•研究报告•

不同放牧强度对赛罕乌拉草原蜘蛛多样性的影响

张宇^{1#}, 王露雨^{1#}, 向昌林², 段美春^{3*}, 张志升^{1*}

1. 西南大学生命科学学院三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 赛罕乌拉国家级自然保护区管理局, 内蒙古赤峰 025150; 3. 西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400715

摘要: 蜘蛛作为草原生态系统中的主要消费者, 对维系草原生物多样性和生态系统功能具有重大意义。放牧是人类利用草原最普遍的方式, 了解放牧对蜘蛛多样性的影响具有重要生态学意义。本研究调查了内蒙古赛罕乌拉草原上5个不同放牧强度样地中的蜘蛛多样性, 通过单因素方差分析(one-way analysis of variance)比较各样地中的蜘蛛多样性, 非度量多维标度分析(non-metric multidimensional scale, NMDS)和相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)比较各样地间的蜘蛛物种组成相似性, 再结合相关性分析探讨了植被高度对蜘蛛多样性的影响。结果表明: 重度放牧强度样地的蜘蛛多样性显著低于其他未放牧及轻度放牧样地; 具体到常见科上, 放牧强度对织网型的园蛛物种数和个体数影响显著, 而对游猎型的狼蛛、跳蛛却不明显; 织网型蜘蛛主要受植被结构影响, 而游猎型蜘蛛更可能受潜在猎物可得性的影响。NMDS分析表明不同放牧强度下, 蜘蛛类群的物种组成呈现明显的梯度变化, 放牧强度越低, 物种组成和未放牧样地越相近。相关性分析表明草原植被高度与蜘蛛多样性总体上呈正相关关系, 即植被高度越高, 蜘蛛多样性越高。其中依靠植物构建蛛网的园蛛科和在植物上层伏击猎物的蟹蛛科、逍遥蛛科等与植被高度显著相关。这说明植物资源及其空间异质性可能对草原蜘蛛多样性起着主导作用。因此, 降低放牧强度有助于保护草原蜘蛛群落的多样性, 特别有利于织网型蜘蛛。

关键词: 草原生态系统; 放牧强度; 织网型蜘蛛; 游猎型蜘蛛; 功能群

张宇, 王露雨, 向昌林, 段美春, 张志升 (2021) 不同放牧强度对赛罕乌拉草原蜘蛛多样性的影响. 生物多样性, 29, 467–476. doi: 10.17520/biods.2020214.

Zhang Y, Wang LY, Xiang CL, Duan MC, Zhang ZS (2021) Effects of different grazing intensities on spider diversity in Saihanwula Grassland. Biodiversity Science, 29, 467–476. doi: 10.17520/biods.2020214.

Effects of different grazing intensities on spider diversity in Saihanwula Grassland

Yu Zhang^{1#}, Luyu Wang^{1#}, Changlin Xiang², Meichun Duan^{3*}, Zhisheng Zhang^{1*}

1 Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715

2 Saihanwula National Nature Reserve Administration, Chifeng, Inner Mongolia 025150

3 College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715

ABSTRACT

Aims: As the main consumers of grassland ecosystem, spiders are of great significance to maintain biodiversity and ecosystem function in grasslands. Grazing is the most common way for humans to exploit grasslands, so it is ecologically important to understand the effects of grazing on the spider diversity. In this study, we selected five sample plots that varied in their grazing intensity in the Saihanwula Grassland in Inner Mongolia.

Methods: We analyzed differences in spider diversity and species composition among these five sample sites using one-way analysis of variance tests and non-metric multidimensional scale analysis (NMDS) and analysis of similarities (ANOSIM), respectively. We also evaluated the effect of vegetation height on spider biodiversity using a correlation analysis.

Results: Spider biodiversity in heavily grazed sites is significantly lower than in non-grazed and lightly grazed sites.

收稿日期: 2020-05-26; 接受日期: 2020-12-09

基金项目: 科技部基础调查专项(2018FY100305)、国家自然科学基金(31672278)和重庆市研究生科研创新项目(CYS20104)

共同第一作者 Co-first authors

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: duanmc@swu.edu.cn; zhangzs327@qq.com

Grazing intensity also had a significant effect on spider richness and the abundance of garden spiders, but not on the number of wolf and jumping spiders. Web-building spiders were mainly affected by vegetation structure, while hunting spiders were more likely to be affected by potential prey availability. NMDS analysis revealed that species composition significantly varied across sites of different grazing intensities. Sites with lower grazing intensities had more similar composition to non-grazed sites than sites that were heavily grazed. The correlation analysis showed that the height of grassland vegetation was positively related to spider biodiversity. Spiders from the family Araneidae (which build webs on plants), Thomisidae and Philodromidae (which ambush prey on the upper layer of plants) were highly correlated with vegetation height.

Conclusions: Our results suggest that available resources and spatial heterogeneity of habitat could play a leading role in supporting high grassland spider diversity. Therefore, reducing grazing intensity can contribute to the maintenance of grassland spider diversity community composition, especially for web-building spiders that depend on the vegetation structure provided by intact grasslands.

