

短花针茅草原生态系统稳定性对放牧的响应

沈婷婷,王悦骅,韩国栋*

(内蒙古农业大学草原与资源环境学院,内蒙古 呼和浩特 010011)

摘要:为探讨不同放牧强度与生态系统稳定性的关系,在内蒙古短花针茅荒漠草原野外放牧试验基地(2004年开始放牧)展开研究。试验采用完全随机区组设计,设置4个不同的放牧处理:对照(CK)、轻度(LG)、中度(MG)、重度(HG)放牧,3个区组(3个重复)。2019年对植物群落的物种数、盖度、密度、生物量进行观测,采用Gordon稳定性方法评估不同放牧强度对群落稳定性的影响。结果表明:随着放牧强度的增大,植物群落物种数、生物量和盖度显著降低($P<0.05$),密度随放牧强度的增加呈先增加后降低的趋势,在中度放牧时最高。植物群落多样性指数与群落物种数、盖度、生物量呈显著相关性($P<0.05$)。植物群落多样性随放牧强度增加而降低,中度放牧强度下群落稳定性最高。

关键词:荒漠草原;放牧;稳定性

中图分类号:S812.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)06-0088-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2022.06.012



天然草地占国土面积的41.67%^[1],是我国最大的陆地生态系统之一。内蒙古拥有天然草地超过7 800万hm²,占自治区土地面积的67%以上^[2],是中国北方最重要的绿色生态屏障。放牧是利用天然草地的主要方式,是通过对物种多度、多样性等的影响引起生态系统发生变化^[3]。荒漠草原作为草原与荒漠的过渡性地带,草层稀疏、低矮,具有较强的旱生性,植被结构简单,放牧成为这个区域最主要的草地利用方式。荒漠草原区大都具有较长的放牧历史,在气候变化和人类干扰下变得越来越敏感,使得原本十分脆弱的生态系统极易受到破坏,总体上向着退化的方向发展^[4]。

放牧干扰对草地群落的物种多样性起着至关重要的作用,适度的放牧条件下有利于草地群落结构的改善^[5]。在研究生态系统稳定性的过程中,学者们一直将物种多样性和生态系统群落稳定性之间的关系作为生态学研究的重要课题^[6]。家畜通过采食、践踏、

排泄等方式对草地植被产生影响,甚至影响整个生态系统^[7-9]。在不同的放牧梯度下,群落表现出的物种多样性不同。放牧对草地植被群落结构、物种多样性均有显著影响^[10]。有学者提出,中等程度干扰水平下有利于物种多样性的维持^[11-15]。也有研究表明,长期放牧会导致物种多样性随着载畜率的增加而降低^[16]。放牧干扰是草地生态系统稳定性的影响因素之一,对草地群落稳定性的影响是直接的^[17]。有研究表明,随着放牧强度的增加,群落的功能多样性及稳定性显著下降^[18],在不同程度放牧干扰下,荒漠草原生态系统的稳定性不同,当放牧压力过大时,就会对草地生产和生态功能产生消极的影响。为了量化不同放牧强度对生态系统稳定性的影响,以及深入研究草地生态系统群落组成与稳定性之间的关系,以短花针茅荒漠草原为研究对象,进行不同放牧强度与生态系统稳定性关系的研究,以期对草原的管理及畜牧业生产做出科学指导和理论支持。

1 材料和方法

1.1 研究区自然概况

本研究试验地位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗中南部,E 111°53'46",N 41°47'17",为内蒙古农牧业科学院和内蒙古农业大学联合共建试验基地,

收稿日期:2021-10-26;修回日期:2021-11-24

基金项目:国家自然科学基金(31770500);中国博士后科学基金(2020M670713)

