

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.01.039; CSTR:32311.14.rswc.2025.01.039.

曾国燕, 叶茂, 李苗苗, 等. 放牧对阿尔泰山哈巴河地区草地植物群落稳定性与多样性及其生物量关系的影响[J]. 水土保持研究, 2025, 32(1): 82-91.
Zeng Guoyan, Ye Mao, Li Miaomiao, et al. Stability and diversity of plant communities and their biomass in grassland before and after grazing in the Habahe region of Altai Mountains[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(1): 82-91.

放牧对阿尔泰山哈巴河地区草地植物群落 稳定性与多样性及其生物量关系的影响

曾国燕^{1,2}, 叶茂^{1,2}, 李苗苗^{1,2}, 陈维龙^{1,2}, 张西^{1,2}

(1.新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2.新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054)

摘要:[目的]研究阿尔泰山哈巴河地区草地植物的群落特征以及植物多样性、地上生物量与群落稳定性关系变化, 为哈巴河地区制定合理的放牧制度提供数据支撑。[方法]2020—2022 年在阿尔泰山哈巴河的夏季牧场选取 18 个有代表性的固定样地做调查, 调查样地中物种数量、盖度和高度等, 测定样地中的地上生物量、 β 多样性(Sørensen β 多样性指数和 Jaccard β 多样性指数)、物种多样性(Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数)和 M.Godron 群落稳定性, 分析放牧前后群落稳定性与植物多样性及其生物量的关系。[结果](1) 阿尔泰山哈巴河地区草地群落分布物种 30 种, 隶属 14 科, 以菊科、蔷薇科和禾本科居多;(2) 放牧后哈巴河地区草地的多样性指数、盖度、植株高度和地上生物量都有明显的下降趋势;(3) 放牧前哈巴河地区草地群落稳定性与 Margalef 物种丰富度指数、Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均呈极显著正相关($p < 0.01$)。放牧后哈巴河地区草地群落稳定性与 Simpson 优势度指数呈显著正相关($p < 0.05$);(4) 放牧前哈巴河地区草地群落稳定性与地上生物量关系呈显著正相关($p < 0.05$), 放牧后哈巴河地区草地群落稳定性与地上生物量关系不相关。[结论]放牧后草地群落稳定性与多样性、生物量关系发生了明显的变化, 放牧对群落稳定性的影响较大, 在一定程度上降低了群落的稳定性, 但群落总体处于稳定状态。

关键词:哈巴河地区; 群落稳定性; 物种多样性; 生物量

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)01-0082-10

Stability and diversity of plant communities and their biomass in grassland before and after grazing in the Habahe region of Altai Mountains

Zeng Guoyan^{1,2}, Ye Mao^{1,2}, Li Miaomiao^{1,2}, Chen Weilong^{1,2}, Zhang Xi^{1,2}

(1.College of Geographical Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2.Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054, China)

Abstract:[Objective] The aims of this study are to examine the community characteristics of grassland plants in the Habahe region of Altai Mountains, changes in plant diversity, aboveground biomass in relation to community stability, and to provide data support for the development of a rational grazing system in Habahe region. [Methods] From 2020 to 2022, 18 representative fixed sample plots were selected in the summer pasture of Habahe in Altai Mountains to do surveys to investigate the number of species in the sample plots, cover and height, etc., and to determine the aboveground biomass, β -diversity (Sørensen β -diversity index and Jaccard β -diversity index), species diversity (Margalef richness index, Simpson dominance index, Shannon-Wiener diversity index and Alatalo evenness index) and M. Godron community stability. The relationship between community stability and plant diversity and its biomass before and after grazing was

收稿日期: 2024-03-19

修回日期: 2024-04-03

资助项目: 国家自然科学基金项目(42161004); NSFC-新疆联合资助项目(U1803245)

第一作者: 曾国燕(1998—), 女, 云南丽江人, 硕士, 研究方向为干旱区生态水文过程。E-mail: Zengguoyan@163.com

通信作者: 叶茂(1977—), 女, 陕西绥德人, 博士, 教授, 主要从事干旱区生态水文过程研究。E-mail: yemao1111@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

analyzed. [Results] (1) 30 species of grassland communities were distributed in the Habahe region of Altai Mountains, belonging to 14 families, with Asteraceae, Rosaceae and Gramineae in the majority. (2) The diversity index, cover, plant height and above-ground biomass of grasslands in the Habahe region showed a significant downward trend after grazing. (3) The stability of grassland communities in the Habahe region before grazing was positively correlated with the Margalef richness index, the Simpson dominance index, and the Shannon-Wiener index diversity index in a highly significant way ($p < 0.01$); and the stability of grassland communities in the Habahe region after grazing was positively correlated with the Simpson dominance index in a significant way ($p < 0.05$). (4) The relationship between grassland community stability and aboveground biomass in the Habahe region before grazing showed a significant positive correlation ($p < 0.05$), and the relationship between grassland community stability and aboveground biomass in the Habahe region after grazing showed no correlation. [Conclusion] The relationship between grassland community stability and diversity and biomass changed significantly after grazing, and grazing had a greater impact on community stability and reduced the stability of the community to a certain extent, but the community was generally in a stable state.

Keywords: Habahe region; community stability; species diversity; biomass

草地生态系统是陆地上重要的群落类型,是牧民开展畜牧业的承载主体。研究草地生态系统群落结构、多样性和生产力,对维持草地生态系统的稳定有着重要意义^[1]。我国草场面积较广,约 392 万 km²,但受到自然因素和人为干扰的影响,生态系统问题日益加剧,如草原物种多样性丧失及稳定性下降等,进一步影响到生态服务功能的稳定^[2]。稳定性是维持生态系统健康运转的关键^[3],当外界压力超过生态系统的承压范围,可能会引发功能与结构的改变,导致稳定性减弱甚至生态退化^[4]。稳定性是一个很难量化的指标,物种多样性和丰富度是保证稳定性的核心,初级生产力和生物量也是维持稳定性的机制^[5]。一般而言,物种丰富度较高的群落具备更高的初级生产力以及稳定性。由于生态位互补效应等原因,物种数较多的群落更能容纳高产物种,获得更高的生物量,群落内密度变化的异步性增强,从而提高群落的稳定性^[6]。关于稳定性维持机制方面最有影响力的是多样性—稳定性理论,多样性—稳定性理论最初由 MacArthur 和 Elton 两位学者提出,他们深入研究了二者的关系后发现生态系统的稳定具有复杂性和多样性,复杂的系统更具稳定性。在后续的研究中,Tilman^[7]、Naeem^[8]等试验也验证了这一结论,并进一步强化了该理论。国内学者王国宏^[9]认为在种群和群落层次上,增加物种多样性可以提高群落稳定性。张立敏等^[10]借助中性理论分析也得出群落中物种越丰富其结构就越稳定的结论。袁梓裕等^[11]通过黄土高原草地植物群落试验发现,物种多样性高的群落具有较强的稳定性。然而,关于多样性—稳定性关系,不同的生态学家给出了富有争议的结论,Campbell^[12]等发现群落稳定性与物种