Key words: grassland ecosystem; grazing intensity; web-building spiders; hunting spiders; functional group; biodiversity

草地是我国陆地上面积最大的生态系统, 可利用面积 3.10×10^8 ha, 对发展畜牧业、保护生物多样性、保持水土和维护生态平衡有着重要的作用和价值(谢高地等, 2001)。放牧是草原最普遍和最经济的利用方式之一, 也是调节草地生产力最有效的管理方式(刘勇等, 2016)。另一方面, 在对草原生态系统的众多干扰因素中, 放牧干扰强度最大、频率最高、干扰时间最长、影响后果最严重(李文龙等, 2010)。不同的放牧强度对草原生态系统会产生不同的影响, 过度放牧直接导致植物多样性(宋洁等, 2019)、土壤动物物种与群落多样性(武崎等, 2016)以及土壤微生物群落多样性(丁成翔等, 2020)的显著下滑, 导致草原植被退化, 从而加剧土壤荒漠化(李东丽, 2020)。荒漠化的土壤动物群落又通过改变土壤特性、微生物活动等影响分解过程和生态系统的物质循环和能量流动(Wardle et al, 2004), 进而影响生物生存环境, 进一步加剧生物多样性的下滑。

蜘蛛是草原中常见的动物类群之一, 是许多草原害虫的重要天敌。蜘蛛多样性的变化可以反映土地利用的变化(Duan et al, 2019a), 以及其他土壤生物群落的组成、丰度和丰富度的变化(Bell et al, 2001)。蜘蛛在自然生物控制中起着重要作用, 它们对耕作、播种、收获、施用农药、放牧方式都很敏感(Freiberg et al, 2019), 常被选作生物多样性指示类群进行研究。蜘蛛主要有两种捕食方式: 织网型和游猎型。蜘蛛捕食方式在驱动营养级联和影响生态系统功能方面具有重要意义(Perkins et al, 2018)。近年来, 有研究从不同角度探讨了蜘蛛功能群在各种生境下的多样性, 但对草地蜘蛛的研究较少(周

文婕等, 2019; 胡文浩等, 2020), 而放牧强度对两种捕食方式蜘蛛多样性的影响也尚不清楚。

本研究在内蒙古赛罕乌拉草原选择5个不同放牧强度的样地, 分析蜘蛛的群落多样性、分布格局以及功能群结构的差异, 以及植被高度对蜘蛛多样性的影响, 探讨放牧强度对蜘蛛群落多样性和功能群的影响, 以期为草原管理和蜘蛛多样性的保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域位于内蒙古赤峰市巴林右旗赛罕乌拉草原($118^{\circ}18'-118^{\circ}55'$ E, $43^{\circ}59'-44^{\circ}27'$ N)。该地区是草原向森林、东亚阔叶林向大兴安岭寒温带针叶林过渡的地带, 属中温带半湿润温寒气候区, 冬季漫长而寒冷, 夏季短而骤热, 年均降水量400 mm左右(袁梨等, 2009)。土壤主要以山地黑土、灰黑土、暗棕壤、暗栗钙土为主(周梅等, 2014)。主要植物为羊草 (*Leymus chinensis*)、叉分蓼 (*Polygonum divaricatum*)、灰脉藁草 (*Carex appendiculata*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*) 和寸草藁 (*Carex duriuscula*)等(张书理等, 2008)。

1.2 蜘蛛采集及标本鉴定

根据不同放牧强度选取5块样地, 每块样地面积在1 km²以上。(1)样地I: 位于二林坝, 由重度放牧样地包围所形成的一块孤岛, 由灌丛包围, 内部为草地, 没有牲畜进去取食, 平均植被高度19.31 cm; (2)样地II: 未放牧样地, 位于正沟, 既不打草也不放牧, 平均植被高度27.84 cm; (3)样地III: 轻度放

牧样地, 位于大东沟, 秋季打草, 偶尔放牧, 约1只羊/ha, 平均植被高度25.04 cm; (4)样地IV: 中度放牧样地, 位于常兴东沟, 秋季打草, 打草后的秋季和春季放牧, 约4只羊/ha, 平均植被高度17.09 cm; (5)样地V: 重度放牧样地, 位于二林坝, 约6只羊/ha, 平均植被高度4.11 cm (图1), 样地间隔500 m以上。每块样地随机选取3个2 m × 25 m的样方, 相邻样方间距至少100 m。

在样地选择时, 取样样方与林地或其他生境的最近距离均在500 m以上, 以尽量减少周围生境的影响。2014年8月, 我们采用扫网法和徒手法从样方四周边缘向中心逐步进行蜘蛛样本采集。所有取样均于9:30 am开始、天气晴朗或微阴、气温 > 15℃、风速 < 2.5 m/s的条件下进行。在样方内边走边挥网,

每1 s挥网1次, 持续进行5 min。步行速度大约为6–7 m/min, 捕虫网网纱80目, 网口直径40 cm, 网深55 cm, 杆长110 cm。扫网后, 将样方内的草压倒, 尽可能采集草根、落叶层下、石下等各种微生境中的蜘蛛, 由两个人前后各采集1次。相同样地内的样方采集时间相当, 但不同样地的样方采集时间随样地的复杂程度不同而不同: 植被茂盛、蜘蛛个体丰富的样方采集时间长, 超过了1 h; 重度放牧样地约20 min。所有样地都是相同的取样人和取样时间, 并尽量收集到样方内所有的蜘蛛个体。采集的标本保存于75%的酒精中带回实验室进行鉴定。成体根据第二性征(触肢器和外雌器)鉴定到物种水平; 幼体根据体形、眼的排列、身体上的斑纹等特征, 尽可能鉴定到种, 部分幼体只能鉴定到属或科(以属