作者简介:沈婷婷(1996-),女,内蒙古乌兰察布市人,硕士研究生。E-mail:1598681512@qq.com

*通信作者。E-mail:nmganguodong@163.com

平均海拔 1 450 m,主要地貌是山地和丘陵。气候类型为温带大陆性季风气候,四季更替明显,年平均降水量为 220 mm,无霜期为 90~120 d,是内蒙古典型的荒漠草原代表区。该地是以短花针茅(*Stipa breviflora*)为建群种,冷蒿(*Artemisia frigida*)和无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)为优势种的荒漠草原地带性植被。栉叶蒿(*Neopallasia pectinata*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、羊草(*Leymus chinensis*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)和米氏冰草(*Agropyron michnoi*)等为该地的主要伴生种。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计 放牧试验开始于 2004 年,放牧时间为每年的 6—10 月。放牧试验采用完全随机区组设计。在试验区设置 3 个区组,即为 3 个重复。每个区组有 4 个不同载畜率的放牧处理,分别为对照(CK)、轻度(LC)、中度(MG)和重度(HG)放牧,不同重复小区进行完全随机排列,共 12 个小区,每个小区的面积约为 4.4 hm²。根据卫国军等^[19]研究提出的短花针茅草原的理论载畜量,结合前人对该地的载畜率设定,设置放牧绵羊的载畜率分别为对照 0 羊单位/hm²、轻度放牧 0.91 羊单位/hm²、中度放牧 1.82 羊单位/hm²、重度放牧 2.71 羊单位/hm²,放牧时间均为半年,放牧绵羊为成年蒙古羯羊,每天早晨 6:00 点将绵羊放出,傍晚 6:00 赶回棚圈。

1.2.2 植被取样及指标测定 2019 年 5—10 月,在每个月月末时于各放牧小区内随机布置 10 个面积为 1 m×1 m 的样方,记录样方内植物群落的高度(cm)、密度(株/m²)、种类和频度,以目测估计法估算样方植物群落盖度,每种植物在 10 个样方中出现的次数记为该物种的频度。将植物齐地面剪割并分种装入信封袋带回实验室,65℃烘箱烘 48 h 后称其重量,将结果记为群落的地上现存量(g)。

植物多样性选用 Shannon—Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、和 Pielou's 均匀度指数,各指数的计算公式如下:

Shannon—Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

Simpson 优势度指数(D):

$$D = 1 - \sum (P_i)^2 \quad (2)$$

Pielou's 均匀度指数(E):

$$E = H' / \ln S \quad (3)$$

式中: P_i 为样方中第 i 种物种的重要值, S 为每个样方中的物种数(种);

物种重要值: $P_i = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对生物量}) / 3 \times 100\%$

相对密度 = 某个种密度 / 所有种密度之和 $\times 100\%$

相对高度 = 某个种平均高度 / 所有种平均高度之和 $\times 100\%$

相对生物量 = 某个种生物量 / 所有种生物量之和 $\times 100\%$

1.2.3 稳定性测定方法 群落稳定性采用 M. Gordon^[20]稳定性方法测定。通过计算植物群落中所有种类的数量、频度,并按照从大到小的顺序,将群落中所有植物的发生频度进行排序,分别计算出植物的总种数倒数的累计百分数和相对频度的累计百分数。以群落内植物总种数倒数累积的百分数作为横坐标,纵坐标为群落物种累积相对频度。将两者一一对应,绘制出散点图,然后用平滑的曲线把这些点连接起来。做过点(100,0),(0,100)的一条直线与该处平滑曲线的交点即为所求点,依照这种方法,坐标点(20,80)就是群落的稳定点,交点越接近(20,80),群落越稳定,反之则稳定性越差。

相对频度 = (某个种的频度 / 全部种的总频度) $\times 100\%$

本研究参照郑元润^[21]对 M. Gordon 稳定性改进之后的测定方法,建立相应数学模型。

模拟模型:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

直线方程:

$$y = 100 - x \quad (2)$$

将(2)带入(1)解得 x 值后,根据实际情况,选取 x, y 均为实数且大于 0 小于 100 的结果,这样所求得的交点坐标比较准确,交点到坐标(20,80)的欧氏距离数值即可量化群落稳定性。欧氏距离为交点到稳定点(20,80)的直线距离。