多样性分别呈正相关和负相关关系,薛晨阳等^[13]的研究并未发现群落稳定性与物种多样性有明显的关联性。也有学者认为二者之间不是简单的线性关系,而是存在更为复杂的关系^[14]。学者们的研究对进一步理解植物多样性和群落稳定性的关系有着重要的意义,但目前生物多样性—群落稳定性的关系还存在争议,仍需要进一步探究。

新疆位于中国西北部,是典型的干旱半干旱区,降水稀少,蒸发量强,区内环境脆弱。近 10 年来,由于人类经济活动的影响,草原植被被侵占,荒漠化加剧,生态系统变得更加脆弱^[15]。哈巴河地区属于新疆阿尔泰山山地森林草原生态功能区,是典型的牧业发展基地之一。该地区 70% 以上的家畜主要依托天然草地放牧,这给牧场增加了压力,牧场草地退化逐渐明显^[16]。目前,学者们对阿尔泰山哈巴河地区的研究多集中在湿地退化与保护、生态恢复、物种多样性、草地和森林生态系统健康评价等方面,关于草地群落稳定性与物种多样性及生物量关系的研究较少。在此背景下,研究持续放牧对哈巴河地区草地植物群落稳定性与多样性及其生物量关系,能够为新疆建立合理的农林牧管理制度提供基础数据,对中国草地可持续利用具有积极意义,还对更多干旱半干旱牧区草原生态系统的管理具有特殊意义。

本试验以阿尔泰山哈巴河地区放牧前后的草地群落为研究对象,采用野外调查、采样及试验分析,测定植物群落稳定性、丰富度、多样性、优势度、均匀度和生物量。本文研究的目的是:(1) 分析放牧对草地群落特征的影响;(2) 探讨放牧前后草地群落稳定性与多样性及地上生物量关系变化。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

哈巴河位于中国阿尔泰山南部,地理位置为东经 $85^{\circ}33'—87^{\circ}18'$,北纬 $47^{\circ}37'—49^{\circ}07'$,地貌特征为多山地,少平原,海拔 $800\sim 2\,200\text{ m}$ 。该地区的气候属于大陆性寒冷气候,年平均气温 $5.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高气温可达 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温为 $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$,昼夜温差大;年平均降水量为 205.6 mm ,降水稀少,蒸发量大,日照时间长,气候干燥。具体表现为春季干旱多风,夏季短而炎热,秋季短而凉爽,冬季寒冷漫长。

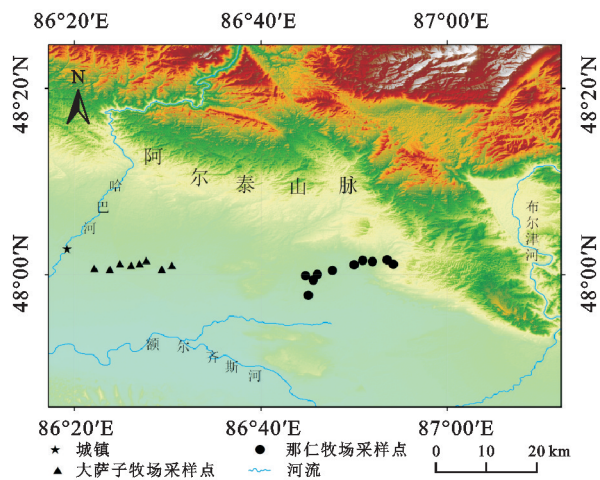


图 1 研究区概况图

Fig. 1 Overview of the research area

1.2 样地设置

新疆哈巴河地区畜牧业以牧区天然草地放牧为主,实行季节轮牧制。夏季牧场放牧时间为每年 7 月 1 日—9 月 10 日,载畜量约 50 万头,主要畜种有牛、羊、马等。为探讨持续放牧对草地群落的影响,于 2020 年、2021 年和 2022 年在哈巴河地区的夏季牧场进行样地调查,采样时间为每年 6 月 15 日—6 月 21 日(放牧前)和 9 月 10 日—9 月 11 日(放牧后)。本次试验的样地均为固定样地,样地大小为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$,每个样地内随机选取 3 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的草地样方。沿牧道设置采样点,一共布设 18 个样地,共 54 个样方。详细记录各样方内草种的名称、数量以及对应的海拔和经纬度信息,测量草种的高度、盖度等指标。监测完后,对每个样方内的物种进行刈割,称取每个物种的地上生物量鲜重,将其记为生物量(表 1)。

1.3 研究方法

1.3.1 物种多样性

(1) α 多样性。选用 Margalef 丰富度指数(S)、Simpson 优势度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)及 Alatalo 均匀度指数(E_a)来表征群落内

物种多样性^[17-18],其计算公式如下:

$$\text{Margalef}(S): S = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

$$\text{Simpson}(D): D = 1 - \sum P_i^2 \quad (2)$$

$$\text{Shannon-Wiener}(H): H = - \sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$\text{Alatalo}(E_a): E_a = H / \ln S \quad (4)$$

式中: S 为样方中的总物种数; N 为样方中的总个体数; P_i 为 i 种植物个体数占总个体数比例。

(2) β 多样性。植被生态学中的 β 多样性概念,可以体现生境群落间物种构成的差异性 or 相异性在环境梯度上的更替速率,本试验选用 Sørensen β 多样性指数(e)和 Jaccard β 多样性指数(j)来表征群落的相异性^[19]。

$$\text{Sørensen } \beta(e): C_e = 1 - 2c / (a + b) \quad (5)$$

$$\text{Jaccard } \beta(j): C_j = 1 - c / (a + b + c) \quad (6)$$

式中: a, b 为两个群落中的所有物种数; c 为群落间共有的物种数量。

1.3.2 群落稳定性 本研究采用 M.Godron 提出的贡献定律法,以评价哈巴河地区草地群落的稳定性,其原理是将群落中所有的植物物种按照频度大小进行排序,排序后计算物种的相对频度,并将总种数的倒数和相对频度进行累积;最后将植物种倒数的累计百分数和相对频度的累积百分数一一对应并进行曲线拟合,使之与 $y = 100 - x$ 相交,其交点(x, y)即为稳定性参考点,交点坐标与点(20, 80)的距离称为欧式距离,该距离越小说明植物群落越稳定,越大则越不稳定^[20]。郑元润^[21]和王鲜鲜等^[22]提出了使用物种盖度代替频度的观点。从理论上讲,物种盖度可以更好地反映出植物种类之间的相互作用关系,从而提高稳定性测算法的准确性^[22]。因此,本研究采用改进后的 M.Godron 稳定性测定法来计算群落稳定性。参照雷石龙等^[23]的稳定性取值方法,本研究取欧式距离的倒数作为 M.Godron 指数以表征群落稳定状态。计算方程如下:

平滑曲线拟合方程:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (7)$$

直线方程:

$$y = 100 - x \quad (8)$$

将(7)代入(8)得:

$$x = \frac{-(b+1) \pm \sqrt{(b+1)^2 - 4a(c-100)}}{2a} \quad (9)$$

方程得到两个解,根据实际情况,舍弃无效值,得到交点坐标(x, y)。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行初步数据整理和标准误差处理。采用 SPSS 26.0 对放牧前后草地群落稳定

性进行独立样本 T 检验。采用 one-way analysis of variance 和 Least-significant difference 分析放牧前后植被群落特征和 4 种多样性指数的差异,选用 Pearson 相关系数和回归分析揭示放牧前后草地群落稳定性与多样性、生物量之间的线性关系($p < 0.01$ 为极显著水平, $p < 0.05$ 为显著水平)。运用 ArcGIS10.8 绘制研究区概况图,其余的图利用 Origin 2021 进行绘图。

在野外调查的基础上,查阅《中国植被志》,依据书中对阿尔泰山野生植物的记录,来鉴定各物种的拉丁名和生境类型,然后建立研究区草地植物优势种名录(表 1)。本次试验中的群落稳定性指数、物种多样性指数和群落特征值均使用三年的平均值来表示。

2 结果与分析

2.1 放牧前后哈巴河地区植物群落特征

阿尔泰山哈巴河地区分布的植物主要有 30 种,隶属 14 科,以菊科、蔷薇科和禾本科居多。主要建群种为针茅(*Stipa capillata*)、羽衣草(*Alchemilla japonica*)、早熟禾(*Poa annua*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、千叶蓍(*Achillea millefolium*)、

主要伴生种有老鹳草(*Geranium wilfordii*)、唐松草(*Thalictrum aquilegiifolium*)、篇蓄(*Polygonum aviculare*)、冷蒿(*Artemisia carvifolia*)等,哈巴河地区植物种类及相关信息见表 2。

放牧前后哈巴河地区的多样性指数、地上生物量和盖度都发生了显著的变化。放牧前 Margalef 指数为 0.81, Simpson 指数为 1.16, Shannon-Wiener 指数为 0.59, Alatalo 指数为 0.72, 地上生物量达到 216.66 g/m², 植被覆盖度为 88%, 植株高度为 27.73 cm。放牧后 Margalef 指数为 0.48, Simpson 指数为 0.91, Shannon-Wiener 指数为 0.55, Alatalo 指数为 0.80, 地上生物量为 98.81 g/m², 植被覆盖度为 32.72%, 植株高度为 7.04 cm。Margalef 指数、Simpson 指数、盖度、植株高度和地上生物量由放牧前到放牧后极显著下降, Alatalo 指数由放牧前到放牧后显著上升(图 2)。放牧前后哈巴河地区草地植物的多样性指数、地上生物量、盖度和高度都发生了不同程度的变化。从放牧前到放牧后, Margalef 指数、Simpson 指数、地上生物量、覆盖度和植株高度都有非常明显的下降趋势,而 Alatalo 指数则从放牧前到放牧后表现出明显的上升趋势(图 2)。

表 1 样地信息表
Table 1 Plot Information

样地编号	物种数	优势种
1	5	早熟禾 <i>Poa annua</i> 、老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>
2	6	早熟禾 <i>Poa annua</i> 、匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i> 、羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i>
3	5	北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i> 、唐松草 <i>Thalictrum aquilegiifolium</i> 、车轴草 <i>Galium odoratum</i>
4	8	早熟禾 <i>Poa annua</i> 、勿忘草 <i>Myosotis alpestris</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> 、羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i>
5	9	治草 <i>Koeleria macrantha</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i> 、北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>
6	8	羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i> 、北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>
7	6	千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i> 、匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i> 、北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>
8	7	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> 、羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i> 、匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i>
9	8	针茅 <i>Stipa capillata</i> 、羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>
10	6	羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i> 、老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>
11	6	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、针茅 <i>Stipa capillata</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>
12	9	针茅 <i>Stipa capillata</i> 、篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i> 、委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>
13	10	早熟禾 <i>Poa annua</i> 、狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> 、蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>
14	12	千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i> 、狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i> 、冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>
15	12	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、针茅 <i>Stipa capillata</i> 、千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i> 、冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>
16	12	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i> 、冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i> 、篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>
17	17	针茅 <i>Stipa capillata</i> 、委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> 、篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i> 、野草莓 <i>Fragaria vesca</i>
18	14	早熟禾 <i>Poa annua</i> 、老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i> 、委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>

2.2 哈巴河地区植物群落物种 β 多样性分析

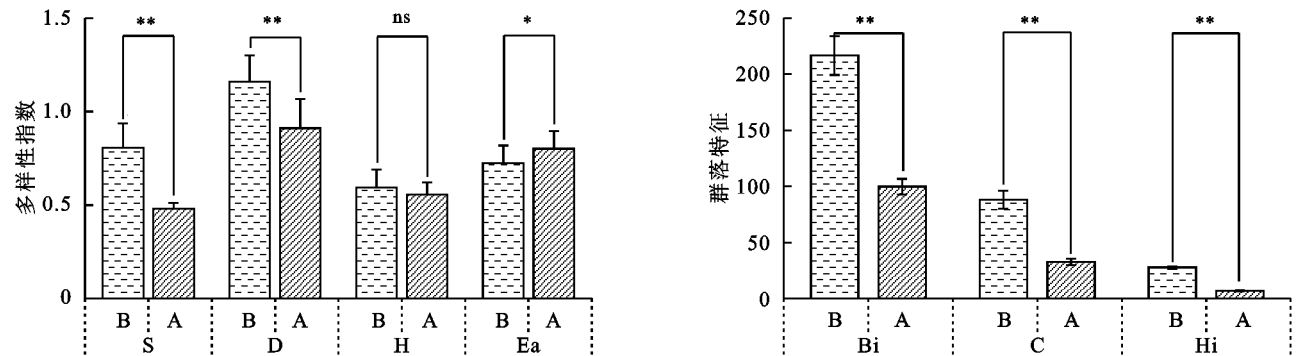
为探讨持续放牧干扰对草地群落物种变化的影响,选取 Sørensen β 多样性指数和 Jaccard β 多样性指数对哈巴河地区不同放牧年份的草地群落进行分析。Sørensen β 多样性指数结果显示,2020 年与 2021 年、2021 年与 2022 年、2020 年与 2022 年的 Sørensen β 多样性指数介于 0.299~0.443,说明在放