图1 不同放牧强度样地生境照片

Fig. 1 Photos of sample sites

名或科名 + sp.表示,如同属或同科有多种类似幼体,以sp.1, sp.2, ..., 等表示)。

参考Sanders等(2011, 2015)的功能群分类方法,将蜘蛛分为织网型和游猎型。

1.3 植被调查

在每块样地中沿对角线选取3块50 cm × 50 cm的小样方,记录样方中出现的维管植物物种名和数量,测定物种的平均高度,以样方中所有维管植物物种的高度加权平均值作为植被群落的平均高度。

1.4 数据处理

采用蜘蛛科数、物种数、总个体数、织网型蜘蛛个体数和游猎型蜘蛛个体数作为蜘蛛多样性的评价指标,并将个体数量占该样地个体总数10%以上的物种定义为优势种。在ArcGIS 10.2中利用Mantel I空间自相关分析对各个蜘蛛多样性指标进行分析,结果显示各指标在不同样地间均不存在显著的空间自相关。采用单因素方差分析检验各样地蜘蛛多样性的差异,利用LSD检验进行不同放牧强度下蜘蛛多样性的多重比较。在方差分析前对变量进行正态性和齐性检验,不符合正态性和方差齐性的变量进行对数转换。为了确定不同放牧强度下蜘蛛群落物种组成的差异,分别对科级组成、物种组成、织网型蜘蛛和游猎型蜘蛛物种组成,基于Bray-Curtis指数进行非度量多维标度分析(non-metric multidimensional scale, NMDS)。进一步通过相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)研究不同放牧强度样地的组内及组间差异,差异显著性采用999次重复置换检验。最后,对植被高度和蜘蛛群落多样性指数进行相关性分析。以上数据分析使用R 3.6.1中的vegan包和agricolae包。

2 结果

2.1 蜘蛛群落组成

5个样地共采集到蜘蛛19科79种1,112头,其中幼体744头,占比66%(附录1)。逍遥蛛科、蟹蛛科、狼蛛科和园蛛科的个体数量最多,分别占总个体数的23.11%、17.27%、14.12%和11.33%。不同放牧强度样地中蜘蛛群落的类群数、优势类群和常见类群组成不同。样地I的优势种为娇长逍遥蛛(*Tibellus tenellus*)、金黄逍遥蛛(*Philodromus aureoles*)、岛民花蟹蛛(*Xysticus insulicola*)和灌木新园蛛(*Neoscona adianta*),个体数分别占该样地总数的69.59%、

15.67%、14.75%和14.29%;样地II的优势种为朝鲜狼逍遥蛛(*Thanatus coreanus*)、岛民花蟹蛛和申氏豹蛛(*Pardosa schenkeli*),个体数分别占该样地总数的12.68%、10.87%和10.67%;样地III的优势种为朝鲜狼逍遥蛛和岛民花蟹蛛,个体数分别占该样地总数的25.10%和16.87%;样地IV的优势种为灌木新园蛛、印痕叶球蛛(*Phylloneta impressa*)和岛民花蟹蛛,个体数分别占该样地总数的22.34%、17.02%和17.02%;样地V的优势种为星豹蛛(*Pardosa astrigera*)、岛民花蟹蛛和肥腹蛛属一种(*Steatoda* sp.),个体数分别占该样地总数的21.43%、14.29%和10.00%。蜘蛛丰富度最高的样地为未放牧的样地II,采集到497个个体。而丰富度最低的是重度放牧的样地V,仅采集到70个个体。

2.2 蜘蛛群落多样性差异分析

蜘蛛科数、物种数、个体数、织网型蜘蛛数、游猎型蜘蛛数均随着放牧强度的增加而减少,呈负相关,而且不同放牧强度下各类多样性指标均有显著性差异(图2)。其中未放牧样地(II)的蜘蛛物种数、个体数、织网型蜘蛛数和游猎型蜘蛛数都极显著高于中度放牧样地(IV)和重度放牧样地(V)。轻度放牧样地(III)、被重度放牧包围的样地(I)和未放牧样地(II)的物种数、蜘蛛个体数、织网型蜘蛛数和游猎型蜘蛛数差异都不明显。中度放牧样地(IV)和重度放牧样地(V)间5种多样性指标的差异也不明显。除重度放牧样地(V),其他四个样地间的织网型蜘蛛个体数差异均不显著。而游猎型蜘蛛在未放牧样地(II)与中度放牧(IV)和重度放牧样地(V)间差异显著。对两种功能群中捕获数量较多的科——狼蛛科、跳蛛科、园蛛科等的分析发现,只有园蛛科的物种数和个体数在不同放牧强度间存在显著差异(图3),而狼蛛科和跳蛛科的物种数和个体数差异都不显著。

