显著降低草地生态系统植物水分利用效率($p<0.01$)。不同类型草地平均效应值降低幅度从高到低依次为典型草原>高寒草地>草甸草原>温性草原>荒漠草原。放牧对典型草原与高寒草地、草甸草原的平均效应值的影响具有统计学意义($p<0.01$, $p<0.05$),对荒漠草原与温性草原无显著影响。合理放牧,维持高寒草甸土草畜氮磷流的平衡,对于家畜的健康生长以及草地的可持续利用具有重要作用^[31]。

4 结论与展望

以上研究表明,人为活动(放牧、禁牧、游牧民定居)是草地生态系统空间异质性的主要影响因素。不同的放牧条件下草地的生物量、碳积累、氮积累都有显著的差异。同时还发现,合理的禁牧时间与优越的水分条件有利于典型草原维持较高的物种多样性。而在定居条件下,游牧方式受到了挑战,定居后草原牧区空间功能分化引起资源生态效应的空间分异。应合理利用草地资源,草在生态系统中具有不可替代的重要作用,努力做到草地生态系统的可持续发展,同时,也要落实“山、水、林、田、湖、草”体系。

参考文献:

- [1] 侯向阳.中国草地生态环境建设战略研究[M].北京:中国农业出版社,2005:205-365.
- [2] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.
- [3] 李凌浩,陈佐忠.草地生态系统碳循环及其对全球变化的响应I.碳循环的分室模型、碳输入与贮量[J].植物学报,1998,15(2):14-22.
- [4] HUNT J E, KELLIHER F M, MCSEVENY T M, et al. Long-term

- carbon exchange in a sparse, seasonally dry tussock grassland[J]. *Global Change Biology*, 2004, 10(10):1785-1800.
- [5] KATTSOV V, ZHAO Z, JOUSSAUME S, et al. Climate change 2001, the scientific basis, chap. 8: model evaluation. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.
- [6] 郭然, 王效科, 逯非, 等. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. *生态学报*, 2008, 28(2):612-619.
- [7] FU B J, LIANG D, LU N, et al. Landscape ecology: Coupling of Pattern, Process, and Scale [J]. *Chinese Geographical Science*, 2011, 21(4):385-391.
- [8] JOHNSTON A, DORMAAR J F, SMOLIAK S. Long-Term Grazing Effects on Fescue Grassland Soils[J]. *Journal of Range Management*, 1971, 24(3):185-188.
- [9] GREENE R, KINNELL P, WOOD J T. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil-erosion from semi-arid wooded rangelands[J]. *Soil Research*, 1994, 32(5):953-973.
- [10] 王艳芬, 陈佐忠. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(6):545-551.
- [11] MILCHUNAS D G, LAURENROTH W K, BURKE L C. Livestock grazing: animal and plant biodiversity of shortgrass steppe and the relationship to ecosystem functioning[J]. *Oikos*, 1998, 83(1): 65-74.
- [12] KELLER A A, GOLDSTEIN R A. Impact of carbon storage through restoration of drylands on the global carbon cycle[J]. *Environ Manage*, 1998, 22(5):757-766.
- [13] COFFIN D P, LAYCOCK W A, LAUENROTH W K. Disturbance intensity and above-and below-ground herbivory effects on long-term (14 years) recovery of a semiarid grassland [J]. *Plant Ecology*, 1998, 139: 221-233.
- [14] MAO D, WANG Z, LI L, et al. Spatiotemporal dynamics of grassland aboveground net primary productivity and its association with climatic pattern and changes in Northern China[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 41(6):40-48.
- [15] TOAN T L, QUEGAN S, DAVIDSON M W J, et al. The BIOMASS mission: Mapping global forest biomass to better understand the terrestrial carbon cycle[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(11):2850-2860.
- [16] 高宁宁, 陈俊, 张鹏莉, 等. 放牧对西藏高寒嵩草草甸地上生物量空间分布的影响[J]. *草地学报*, 2014, 22(2):255-260.
- [17] 徐增让, 成升魁, 高利伟. 游牧民定居条件下草地利用空间分异及生态效应[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(6):8-13.
- [18] 石锋, 李玉娥, 高清竹, 等. 刘运通, 武艳娟. 管理措施对我国草地土壤有机碳的影响[J]. *草业科学*, 2009, 26(3):9-15.
- [19] 陈文青. 不同放牧方式对羊草草原生态系统碳固持的影响机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [20] 许清涛, 黄宁, 巴雷, 等. 不同放牧强度下草地植物格局特征的变化[J]. *中国草地学报*, 2007, 29(2):7-12.
- [21] 黄琛, 张宇, 王静, 等. 不同放牧强度下短花针茅荒漠草原植被的空间异质性[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(11):1184-1193.
- [22] 张鹏莉, 陈俊, 崔树娟, 等. 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(2):425-434.
- [23] 武山梅, 刘颖慧, 李悦, 等. 禁牧放牧下温湿度对西藏那曲地区高寒草甸土壤碳矿化的影响[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2017(5):615-623.
- [24] 许中旗, 李文华, 许晴, 等. 禁牧对锡林郭勒典型草原物种多样性的影响[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(8):1307-1312.
- [25] LIAO C, MORREALE S J, KASSAM K A S, et al. Following the green: Coupled pastoral migration and vegetation dynamics in the Altay and Tianshan Mountains of Xinjiang, China [J]. *Applied Geography*, 2014, 46: 61-70.
- [26] 次仁央宗, 杨勇, 德吉曲珍, 等. 从游牧到定居—以那曲地区聂荣县尼玛乡为例[J]. *西藏研究*, 2009(4): 65-71.
- [27] 白玛措. 生态人类学与西藏草地研究[J]. *中国藏学*, 2005(4): 3-12.
- [28] YAMAGUCHI T. Transition of mountain pastoralism: An agrodiversity analysis of the livestock population and herding strategies in southeast Tibet, China [J]. *Human Ecology*, 2011, 39(2): 141-154.
- [29] COPPOLILLO P. The landscape ecology of pastoral herding: Spatial analysis of land use and livestock production in east Africa [J]. *Human Ecology*, 2000, 28(4): 527-560.
- [30] 王云英, 裴薇薇, 辛莹, 等. 放牧对中国北方草地生态系统水分利用效率的影响[J]. *草原与草坪*, 2021, 41(4):49-55.
- [31] 石福于, 王毅, 付晓悦, 等. 不同放牧强度下祁连山东段草地生态系统氮磷计量特征[J]. *家畜生态学报*, 2017, 38(3): 61-66.