牧的影响下,草地群落发生了不同程度的变化。2020 年与 2022 年的 β 多样性指数最高,说明共有的物种数最少,在持续放牧的影响下,同一个样地内的共有物种数在逐渐减少,且随着放牧年份的增加,减少的物种数越来越多。Jaccard β 多样性指数也印证了同样的结果,随着放牧年份的逐渐增加,群落的相异性越来越高(表 3)。

表 2 哈巴河地区植物种类及相关信息

Table 2 Plant species and related information in Habahe region

编号	种	科	生活型
1	千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i>	菊科 Compositae	草本 Herb
2	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	菊科 Compositae	草本 Herb
3	天名精 <i>Carpesium abrotanoides</i>	菊科 Compositae	草本 Herb
4	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	菊科 Compositae	草本 Herb
5	金鸡菊 <i>Coreopsis basalis</i>	菊科 Compositae	草本 Herb
6	早熟禾 <i>Poa annua</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb
7	洽草 <i>Koeleria macrantha</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb
8	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb
9	针茅 <i>Stipa capillata</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb
10	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb
11	羽衣草 <i>Alchemilla japonica</i>	蔷薇科 Rosaceae	草本 Herb
12	野草莓 <i>Fragaria vesca</i>	蔷薇科 Rosaceae	草本 Herb
13	路边青 <i>Geum aleppicum</i>	蔷薇科 Rosaceae	草本 Herb
14	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	草本 Herb
15	北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>	茜草科 Rubiaceae	草本 Herb
16	蓬子菜 <i>Galium verum</i>	茜草科 Rubiaceae	草本 Herb
17	车轴草 <i>Galium odoratum</i>	茜草科 Rubiaceae	草本 Herb
18	夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i>	唇形科 Lamiaceae	草本 Herb
19	糙苏 <i>Phlomidoides umbrosa</i>	唇形科 Lamiaceae	草本 Herb
20	唐古草 <i>Thalictrum aquilegiifolium</i>	毛茛科 Ranunculaceae	草本 Herb
21	匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i>	毛茛科 Ranunculaceae	草本 Herb
22	勿忘草 <i>Myosotis alpestris</i>	紫草科 Boraginaceae	草本 Herb
23	琉璃草 <i>Cynoglossum furcatum</i>	紫草科 Boraginaceae	草本 Herb
24	苜蓿 <i>Thlaspi arvense</i>	十字花科 Brassicaceae	草本 Herb
25	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	牻牛儿苗科 Geraniaceae	草本 Herb
26	猪牙花 <i>Erythronium japonicum</i>	百合科 Liliaceae	草本 Herb
27	野罂粟 <i>Oreomecon nudicaulis</i>	罂粟科 Papaveraceae	草本 Herb
28	叉歧繁缕 <i>Stellaria dichotoma</i>	石竹科 Caryophyllaceae	草本 Herb
29	藜芦 <i>Veratrum nigrum</i>	藜芦科 Melanthiaceae	草本 Herb
30	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>	蓼科 Polygonaceae	草本 Herb



注: (1) B 代表放牧前, A 代表放牧后, B_i 代表生物量, C 代表盖度, H_i 代表高度; (2) *, **, * 分别表示 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平差异显著。

图 2 放牧前后群落特征变化

Fig. 2 Changes of community characteristics before and after grazing

2.3 放牧前后群落稳定性分析

放牧前后哈巴河地区草地群落 M.Godron 稳定性判定结果表明,放牧前后哈巴河地区草地群落稳定性发生了明显的变化,放牧前草地群落 M.Godron 稳

定性判定欧氏距离为 3.42,放牧后草地群落 M.Godron 稳定性判定欧氏距离为 9.64,放牧前后草地群落稳定性交点坐标在(20,80)和(30,70)之间,均处于稳定状态;放牧前草地群落 M.Godron 稳定性判定欧氏距离

最靠近稳定点,稳定性大于放牧后。整体上看,群落稳定性表现为:放牧对群落稳定性的影响较大,在一定程度上降低了群落的稳定性,但群落整体处于稳定状态(表 4,图 3)。

2.4 放牧前后稳定性与多样性的关系

回归分析结果显示,放牧前哈巴河地区草地群落稳定性与 Margalef 指数、Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数均呈极显著正相关, R^2 判定指数分别为 0.705,0.674,0.390,群落稳定性与 Alatalo 指数呈现不相关关系(图 4);放牧后哈巴河地区草地群落稳定性与 Simpson 指数呈显著负相关, R^2 判定指数为

0.262,群落稳定性与 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数和 Alatalo 指数均呈现不相关关系(图 5)。

表 3 不同放牧年份草地群落 Jaccard β 多样性和 Sørensen β 多样性

Table 3 Jaccard β diversity and Sørensen β diversity of grassland communities in different grazing years			
年份	2020	2021	2022
2020		0.743	0.782
2021	0.310		0.740
2022	0.443	0.299	

注:红色数字为 Sørensen β 多样性指数;黑色数字为 Jaccard β 多样性指数。

表 4 放牧前后哈巴河地区草地群落稳定性

Table 4 The stability of grassland community in Habahe region before and after grazing				
放牧前后	拟合曲线	R^2	交点坐标	欧式距离
放牧前	$Y=-0.0107x^2+1.5243x+48.779$	0.9172	(22.42,77.58)	3.42
放牧后	$Y=-0.0147x^2+2.1371x+26.448$	0.9576	(26.82,73.18)	9.64