1.2.4 数据处理与分析 使用 Excel 2003 进行数据整理, R3.6.2 进行数据分析和图表构建。

2 结果与分析

2.1 放牧对植物群落特征的影响

由图1可知,不同放牧强度处理之间,群落物种数存在显著性差异,随着放牧强度的增大,物种数在逐渐降低,在重度放牧下达到最低点(图1-A)。对照区和轻度放牧区的物种数没有显著差异,却显著高于另2种处理($P<0.05$),中度、重度放牧处理分别显著低于对照处理的31.4%、39.2%。生物量和盖度对照与轻、中、重度放牧处理均差异显著($P<0.05$),对照区

生物量分别显著高于3种放牧处理的30%、38.6%、57.4%,盖度分别高于3种处理的7.4%、42.2%、50.5%,二者都随着载畜率的增大逐渐降低(图2-B,图2-C)。群落密度在中度放牧处理下最高,分别显著高于对照和轻度放牧处理的21.8%、19.1%,与重度放牧处理差异不显著,轻度放牧处理与对照处理之间没有显著差异。群落的物种数、生物量和盖度对照区最高,随着放牧强度的增加逐渐,密度在MG最大(图1-D)。

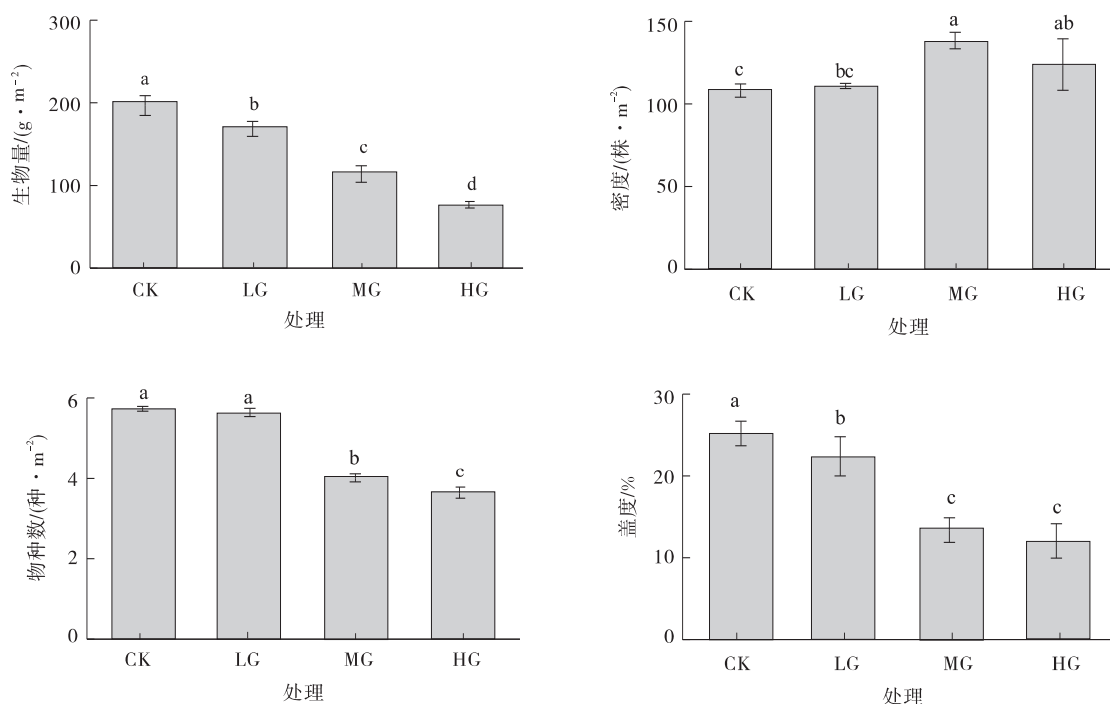


图1 不同放牧强度下群落特征变化

Fig. 1 The Changes of community characteristics under different grazing intensity