2.3 蜘蛛群落及功能群相似性分析

通过NMDS分析结果可知(图4),不同放牧强度样地的3个样方各自聚集在一起,说明不同放牧强度下蜘蛛群落组成具有一定差异。从总体上看,“孤岛”样地、未放牧样地和轻度放牧样地的蜘蛛群落更为接近,与后两个放牧梯度的蜘蛛群落有较显著的差异。NMDS第一轴主要代表了放牧强度的差异,各样地蜘蛛分类群在科一级上的组成差异在放牧强度越接近的情况下越小,被重度放牧区域所包围的样地I与未放牧和轻度放牧样地之间更为相似,

图2 不同放牧强度下蜘蛛的科数(A)、种数(B)、个体数(C)、织网型蜘蛛个体数(D)和游猎型蜘蛛个体数(E) (平均值 $\pm$ 标准误)。不同小写字母表示不同生境间差异显著($P < 0.05$)。I: “孤岛”; II: 未放牧样地; III: 轻度放牧样地; IV: 中度放牧样地; V: 重度放牧样地。

Fig. 2 The number of spider families (A), species (B), individuals (C), web-building spiders (D) and hunting spiders (E) of different grazing intensities (Mean $\pm$ SE). Different letters show significant differences among different sample sites ($P < 0.05$). I, “Isolated island”; II, Non-grazed; III, Lightly grazed; IV, Moderately grazed; V, Heavily grazed.

图3 不同放牧强度下园蛛科蜘蛛物种数(A)和个体数(B) (平均值 $\pm$ 标准误)。不同字母表示不同生境间的差异显著($P < 0.05$)。I: “孤岛”; II: 未放牧样地; III: 轻度放牧样地; IV: 中度放牧样地; V: 重度放牧样地。

Fig. 3 The number of species (A) and individuals (B) of Araneidae under different grazing intensities (Mean $\pm$ SE). Different letters show significant differences among different sample sites ($P < 0.05$). I, “Isolated island”; II, Non-grazed; III, Lightly grazed; IV, Moderately grazed; V, Heavily grazed.

而中度放牧样地和重度放牧样地差异更大(图4A)。在物种一级上,蜘蛛类群的物种组成呈现更为明显的梯度变化,放牧强度越低,物种组成和未放牧样地(II)越相近(图4B)。而织网型蜘蛛和游猎型蜘蛛的物种组成在孤岛(I)、未放牧(II)和轻度放牧(III)3个样地间更为相近,与重度放牧样地(V)差异较大。此外,相似性分析(ANOSIM)表明蜘蛛群落在科级($R = 0.726$, $P < 0.001$)、种级($R = 0.791$, $P < 0.001$)、织网型($R = 0.599$, $P < 0.001$)和游猎型($R =$

0.721 , $P < 0.001$)四个指标上,不同放牧强度样地中的组间差异显著大于组内差异。

2.4 植被高度与蜘蛛多样性的相关性分析

相关分析发现植被高度与蜘蛛物种数、蜘蛛个体数、织网型蜘蛛个体数和游猎型蜘蛛个体数显著正相关($P < 0.05$),而与蜘蛛科数无显著的正相关关系($P = 0.056$)(图5)。此外,对采集标本中数量较多的科与植被高度的相关性分析结果表明:植被高度与蟹蛛科和逍遥蛛科呈极显著正相关($P < 0.001$),

图4 基于NMDS的不同放牧强度样地的蜘蛛群落。A: 科级; B: 种级; C: 织网型蜘蛛; D: 游猎型蜘蛛。I: “孤岛”; II: 未放牧样地; III: 轻度放牧样地; IV: 中度放牧样地; V: 重度放牧样地。

Fig. 4 Community composition of sample plots under different grazing intensities by NMDS analysis. A, Family; B, Species; C, Web-building spiders; D, Hunting spiders. I, “Isolated island”; II, Non-grazed; III, Lightly grazed; IV, Moderately grazed; V, Heavily grazed.

图5 蜘蛛多样性与植被高度的相关性拟合

Fig. 5 Correlation fitting of spider biodiversity and vegetation height

图6 蜘蛛各科个体数与植被高度的相关性拟合

Fig. 6 Correlation fitting of number of spider families and vegetation height

与园蛛科呈显著正相关($P = 0.015$), 与球蛛科、跳蛛科和狼蛛科不存在显著的相关性($P = 0.604$; $P = 0.109$; $P = 0.367$) (图6)。草原植被高度与蜘蛛多样性相关性比较显著, 总体上是植被高度越高的样地, 蜘蛛科数、物种数、个体数以及织网蜘蛛个体数和游猎蜘蛛个体数也更多。

3 讨论

3.1 放牧强度对蜘蛛多样性的影响

与其他研究(Gibson et al, 1992; Řezáč & Heneberg, 2019)类似, 我们也发现重度放牧样地(V)与未放牧样地(II)之间的蜘蛛科数、物种数、个体数、织网型蜘蛛数和游猎型蜘蛛数均有着显著差异, 符合资源异质性与生产力假说(resource-heterogeneity and resource-productivity hypotheses) (Siemann, 1998; Waide et al, 1999)。上述样地的植被特征差异明显, 重度放牧样地牧草的高度仅有4 cm左右, 而未放牧样地牧草高度超过20 cm。牧草高度越高, 垂直结构越复杂, 空间异质性越高, 为蜘蛛提供的隐蔽场所就越多, 蜘蛛多样性也更为丰富(图5) (Dennis et al, 2001; Horváth et al, 2009)。我们的研究结果也印证了植被高度对蜘蛛物种数、个体数、织网型蜘蛛、