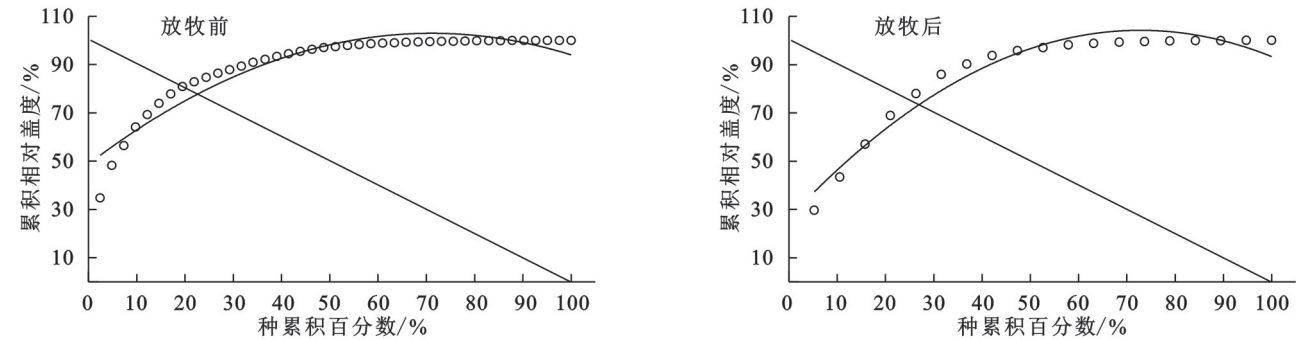


图 3 放牧前后哈巴河地区 M.Godron 群落稳定性拟合曲线

Fig. 3 The fitting curve of M.Godron community stability before and after grazing in Habahe region

通过以上结果可知,放牧前后草地群落多样性与群落稳定性关系变化较大,放牧前群落稳定性与多样性的相关性高于放牧后。二者之间的关系大体上表现为放牧前增加物种的丰富度、优势度和多样性能够提高群落的稳定性,增加或降低物种的均匀度不会改变群落的稳定性;放牧后增加物种的优势度能够降低群落的稳定性,增加或降低物种的丰富度、多样性和均匀度不会改变群落的稳定性。

2.5 放牧前后稳定性与生物量的关系

回归分析的结果显示,放牧前哈巴河地区草地群落稳定性与地上生物量关系呈显著正相关, R^2 判定指数为 0.227;放牧后哈巴河地区草地群落稳定性与地上生物量关系不相关(图 6)。

整体上看,放牧前后草地群落稳定性与生物量关系发生了明显的变化,群落稳定性与地上生物量的关系综合表现为放牧前地上生物量对草地群落的稳定性响应较好,群落稳定性随着生物量的变化而改变,增加地上生物量能提高草地群落的稳定性;放牧后地上生物量对草地群落的稳定性反应不明显,增加或降

低地上生物量不会改变群落的稳定性。

3 讨论

3.1 放牧对草地群落特征的影响

植物群落的多样性指数、盖度、高度等能直观地反映草地群落特征。本研究发现,放牧会显著降低植物群落的丰富度、均匀度、优势度、生物量、盖度及高度,这与前人在青藏高原和突尼斯南部沙漠牧场^[24-25]的研究结果相似。植物群落生物量大小表征生产力,也是草场载畜能力的基础,放牧过程中家畜采食和践踏叶片导致叶面积减少,植物的光合作用减弱,植物再生受限,群落生物量会减少^[26]。不同植物的生长速度和模式不同,放牧家畜会优先采食适口性较好的食物,这可能导致草地生物量减少,植被高度降低,盖度也随之减少^[27]。放牧还会导致植物的生长阶段受到干扰,不同植物间的抗干扰能力不同,因此在放牧影响下的植物可能会产生不同的适应策略,并导致植物群落结构改变^[26]。此外,放牧也会对植物群落优势物种的长势和多样性特征产生影响,并在

一定程度上改变草地群落特征。哈巴河地区植物群落特征对放牧的响应较为明显,在后续的放牧过程

中可以因地制宜选取适宜的放牧制度,促进草地群落的健康持续发展。

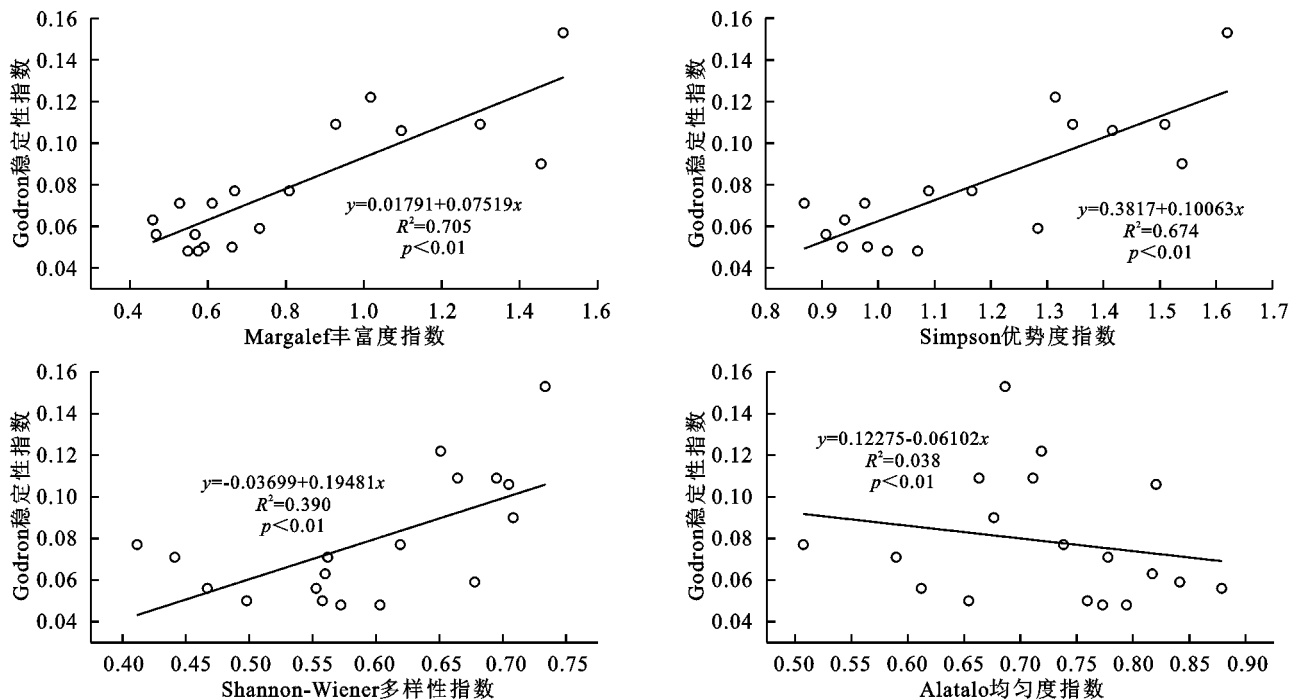


图 4 放牧前哈巴河地区草地群落稳定性与多样性关系

Fig. 4 Relationship between stability and diversity of grassland communities in Habahe region before grazing