注:图中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2 植物群落特征各指标与多样性的关系

群落盖度、生物量、物种数与Shannon-Wiener指数,Simpson优势度指数之间存在显著正相关关系,其中,群落盖度分别与Shannon-Wiener指数的相关系数为0.52($P<0.001$),与Simpson优势度指数的相关系数为0.41($P<0.001$),群落生物量与Shannon-Wiener指数的相关系数为0.54($P<0.001$),与Simpson优势度指数的相关系数为0.47($P<0.001$),群落物种数与Shannon-Wiener指数的相关系数为0.86($P<0.001$),与Simpson优势度指数的相关系数为0.69($P<0.001$)。群落密度与Shannon-Wiener指数的相关系数为0.19($P<0.05$),与Pielou指数的相关

系数为-0.57($P<0.001$)(图2)。

2.3 不同放牧处理对植被稳定性的影响

根据Gordon稳定性计算方法,分别对不同放牧梯度处理下的植被进行平滑曲线模拟。由表1及图3可知,两线的交点坐标 x 值的分布区间为29.5~36.2, y 值的分布区间为63.8~70.5,到稳定点(20,80)的欧氏距离都较远。中度放牧两线的交点坐标为(29.5,70.5),到稳定点的欧式距离为13.40;对照处理两线的交点坐标为(32.3,67.6),到稳定点的欧式距离为17.42;轻度放牧两线交点坐标为(32.6,67.4),到稳定点的欧式距离为17.97;重度放牧两线交点坐标为(36.2,63.8),到稳定点的欧式距离为

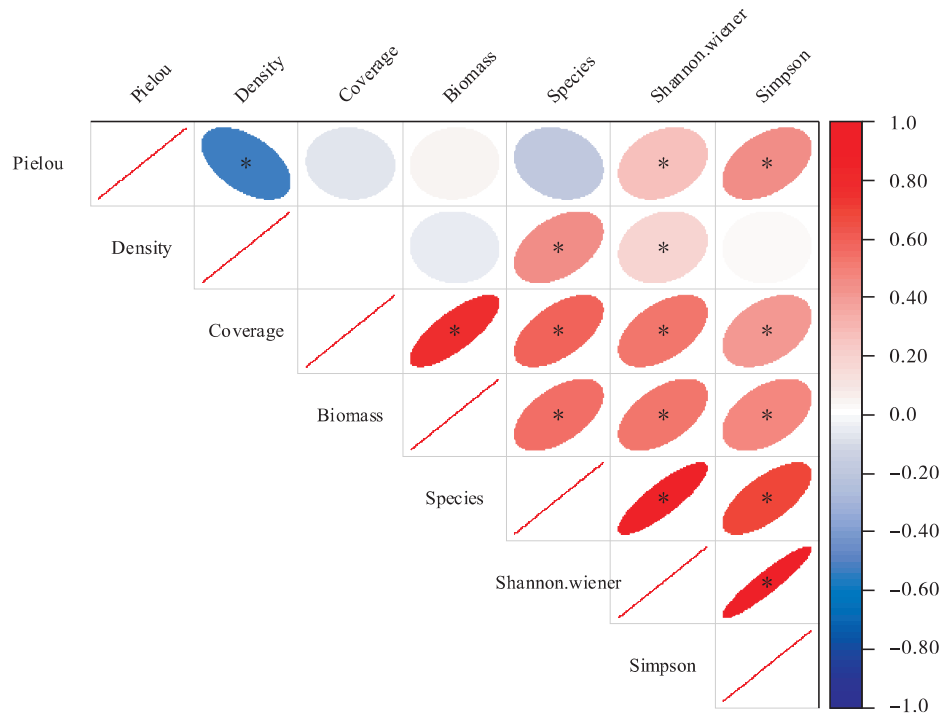


图 2 群落特征与物种多样性指数相关分析

Fig. 2 Correlation analysis between characteristics of community and diversity index