游猎型蜘蛛和常见科的个体数都有显著的影响。一种可能的原因是上行效应(bottom-up effect)。放牧通过破坏植物与昆虫的相互作用并减少了地上无脊椎动物栖息地的空间大小和复杂性来影响昆虫群落, 如直翅目、鳞翅目、膜翅目等, 它们均为蜘蛛的主要猎物类群(Kruess & Tschamntke, 2002)。

3.2 放牧强度对不同功能群蜘蛛的影响

织网型蜘蛛需要环境中存在有适宜的物理结构支持才能织网捕食(Lubin, 1978), 因此, 植被高度相对较高的样地(II、III、IV)的织网型蜘蛛多样性差异不明显, 而植被高度仅5 cm的样地(V)却难见其踪影(图2D)。而且, 由于重度放牧区域牲畜频繁地践踏, 导致在地面织漏斗网的漏斗蛛科也难以生存(Warui et al, 2005)。本研究中织网型蜘蛛的多样性及组成差异对于不同放牧强度的响应相比于游猎型蜘蛛更小。这可能是由于游猎型蜘蛛受植被结构的影响相比织网型蜘蛛要小, 其多样性减少更可能是由于猎物的可获得性减少导致。游猎型蜘蛛活动能力强, 消耗能量快, 需要频繁进食, 当重度放牧样地的食物资源不足时, 便会开始迁移。而织网型蜘蛛几乎均为“坐等型”捕食者, 能量消耗慢, 受食物资源影响相对较小(Sanders et al, 2011)。植被高度

差异明显的样地IV与样地V之间蜘蛛多样性差异不明显,这可能是由于重度放牧会增加耐受能力较强蜘蛛的多样性。例如,狼蛛是蜘蛛中的拓荒者,其耐受能力非常强。我们在样地V发现了5种狼蛛22个个体;而在样地IV只发现了3种狼蛛12个个体。分别占到各自蜘蛛群落物种数及个体数的22.73%、30.99%和14.29%、12.77%。虽然样地V织网型蜘蛛较少,但狼蛛及其他耐受能力强的物种的种类和个体的增加使两个样地的蜘蛛多样性差异不大。相对于对放牧强度响应不显著的狼蛛科和跳蛛科,园蛛科的物种数和个体数在不同放牧强度样地间差异显著(图4)。这可能是由于狼蛛和跳蛛以游猎型为主,主要在地表活动,而园蛛科主要在植物上织网取食,因此对于植物结构具有更为强烈的需求(Bell et al, 2001; Schmidt et al, 2008)。而放牧强度对于样地的影响主要就是体现在植物群落上,植被高度越高,可供园蛛织网的空间就越多,园蛛科个体数也随之增多。狼蛛和跳蛛由于更强的活动能力,可以尽量降低过度放牧的负面影响,因而植被高度和狼蛛科、跳蛛科个体数之间没有显著的相关性(图6C)(Duan et al, 2019a)。因此,织网型蜘蛛,特别是园蛛科,更适合作为重度放牧的指示类群。

值得注意的是,本研究观察到球蛛科与植被高度呈不显著正相关,这可能是由于板隅拟肥腹蛛(*Parasteatoda tabulata*)、温室拟肥腹蛛(*P. tepidariorum*)和拟肥腹蛛属一种(*Parasteatoda* sp.)虽为织网型蜘蛛,但却偏好在大石块下织网,因此对植被结构的依赖性不高。而逍遥蛛科和蟹蛛科与植被高度呈极显著正相关(图6),这可由逍遥蛛科和蟹蛛科的习性及其多捕食者效应(multiple predators effect)解释。主动出击的游猎型蜘蛛(如跳蛛、狼蛛等)多栖息于植被的中下层,而逍遥蛛科及蟹蛛科等依靠伏击猎物捕食的蜘蛛倾向于占领植被的冠层(Barton & Schmitz, 2009)。当放牧强度增加,植被高度降低,迫使它们的栖息地下移,从而两者的生境重合。实验模拟(Schmitz, 2007)表明,这种情况会导致种间侵略,因为捕食者在有限的空间中争夺和保卫狩猎区域。主动出击的蜘蛛获取资源的能力更强,受到植被高度降低的影响较小,抑制了逍遥蛛科及蟹蛛科的种群数量。因而植被高度对逍遥蛛科及蟹蛛科的显著影响更可能是间接效应(Barton & Schmitz, 2009)。

3.3 残存生境对蜘蛛多样性的影响

样地I位于重度放牧区域之中,是由重度放牧草原包围形成的一片生境孤岛,四周为一片灌木林,从而与重度放牧样地隔开。茂盛的灌木丛阻碍了牛羊的踩踏,使这片孤岛未受放牧的影响。大多数蜘蛛在幼年期都具有飞航的能力,且飞航能力从几米到几千公里不等,从而使其可以逃离原生生境的不利环境,在新的适宜生境快速建立种群(Bell et al, 2005; Pfister et al, 2015; Duan et al, 2019b)。样地I的物种组成与未放牧样地和轻度放牧样地更接近,却与周边的重度放牧样地差异很大,可能是集约化的土地利用强度迫使蜘蛛进行迁徙和寻找避难所,使周边重度放牧草地中的蜘蛛群落向样地I转移,导致样地I保持着周边样地未放牧时的多样性,因而与未放牧样地物种组成更接近(Rand et al, 2006)。可见残存生境对蜘蛛保护具有重要意义。