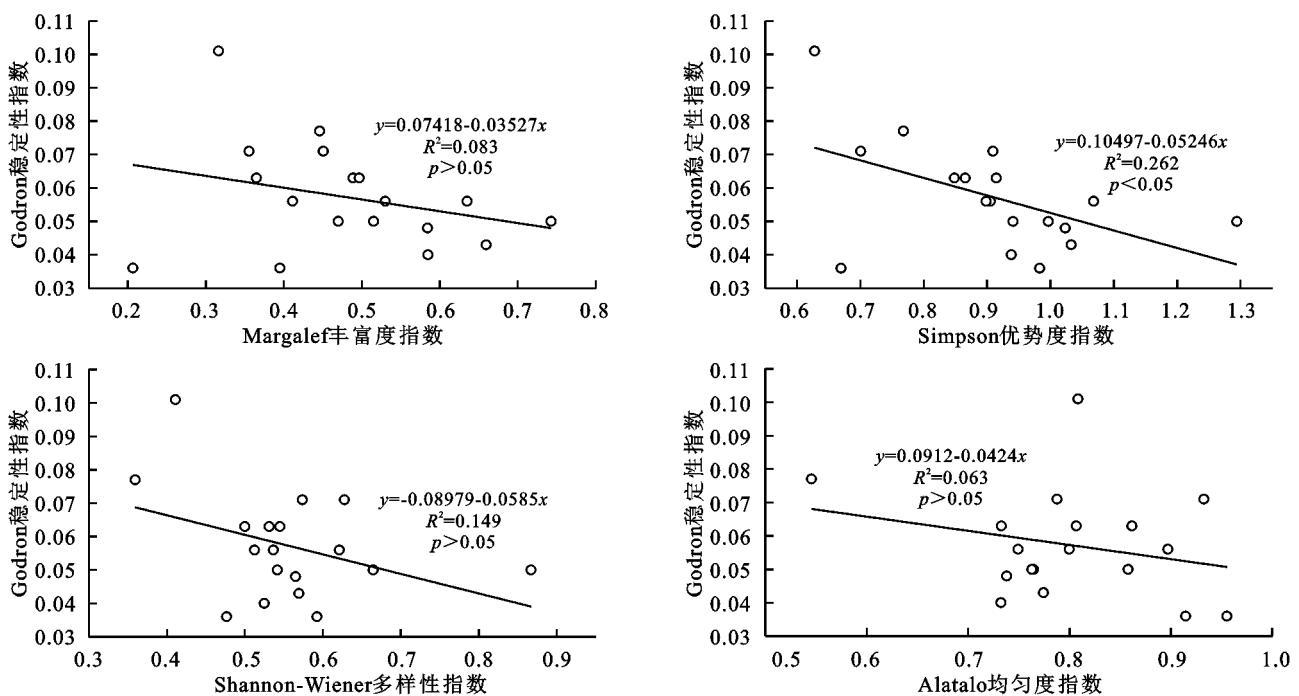


图 5 放牧后哈巴河地区草地群落稳定性与多样性关系

Fig. 5 The relationship between stability and diversity of grassland community in Habahe region after grazing

3.2 放牧对草地群落稳定性的影响

植物群落稳定性对维持生态系统的稳定有着重要作用,研究群落的稳定性能进一步反映植物种间竞争及群落抗压和抗干扰能力。本研究中,放牧前后草地群落均处于稳定状态,放牧后,稳定性呈现下降趋势,这与刘菊红等^[28]在内蒙古荒漠草原地带研究的结果相似。可

能是由于受到放牧的影响,家畜对草地进行不同程度地践踏和觅食,草原植被受到了影响,导致植被覆盖度和高度降低,群落组织能力减弱,使群落稳定性出现下降趋势^[29]。另一种可能是放牧使得群落结构由复杂变简单,抗侵蚀能力变弱,进而影响群落的稳定性^[30]。有研究表明,放牧有助于维持草地群落的稳定性。放牧

强度也会影响草地群落的稳定性,在轻度放牧和重度放牧的情况下,群落的稳定性会降低,但放牧强度处

于适中状态时,会促使多年生禾本、杂草稳定性提高,进而提高草地群落的稳定性^[28-29]。

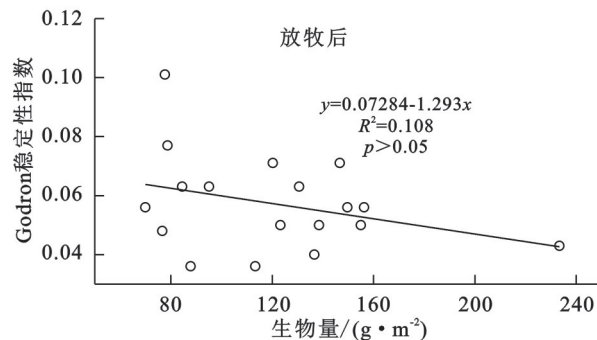
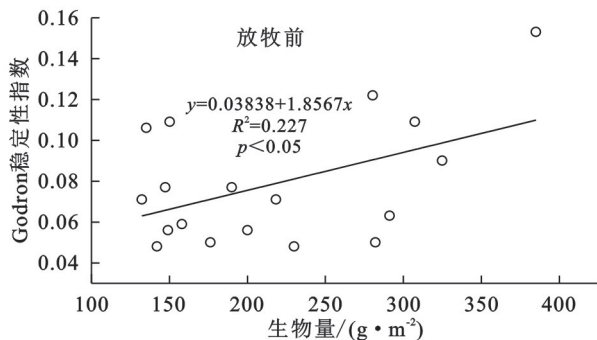


图 6 放牧前后哈巴河地区草地群落稳定性与生物量关系

Fig. 6 The relationship between stability and biomass in Habahe region before and after grazing

群落的稳定性不仅与放牧有关,水分和热量条件也是影响群落稳定性的重要因素。荒漠短命植物和一年生草本迅速生长也会在一定程度上调控群落稳定性,因为群落稳定性是生态系统内部相互作用的结果,根本上在于植物的生活史特征。人为放牧干扰和自然因素共同作用也会影响植物个体的生长,进而影响群落的稳定性。稳定性的研究是一个复杂的过程,日后需要进一步地深入研究。