注: * $P < 0.05$

22.96。中度放牧到稳定点的欧氏距离最近,相对来说最稳定,对照处理、轻度放牧到稳定点欧式距离分别排第2、第3,重度放牧到稳定点的欧氏距离最远,稳定性最差。

表 1 群落稳定性分析

Table 1 Stability analysis of community

处理	曲线方程	R^2	显著水平	交点	欧氏距离
CK	$y = -0.0154x^2 + 2.4476x + 4.6678$	$R^2 = 0.9904$	$P < 0.05$	(32.3, 67.7)	17.42
LG	$y = -0.0103x^2 + 1.8147x + 19.2350$	$R^2 = 0.9906$	$P < 0.05$	(32.6, 67.4)	17.79
MG	$y = -0.0131x^2 + 2.0276x + 22.1470$	$R^2 = 0.9516$	$P < 0.05$	(29.5, 70.5)	13.40
HG	$y = -0.0133x^2 + 2.3563x - 4.1463$	$R^2 = 0.9941$	$P < 0.05$	(36.2, 63.8)	22.96

3 讨论

3.1 草地植物群落特征对放牧的响应

本研究发现,随着放牧强度的增加,群落的盖度和生物量都呈现逐渐降低的趋势。这个结果与王合云等^[22],Gamoun^[23]的研究结果相似。因为随着放牧强度的增加,家畜采食植物叶片强度增大,叶面积的减少影响植物光合作用,引起植物再生受限,导致群落生物量下降^[24]。不同植物(如灌木、禾草)的适口性和生长模式是不同的,放牧家畜偏爱适口性较好的物种,适口性较好的牧草优先被采食,从而导致地上生物量和植被覆盖度减少^[25-26]。在家畜采食时,高大的植物先被采食,之后采食较为低矮的植物,放牧强度

的增大会导致草原盖度降低,地表裸露出来的面积增大^[26]。随着载畜率的增加,群落密度先增大再减小,在中度放牧时最大,重度放牧时减小,这因为在适度载畜率下,家畜踩踏过程中会使地表干枯草层变松散,为种子接触光和空气和土壤吸水萌发创造了机会,占据资源空间快速生长^[22]。同时随着载畜率的增加,中度放牧和重度放牧家畜的排泄物给植物带来了养分,植物解除了养分的限制进而得到养分供应,有利于植物密度增加。