草原蜘蛛群落的多样性及功能群结构与生境类型及土地利用强度密切相关,更高的空间及资源异质性能有效提高蜘蛛的多样性。织网型和游猎型两种不同捕食方式的蜘蛛占据不同的生态位,并起到连接草原生态系统不同食物网的重要作用。因此,减少放牧强度(放牧持续时间和牲畜密度等),维持植被群落复杂的垂直结构,有利于蜘蛛多样性的保护,考虑到蜘蛛的捕食性,可以具有较好的虫害生物控制潜力,对草原的可持续发展和利用有着重要意义。

ORCID

张宇 <https://orcid.org/0000-0003-0663-9852>
王露雨 <https://orcid.org/0000-0002-5250-3473>
段美春 <https://orcid.org/0000-0002-9061-2654>
张志升 <https://orcid.org/0000-0002-9304-1789>

参考文献

- Barton BT, Schmitz OJ (2009) Experimental warming transforms multiple predator effects in a grassland food web. *Ecology Letters*, 12, 1317–1325.
- Bell JR, Bohan DA, Shaw EM, Weyman GS (2005) Ballooning dispersal using silk: World fauna, phylogenies, genetics and models. *Bulletin of Entomological Research*, 95, 69–114.
- Bell JR, Wheeler CP, Cullen WR (2001) The implications of grassland and heathland management for the conservation of spider communities: A review. *Journal of Zoology*, 255, 377–387.
- Dennis P, Young MR, Bentley C (2001) The effects of varied

- grazing management on epigeal spiders, harvestmen and pseudoscorpions of *Nardus stricta* grassland in upland Scotland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86, 39–57.
- Ding CX, Yang XX, Dong QM (2020) Effects of grazing patterns on vegetation, soil and microbial community in alpine grassland of Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Agrestia Sinica*, 28, 159–169. (in Chinese with English abstract) [丁成翔, 杨晓霞, 董全民 (2020) 青藏高原高寒草原放牧方式对植被、土壤及微生物群落的影响. *草地学报*, 28, 159–169.]
- Duan MC, Hu WH, Liu YH, Yu ZR, Li X, Wu PL, Zhang F, Shi HL, Baudry J (2019a) The influence of landscape alterations on changes in ground beetle (Carabidae) and spider (Araneae) functional groups between 1995 and 2013 in an urban fringe of China. *Science of the Total Environment*, 689, 516–525.
- Duan MC, Liu YH, Li X, Wu PL, Hu WH, Zhang F, Shi HL, Yu ZR, Baudry J (2019b) Effect of present and past landscape structures on the species richness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) in a dynamic landscape. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103649.
- Freiberg JA, de Sales Dambros C, Rodrigues ENL, Teixeira RA, Vieira ÂDHN, de Almeida HS, de Faccio Carvalho PC, Jacques RJS (2019) Increased grazing intensity in pastures reduces the abundance and richness of ground spiders in an integrated crop-livestock system. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1–10.
- Gibson CWD, Hambler C, Brown VK (1992) Changes in spider (Araneae) assemblages in relation to succession and grazing management. *Journal of Applied Ecology*, 29, 132–142.
- Horváth R, Magura T, Szinetár C, Tóthmérész B (2009) Spiders are not less diverse in small and isolated grasslands, but less diverse in overgrazed grasslands: A field study (East Hungary, Nyírség). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130, 16–22.
- Hu WH, Duan MC, Na SH, Zhang F, Yu ZR (2020) Spider diversity and community characteristics in cropland and two kinds of recovery habitats in Bashang area, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31, 643–650. (in Chinese with English abstract) [胡文浩, 段美春, 那书豪, 张锋, 宇振荣 (2020) 坝上地区农田及两种恢复生境中蜘蛛多样性与群落特征. *应用生态学报*, 31, 643–650.]
- Kruess A, Tscharntke T (2002) Grazing intensity and the diversity of grasshoppers, butterflies, and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology*, 16, 1570–1580.
- Li DL (2020) On the causes of grassland desertification and the countermeasures. *Forestry Science and Technology Information*, 52(1), 16–18. (in Chinese with English abstract) [李东丽 (2020) 草原荒漠化的成因及防治对策. *林业科技情报*, 52(1), 16–18.]
- Li WL, Su M, Li ZZ (2010) Analysis of AHP strategic decisions for the ecological risk of grazing system and management decisions in an alpine meadow at Gannan, Gansu. *Acta Prataculturae Sinica*, 19, 22–28. (in Chinese with English abstract) [李文龙, 苏敏, 李自珍 (2010) 甘南高寒草地放牧系统生态风险的AHP决策分析及管理对策. *草业学报*, 19, 22–28.]
- Liu Y, Zhang YW, Nan ZB, Duan TY (2016) Progress of research into the effects of native grassland management practices on plant disease. *Acta Ecologica Sinica*, 36, 4211–4220. (in Chinese with English abstract) [刘勇, 张雅雯, 南志标, 段廷玉 (2016) 天然草地管理措施对植物病害的影响研究进展. *生态学报*, 36, 4211–4220.]
- Lubin YD (1978) Seasonal abundance and diversity of web-building spiders in relation to habitat structure on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Arachnology*, 6, 31–51.
- Perkins MJ, Inger R, Bearhop S, Sanders D (2018) Multichannel feeding by spider functional groups is driven by feeding strategies and resource availability. *Oikos*, 127, 23–33.
- Pfister SC, Schäfer RB, Schirmel J, Entling MH (2015) Effects of hedgerows and riparian margins on aerial web-building spiders in cereal fields. *Journal of Arachnology*, 43, 400–405.
- Rand TA, Tylianakis JM, Tscharntke T (2006) Spillover edge effects: The dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecology Letters*, 9, 603–614.
- Řezáč M, Heneberg P (2019) Grazing as a conservation management approach leads to a reduction in spider species richness and abundance in acidophilous steppic grasslands on andesite bedrock. *Journal of Insect Conservation*, 23, 777–783.
- Sanders D, Schaefer M, Platner C, Griffiths GJK (2011) Intraguild interactions among generalist predator functional groups drive impact on herbivore and decomposer prey. *Oikos*, 120, 418–426.
- Sanders D, Vogel E, Knop E (2015) Individual and species-specific traits explain niche size and functional role in spiders as generalist predators. *Journal of Animal Ecology*, 84, 134–142.
- Schmidt MH, Thies C, Nentwig W, Tscharntke T (2008) Contrasting responses of arable spiders to the landscape matrix at different spatial scales. *Journal of Biogeography*, 35, 157–166.
- Schmitz OJ (2007) Predator diversity and trophic interactions. *Ecology*, 88, 2415–2426.
- Siemann E (1998) Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology*, 79, 2057–2070.
- Song J, Wang FG, Wen L, Wang LX, Li JL, Wu SN, Xu ZC (2019) Effects of grazing on plant diversity and soil nutrients in typical temperate steppe. *Acta Agrestia Sinica*,