3.3 放牧对稳定性—多样性关系的影响

生态系统中,保护植物的多样性对维持群落的稳定性至关重要^[5]。一般认为,生物多样性能够促进生态系统的稳定性,由于物种对不同环境有不同程度的响应,种群动态处于非同步状态,从而有助于维持种群或生态系统的稳定。研究表明,多样性和稳定性的关系大致可以分为 3 类:正相关、负相关和非线性关系^[31]。

在本研究中,放牧前后草地群落稳定性与植物多样性关系发生了变化,多样性指数对群落稳定性的影响也不同。放牧前,草地群落稳定性与 Margalef 指数呈极显著正相关,这与学者 Tilman^[7]、雷石龙等^[23]的研究结果一致。原因可能是放牧前草地群落物种比较丰富,抗干扰能力强,种群不易受到破坏,所以提高物种的丰富度能够增强群落的稳定性。Simpson 指数与群落稳定性关系放牧前后呈现出完全相反的关系,在放牧前呈极显著正相关,放牧后呈显著负相关,这与司瑞等^[32]在黑河下游研究的结果相似。优势度效应认为优势种的稳定性对群落稳定性具有重要作用,放牧会使某些优势物种被采食或破坏,降低物种的优势度,从而导致与稳定性关系的变化^[33]。本研究发现,Shannon-Wiener 指数与群落稳定性关系在放牧前呈极显著相关,这符合近年来许多生态学家得出的结论,“植物多样性与群落稳定性之间存在正相关关系”^[28-29]。

多样性影响稳定性,但造成这种影响的驱动力并不只是多样性。有学者研究后发现植物群落多样性

与稳定性之间的关系较为复杂,群落稳定性受到多种因素交互作用影响,只采用某一种方法进行研究无法得出普遍适用性的结论。因此,对于放牧对多样性—稳定性关系的研究,还有待进一步探讨。

3.4 放牧对稳定性—生物量关系的影响

地上生物量与植物多样性对生态系统稳定的影响是生态学家关注的重点,研究表明,生物量越高,则群落的稳定性越好。本文的研究证明了这一点,放牧前的生物量与稳定性呈现一个正相关关系,即群落稳定性变化随生物量的大小而改变。

另外,本研究还发现,在放牧的影响下,地上生物量与草地群落稳定性的关系不相关,这可能是因为放牧后,禾本科这类适口性较好的植物被家畜大量采食,地上生物量大大减少^[26],导致地上生物量对群落稳定性的响应没有放牧前显著。也可能是由于各类草本植物生长速率和分布存在差异,家畜也会选择适口性更好的植物作为食物来源,在不同的放牧环境下,群落地上生物量会发生显著变化^[34],导致地上生物量与群落稳定性的关系也发生了明显的变化。不同的放牧强度也对群落稳定性和生物量关系存在影响,适度放牧的环境下会促进草地的营养循环和光合作用,改善冠层辐射状况,促进资源再分配等,有助于减少生物量的变异性,进而利于维持群落的稳定性^[35]。因此,寻找最适宜的放牧方式是促进群落稳定性维持的关键因素之一。

草地生态系统的稳定性与多样性及生物量关系容易受环境条件以及外界扰动的影响,是一个复杂的过程,还需要进一步的研究。

4 结论

放牧会导致植物群落的多样性指数、生物量、盖度及高度降低,并在一定程度上降低了群落的稳定性,但群落总体上处于稳定状态。放牧对草地群落稳

定性与多样性关系的影响综合表现为放牧会减弱稳定性与丰富度及多样性的相关性,会改变稳定性与优势度的关系,不会影响稳定性与均匀度的关系。放牧前哈巴河地区草地群落稳定性与地上生物量关系呈显著正相关,放牧后二者相关性不显著。群落稳定性与地上生物量的关系大体上表现为放牧导致生物量降低并进一步导致草地群落稳定性降低。

参考文献(References):

- [1] 张海燕,樊江文,邵全琴,等.2000—2010年中国退牧还草工程区生态系统宏观结构和质量及其动态变化[J].草业学报,2016,25(4):1-15.
Zhang H Y, Fan J W, Shao Q Q, et al. Ecosystem dynamics in the 'Returning Rangeland to Grassland' programs, China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(4):1-15.
- [2] 巩国丽,刘纪远,邵全琴.草地覆盖度变化对生态系统防风固沙服务的影响分析:以内蒙古典型草原区为例[J].地球信息科学学报,2014,16(3):426-434.
Gong G L, Liu J Y, Shao Q Q. Effects of Vegetation Coverage Change on Soil Conservation Service of Typical Steppe in Inner Mongolia[J]. Journal of Geoinformation Science, 2014, 16(3):426-434.
- [3] 张鹏,王新杰,王勇,等.北京山区3种典型人工林群落结构及稳定性[J].东北林业大学学报,2016,44(1):1-5.
Zhang P, Wang X J, Wang Y, et al. Community structure and stability of typical plantation in the mountains of Beijing[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016, 44(1):1-5.
- [4] 廖玉静,宋长春,郭跃东,等.三江平原湿地生态系统稳定性评价指标体系和评价方法[J].干旱区资源与环境,2009,23(10):89-94.
Liao Y J, Song C C, Guo Y D, et al. Index system and methodology for wetland ecosystem stability in Sanjiang Plain[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(10):89-94.
- [5] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands[J]. Nature, 1994, 367:363-365.
- [6] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges[J]. Science, 2001, 294(5543):804-808.
- [7] Tilman D. Biodiversity: Population versus ecosystem stability[J]. Ecology, 1996, 77(2):350-363.
- [8] Naeem S, Li S B. Biodiversity enhances ecosystem reliability[J]. Nature, 1997, 390:507-509.
- [9] 王国宏.再论生物多样性与生态系统的稳定性[J].生物多样性,2002,10(1):126D134.
Wang G H. Further thoughts on diversity and stability in ecosystems[J]. Chinese Biodiversity, 2002, 10(1):126-134.
- [10] 张立敏,陈斌,李正跃.应用中理论分析局域群落中的物种多样性及稳定性[J].生态学报,2010,30(6):1556-1563.
Zhang L M, Chen B, Li Z Y. Analysis of the species diversity and community stability in local-community using the Neutral Theory[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6):1556-1563.
- [11] 袁梓裕,张路,廖李容,等.黄土高原草地植物多样性与群落稳定性的关系及其驱动因素[J].生态学报,2023,43(1):60-69.
Yuan Z Y, Zhang L, Liao L R, et al. Relationship between grassland plant diversity and community stability and its driving factors on the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(1):60-69.
- [12] Campbell V, Murphy G, Romanuk T N. Experimental design and the outcome and interpretation of diversity-stability relations[J]. Oikos, 2011, 120(3):399-408.
- [13] 薛晨阳,李相虎,谭志强,等.鄱阳湖典型洲滩湿地植物群落稳定性及其与物种多样性的关系[J].生态科学,2022,41(2):1-10.
Xue C Y, Li X H, Tan Z Q, et al. Plant community stability and its relationship with species diversity of typical wetland in Poyang Lake, China[J]. Ecological Science, 2022, 41(2):1-10.
- [14] Huberty L E, Gross K L, Miller C J. Effects of nitrogen addition on successional dynamics and species diversity in Michigan oldfields[J]. Journal of Ecology, 1998, 86(5):794D803.
- [15] 徐燕,邓铭江,白涛,等.干旱半干旱区“三生融合”视角下水平衡策略研究:以新疆哈巴河县为例[J].中国水利,2023(9):55-58.
Xu Y, Deng M J, Bai T, et al. Study on water balance measures in arid and semiarid regions from the perspective of 'production-life-ecology spatial function integration': A case study of Habahe County in Xinjiang[J]. China Water Resources, 2023(9):55-58.
- [16] 赵芸君,哈尔·阿力,雒诚龙,等.阿勒泰富蕴县春秋牧场生产能力的研究[J].草地学报,2018,26(4):1020-1025.
Zhao Y J, Ha Er, Luo C L, et al. Study on the production of spring and autumn pasture in Fuyun County, Aletai Region[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(4):1020D1025.
- [17] 马克平.生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上)[J].生物多样性,1994,2(3):162-168
Ma K P. Measurement method of biological community diversity I. Measurement method of α diversity (I) [J]. Biodiversity Science, 1994, 2(3):162-168.
- [18] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下)[J].生物多样性,1994,2(4):231-239.
Ma K P, Liu Y M. Methods for measuring biodiversity of biological communities I. Methods for measuring