3.2 植物群落物种多样性对放牧的响应

1955年,Mac Arthur提出了多样性-稳定性假说,即物种多样性程度较高的生态系统的抗干扰性更强,即相对更稳定。他指出群落稳定性是一个群落内

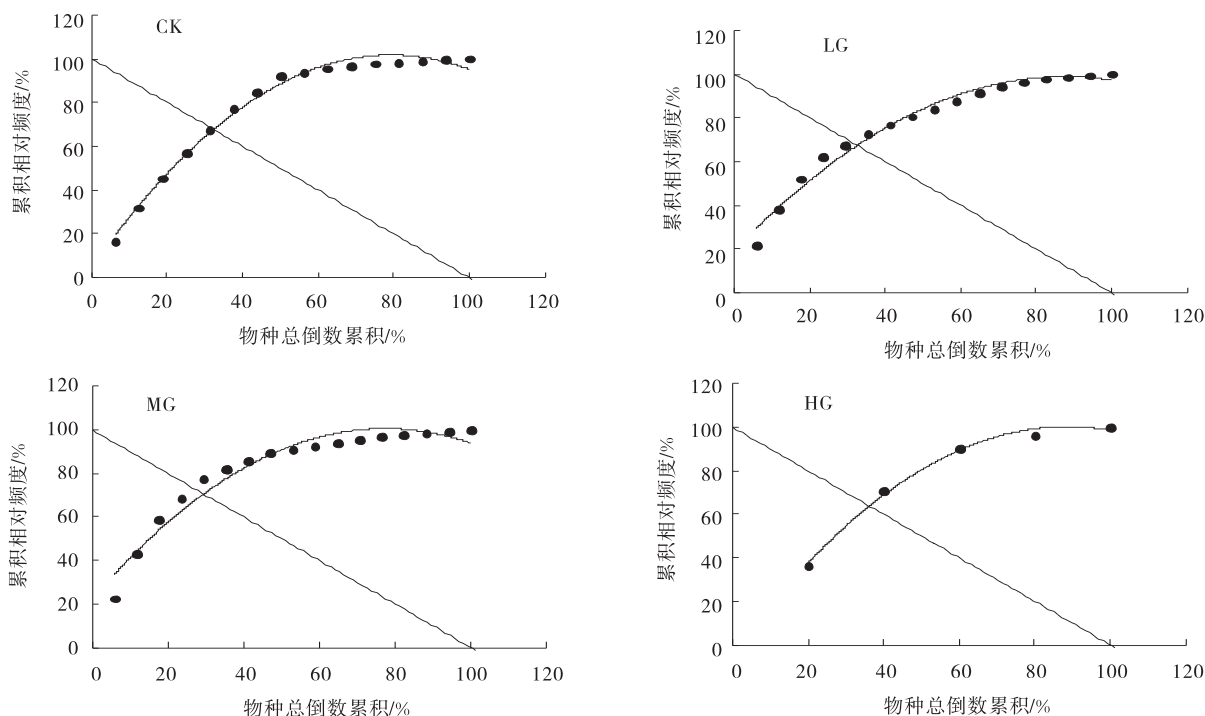


图3 不同放牧处理下M. Gordon 稳定性模拟曲线

Fig. 3 M. Gordon Stability simulation curve in different grazing treatments

种类组成和种群大小保持恒定不变^[27],其他学者研究也表明,物种的多样性水平在一定程度上体现了群落的稳定性,植物多样性越高,越有利于草地生态系统稳定性的维持^[15,28-29]。本研究中,多样性指数同群落物种数、地上生物量以及群落植被盖度呈显著正相关,其中,Shannon-wiener多样性指数与群落物种数相关性最大,Simpson指数与其相关性次之,Simpson指数与Shannon-wiener指数之间具有最大的相关性。放牧会使群落物种在竞争上处于劣势的物种消失,从而使得群落物种多样性降低^[30],结果与多样性—稳定性假说不一致。群落物种数随着放牧强度的增大逐渐减小,群落物种多样性也呈现出逐渐减小的趋势,与刘文学^[31]等研究相似。当放牧强度过大时,家畜啃食群落内牧草过度,导致其失去再生能力,以致在群落中消失,使草地植物群落中的物种多样性下降^[32]。Pielou指数与密度表现出显著负相关关系,在中度和重度放牧处理下均匀度指数较小,这与朱爱民^[33]和杨晶晶等^[34]研究结果一致。可能是因为随着放牧强度的增加,适口性好的植物被采食乃至消失,群落植被种类、高度减小,植被密度由于放牧强度增大,种群株丛破碎化,使得密度增大,群落结构趋于简单化,均匀度指数降低^[35]。

3.3 群落稳定性对放牧的响应

植物群落稳定性作为生态系统的最基本的功能之一,对群落稳定性的研究可以反映植物的种间竞争及群落抵抗环境压力和扰动的能力。通过计算到稳定点的欧氏距离,本研究发现,各放牧处理的交点到稳定点的距离都较大,由此可以推测出在几种放牧梯度下植物群落所处的演替阶段是不稳定的。在不同放牧梯度处理下,该研究区域植物群落的Gordon稳定性表现为:中度放牧>对照处理>轻度放牧>重度放牧。这与刘菊红^[36]通过计算短花针茅荒漠草原群落时间稳定性与物种异步性的研究结果相同,表明一定程度的放牧处理下有利于荒漠草原植物群落向更为稳定的方向演替,重度放牧会使群落处于相对不稳定的状态。在适度放牧条件下,草地营养循环较快,草地冠层辐射状况得到改善,提高了牧草的光合能力,促进了资源的再分配,有利于维持生态系统的稳定性^[37]。而不放牧或过度放牧情况下,牧草则处于低补偿或等补偿状态,这时群落稳定性差^[38]。