- 27, 1694–1701. (in Chinese with English abstract) [宋洁, 王凤歌, 温璐, 王立新, 李金雷, 武胜男, 徐智超 (2019) 放牧对温带典型草原植物物种多样性及土壤养分的影响. 草地学报, 27, 1694–1701.]
- Waide RB, Willig MR, Steiner CF, Mittelbach G, Gough L, Dodson SI, Juday GP, Parmenter R (1999) The relationship between productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 257–300.
- Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, Setälä H, van der Putten WH, Wall DH (2004) Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304, 1629–1633.
- Warui CM, Villet MH, Young TP, Jocqué R (2005) Influence of grazing by large mammals on the spider community of a Kenyan savanna biome. *Journal of Arachnology*, 33, 269–279.
- Wu Q, Wu PF, Wang Q, Wen YL, Gao YM, Zhang RZ, Long W (2016) Effects of grazing intensity on the community structure and diversity of different soil fauna in alpine meadow. *Scientia Agricultura Sinica*, 49, 1826–1834. (in Chinese with English abstract) [武崎, 吴鹏飞, 王群, 文勇立, 高艳美, 张荣芝, 龙伟 (2016) 放牧强度对高寒草地不同类群土壤动物的群落结构和多样性的影响. 中国农业科学, 49, 1826–1834.]
- Xie GD, Zhang YL, Lu CX, Zheng D, Cheng SK (2001) Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 16, 47–53. (in Chinese with English abstract) [谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁 (2001) 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 16, 47–53.]
- Yuan L, Dai K, Bao WD, Yu PL (2009) Field survey on amphibians and reptiles in Saihanwula Nature Reserve, Inner Mongolia. *Sichuan Journal of Zoology*, 28, 283–285. (in Chinese with English abstract) [袁梨, 戴魁, 鲍伟东, 蔚培龙 (2009) 内蒙古赛罕乌拉国家级自然保护区两栖爬行动物调查. 四川动物, 28, 283–285.]
- Zhang SL, Yong WY, Yang YX, Lu ZX, Zhang F, Li GL (2008) Study on the vegetation classification in Saihanwula Nature Reserve. *Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition)*, 39, 74–79. (in Chinese with English abstract) [张书理, 雍伟义, 杨永昕, 卢朝霞, 张帆, 李桂林 (2008) 赛罕乌拉自然保护区植被分类研究. 内蒙古大学学报(自然科学版), 39, 74–79.]
- Zhou M, Zeng N, Zhao PW, Wei JS, Li P, Zhai MY (2014) Evaluation on the *Betula platyphylla* forest ecosystem service values in southern Daxing'anling. *Forest Resources Management*, (1), 120–126. (in Chinese with English abstract) [周梅, 曾楠, 赵鹏武, 魏江生, 李攀, 翟明瑶 (2014) 大兴安岭南段白桦次生林生态系统服务价值评估. 林业资源管理, (1), 120–126.]
- Zhou WJ, Zhong L, Huang JL, Xie YY, Luo YY (2019) Species diversity, functional group structure, and influencing factors of spider community in fragmented landscape of Thousand Island Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 39, 2226–2236. (in Chinese with English abstract) [周文婕, 仲磊, 黄杰灵, 谢央央, 罗媛媛 (2019) 千岛湖片段化景观中蜘蛛群落物种多样性和功能群结构及其影响因素. 生态学报, 39, 2226–2236.]