- α -diversity (II)[J]. *Biodiversity Science*, 1994, 2(4): 231-239.
- [19] Baselga A, Leprieur F. Comparing methods to separate components of beta diversity[J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2015, 6(9):1069-1079.
- [20] Godron M, Daget P, Poissonet J, et al. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal (France)[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, 36(5):28-32.
- Zheng Y R. Comparison of methods for studying stability of forest community[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(5):28-32.
- [22] 王鲜鲜, 张克斌, 王晓, 等. 宁夏盐池四儿滩湿地-干草原植被群落稳定性研究[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(5): 743-747.
- Wang X X, Zhang K B, Wang X, et al. Vegetation stability of the Siertan wetland-dry grassland in Yanchi, Ningxia[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(5):743-747.
- [23] 雷石龙, 廖李容, 王杰, 等. 高寒草地植物多样性与 Godron 群落稳定性关系及其环境驱动因素[J]. *草业学报*, 2023, 32(3):1-12.
- Lei S L, Liao L R, Wang J, et al. The diversity-Godron stability relationship of alpine grassland and its environmental drivers[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(3):1-12.
- [24] 刘玉祯, 刘文亭, 杨晓霞, 等. 放牧家畜组合对高寒草地植物群落特征及生产力的影响[J]. *生态学杂志*, 2024, 43(1):57-65.
- Liu Y Z, Liu W T, Yang X X, et al. The effect of livestock assemblage on plant community and productivity in alpine grassland[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2024, 43(1):57-65.
- [25] Gamoun M. Grazing intensity effects on the vegetation in desert rangelands of Southern Tunisia[J]. *Journal of Arid Land*, 2014, 6(3): 324-333. [28] Gamoun M. Grazing intensity effects on the vegetation in desert rangelands of Southern Tunisia[J]. *Journal of Arid Land*, 2014, 6(3):324-333.
- [26] 张晓玲, 徐田伟, 谭攀柱, 等. 季节放牧对高寒草原植被群落和生物量的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(10): 1576-1582.
- Zhang X L, Xu T W, Tan P Z, et al. Effect of seasonal grazing on plant community and biomass of alpine steppe[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(10):1576-1582.
- [27] 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, 25(7):1649-1656.
- Wang G J, Wang S P, Hao Y B, et al. Effect of grazing on the plant functional group diversity and community biomass and their relationship along a precipitation gradient in Inner Mongolia Steppe[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7):1649-1656.
- [28] 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.
- Liu J H, Wang Z W, Han G D. Effects of heavy grazing on the interspecific relationship of main plant species and community stability in a desert steppe[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(9):2595-2602.
- [29] 刘菊红. 放牧与降水对短花针茅荒漠草原植物群落稳定性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- Liu J H. Effects of Grazing and Precipitation on Plant Community Stability in *Stipa Breviflora* Desert Steppe[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [30] 祁正超, 常佩静, 李永善, 等. 放牧对荒漠灌丛草地土壤团聚体组成及其稳定性的影响[J]. *干旱区研究*, 2021, 38(1):87-94.
- Qi Z C, Chang P J, Li Y S, et al. Effects of grazing intensity on soil aggregates composition, stability, nutrients and C/N in desert shrubland[J]. *Arid Zone Research*, 2021, 38(1):87-94.
- [31] Grime J P. Benefits of plant diversity to ecosystems: Immediate, filter and founder effects[J]. *Journal of Ecology*, 1998, 86(6):902-910.
- [32] 司瑞, 刘冰, 赵文智, 等. 黑河下游尾间区植物群落物种多样性与稳定性格局[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(3):174-184.
- Si R, Liu B, Zhao W Z, et al. Species diversity and stability patterns of plant communities in the tail area of the Heihe River[J]. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(3):174-184.
- [33] 李成阳, 赖焱敏, 彭飞, 等. 青藏高原北麓河流域不同退化程度高寒草甸生产力和群落结构特征[J]. *草业科学*, 2019, 36(4):1044-1052.
- Li C Y, Lai C M, Peng F, et al. Alpine meadows at different stages of degradation in the Beiluhe Basin of the Qinghai-Tibet Plateau: Productivity and community structure characteristics[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(4):1044-1052.
- [34] Tilman D, Reich P B, Isbell F. Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(26):10394-10397.
- [35] Olff H, De Leeuw J, Bakker J P, et al. Vegetation succession and herbivory in a salt marsh: Changes induced by sea level rise and silt deposition along an elevational gradient[J]. *The Journal of Ecology*, 1997, 85(6):799.