4 结论

(1)放牧对草地植物群落物种数、生物量、植被覆盖度和密度的影响不同。随着放牧强度的增大,群落物种数、生物量和植被盖度明显降低,密度在中度放

牧时最高,重度放牧时下降的最多。

(2)植物群落多样性指数与群落物种数、盖度、生物量呈显著相关性。

(3)随载畜率增加,植物群落的多样性指数逐渐降低,但中度载畜率下,到稳定点的欧氏距离最近,最有利于该类草地生态系统稳定性的维持。

参考文献:

- [1] 张新时,唐海萍,董孝斌,等. 中国草原的困境及其转型[J]. 科学通报,2016,61(2):165—177.
- [2] 兰建勋. 内蒙古草地资源的区域开发与对策[J]. 畜牧兽医学(电子版),2019(3):146—147.
- [3] 李文怀,郑淑霞,白永飞. 放牧强度和地形对内蒙古典型草原物种多度分布的影响[J]. 植物生态学报,2014,38(2):178—187.
- [4] 魏乐,宋乃平,方楷. 放牧对荒漠草原群落多样性的影响[J]. 江汉大学学报(自然科学版),2011,39(4):87—91.
- [5] Belsky A J. Effects of Grazing, Competition, Disturbance and Fire on Species Composition and Diversity in Grassland Communities [J]. Journal of Vegetation Science, 1992,3(2):187—200.
- [6] 高东,何霞红. 生物多样性与生态系统稳定性研究进展[J]. 生态学杂志,2010,29(12):2507—2513.
- [7] Eldridge, David, Poore, Alistair, Ruiz-Colmenero, *et al.* Ecosystem structure, function, and composition in rangelands are negatively affected by livestock grazing[J]. Ecological Applications,2016,26(4):1273—1283.
- [8] 丁海君,韩国栋,王忠武,等. 短花针茅荒漠草原不同载畜率对植物群落特征的影响[J]. 中国草地学报,2014,36(2):55—60.
- [9] 江小蕾,张卫国,杨振宇,等. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响[J]. 西北植物学报,2003(9):1479—1485.
- [10] 向明学,郭应杰,古桑群宗,等. 不同放牧强度对拉萨河谷温性草原植物群落和物种多样性的影响[J]. 草地学报,2019,27(3):668—674.
- [11] 杨利民,韩梅,李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化[J]. 植物生态学报,2001(1):110—114.
- [12] Huston M. A General Hypothesis of Species Diversity [J]. The American Naturalist,1979,113(1):81—101.
- [13] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. [J]. Science,1978,199(4335):1302—1310.
- [14] 杨殿林,韩国栋,胡跃高,等. 放牧对贝加尔针茅草原群落植物多样性和生产力的影响[J]. 生态学杂志,2006(12):1470—1475.
- [15] 蒯晓妍,邢鹏飞,张晓琳,等. 短期放牧强度对半干旱草地植物群落多样性和生产力的影响[J]. 草地学报,2018,26(6):1283—1289.
- [16] 汪诗平,李永宏,王艳芬,等. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响[J]. 植物学报,2001(1):89—96.
- [17] 焦树英. 短花针茅草原生态系统对不同载畜率水平绵羊放牧的响应[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
- [18] 韩国栋,焦树英,李永强,等. 不同载畜率对荒漠草原群落结构和功能群生产力的影响[J]. 西北植物学报,2006(3):564—571.
- [19] 卫智军,韩国栋,杨静,等. 短花针茅荒漠草原植物群落特征对不同载畜率水平的响应(英文)[J]. 中国草地学报,2000(6):2—6.
- [20] Gordon M. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal. [J]. Statistical Ecology,1972(3):397—415.
- [21] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学,2000(5):28—32.
- [22] 王合云. 不同放牧强度对短花针茅荒漠草原植物群落及土壤的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2016.
- [23] Gamoun, Mouldi. Grazing intensity effects on the vegetation in desert rangelands of Southern Tunisia [J]. Journal of Arid Land,2014(6):324—333.
- [24] 王忠武. 载畜率对短花针茅荒漠草原生态系统稳定性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [25] Sanaei, Anvar; Ali, Arshad. What is the role of perennial plants in semi-steppe rangelands? Direct and indirect effects of perennial on annual plant species [J]. Ecological Indicators,2019,98(1):389—396.
- [26] 王国杰,汪诗平,郝彦宾,等. 水分梯度上放牧对内蒙古主要草原群落功能群多样性与生产力关系的影响[J]. 生态学报,2005(7):1649—1656.
- [27] Mac Arthur. Fluctuations of Animal Populations and a Measure of Community Stability [J]. Ecology, 1955(3):533—536.
- [28] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and Stability in Grasslands [J]. Nature,1994,367(6461):363—365.
- [29] Elton C S. The ecology of invasions by animals and plants [M]. Wiely,1958.
- [30] 刘晓媛. 放牧方式对草地植被多样性与稳定性关系的影响

- 响[D]. 长春:东北师范大学,2013.
- [31] 刘文亭,卫智军,吕世杰,等. 放牧对短花针茅荒漠草原植物多样性的影响[J]. 生态学报,2017,37(10):3394—3402.
- [32] 袁建立,江小蕾,黄文冰,等. 放牧季节及放牧强度对高寒草地植物多样性的影响[J]. 草业学报,2004(3):16—21.
- [33] 朱爱民,韩国栋,康静,等. 长期不同放牧强度下短花针茅荒漠草原物种多样性季节性动态变化[J]. 草地学报,2019,27(4):1013—1021.
- [34] 杨晶晶,吐尔逊娜依·热依木,张青青,等. 放牧强度对天山北坡中段山地草甸植被群落特征的影响[J]. 草业科学,2019,36(8):1953—1961.
- [35] 马少薇,郭建英,李锦荣,等. 放牧强度对短花针茅群落特征及冠层截留的影响[J]. 中国草地学报,2016,38(5):66—70.
- [36] 刘菊红,王忠武,韩国栋. 重度放牧对荒漠草原主要植物种间关系及群落稳定性的影响[J]. 生态学杂志,2019,38(9):2595—2602.
- [37] 王科鑫,沈艳,李阳,等. 放牧制度对荒漠草原植物群落多样性及稳定性的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2019(8):103—108.
- [38] 高成芬,张德罡,王国栋. 不同强度短期放牧对高寒草甸植被特征的影响[J]. 草原与草坪,2021,41(1):9—15.

Response of *Stipa breviflora* desert steppe ecosystem stability to grazing

SHEN Ting-ting, WANG Yue-hua, HAN Guo-dong*

(College of Grassland Resources and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010011, China)

Abstract: To explore the relationship between grazing intensity and ecosystem stability, a manipulative experiment was carried out in the desert steppe of *Stipa breviflora* in Inner Mongolia. The experimental design was a completely randomized block design with four different grazing treatments: control (CK), light grazing (LG), moderate grazing (MG), and heavy grazing (HG), each with 3 replicates. During the experiment in 2019, the number of species, coverage, density and biomass of plant communities were observed. Besides, the Gordon stability method was used to evaluate the impact of different grazing intensities on community stability. The results showed that with the increase of grazing intensity, the number of species, biomass and vegetation coverage of the community decreased significantly ($P < 0.05$). The results also implied that the density of the community increased first and then decreased with the increase of grazing intensity, and reached the highest in moderate grazing. The plant community diversity index and community species, coverage and biomass had significant correlation ($P < 0.05$). The diversity of plant community decreased with the increase of grazing intensity, and the community stability was the highest at moderate grazing intensity.

Key words: desert steppe; grazing; stability