(责任编辑: 吴东辉 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 各样地蜘蛛名录

Appendix 1 List of spider species of each sample plot

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020214-1.pdf>

附录1 各样地蜘蛛名录

Appendix 1 List of spider species of each sample plot

物种 Species	个体数量 Number of individuals					捕食方式 Foraging type
	样地 I Sample site I	样地II Sample site II	样地 III Sample site III	样地 IV Sample site IV	样地V Sample site V	
漏斗蛛科 Agelenidae						
迷宫漏斗蛛 <i>Agelena labyrinthica</i> (Clerck, 1757)		2				织网型
双纹异漏斗蛛 <i>Allagelena bistriata</i> (Grube, 1861)	3	4	1			织网型
园蛛科 Araneidae						
帕氏尖蛛 <i>Aculepeira packardi</i> (Thorell, 1875)	1	6		1		织网型
肥胖园蛛 <i>Araneus pinguis</i> (Karsch, 1879)	2	17	23			织网型
园蛛属一种 <i>Araneus</i> sp.1	4					织网型
园蛛属一种 <i>Araneus</i> sp.2	3					织网型
横纹金蛛 <i>Argiope bruennichii</i> (Scopoli, 1772)	1	2	1	2		织网型
灌木新园蛛 <i>Neoscona adianta</i> (Walckenaer, 1802)	31	7	4	21		织网型
红螯蛛科 Cheiracanthiidae						
绿色红螯蛛 <i>Cheiracanthium virescens</i> Sundevall, 1833	7	17				游猎型
管巢蛛科 Clubionidae						
褐管巢蛛 <i>Clubiona neglecta</i> O. P. –Cambridge, 1862	1	28	1	4		游猎型
管巢蛛属一种 <i>Clubiona</i> sp.		2				游猎型
卷叶蛛科 Dictynidae						
大卷叶蛛 <i>Dictyna major</i> Menge, 1869	1					织网型
平腹蛛科 Gnaphosidae						
掠蛛属一种 <i>Drassodes</i> sp.	1	5	2			游猎型
欠虑平腹蛛 <i>Gnaphosa inconspicua</i> Simon, 1878		2				游猎型
曼平腹蛛 <i>Gnaphosa mandschurica</i> Schenkel, 1963		1				游猎型
平腹蛛属一种 <i>Gnaphosa</i> sp.1		5				游猎型
平腹蛛属一种 <i>Gnaphosa</i> sp.2		1				游猎型
狂蛛属一种 <i>Zelotes</i> sp.1		2	1		1	游猎型
狂蛛属一种 <i>Zelotes</i> sp.2		1			1	游猎型

物种 Species	个体数量 Number of individuals					捕食方式 Foraging type
	样地 I Sample site I	样地II Sample site II	样地 III Sample site III	样地 IV Sample site IV	样地V Sample site V	
狂蛛属一种 <i>Zelotes</i> sp.3			1			游猎型
皿蛛科 Linyphiidae						
斑皿蛛属一种 <i>Abiskoa</i> sp.				4	3	织网型
指丘皿蛛 <i>Agyneta dactylis</i> (Tao, Li & Zhu, 1995)					1	织网型
斑皿盖蛛 <i>Allomengea dentisetis</i> (Grube, 1861)		1				织网型
齿肢微蛛 <i>Erigone dentipalpis</i> (Wider, 1834)					1	织网型
三角弗蛛 <i>Floronia bucculenta</i> (Clerck, 1757)	2	27	2			织网型
卡氏盖蛛 <i>Nerienne cavaleriei</i> (Schenkel, 1963)		5				织网型
明显盖蛛 <i>Nerienne emphana</i> (Walckenaer, 1842)	1		1			织网型
皿蛛科一种 Linyphiidae sp.1	2	2	1			织网型
皿蛛科一种 Linyphiidae sp.2		2				织网型
皿蛛科一种 Linyphiidae sp.3		3				织网型
拟态蛛科 Mimetidae						
蛇蛛属一种 <i>Ermetus</i> sp.		2	13			游猎型
光盔蛛科 Liocranidae						
蒙古田野蛛 <i>Agrocea mongolica</i> Schenkel, 1936		3				游猎型
狼蛛科 Lycosidae						
白纹舞蛛 <i>Alopecosa albostrata</i> (Grube, 1861)	4	1		9	2	游猎型
耳毛舞蛛 <i>Alopecosa auripilosa</i> (Schenkel, 1953)	3	2				游猎型
楔形舞蛛 <i>Alopecosa cuneata</i> (Clerck, 1757)	2					游猎型
利氏舞蛛 <i>Alopecosa licenti</i> (Schenkel, 1953)	1		2	2	1	游猎型
舞蛛属一种 <i>Alopecosa</i> sp.	6	8		1		游猎型
田园豹蛛 <i>Pardosa agrestis</i> (Westring, 1861)		10				游猎型
星豹蛛 <i>Pardosa astrigera</i> L. Koch, 1878	2				15	游猎型
蒙古豹蛛 <i>Pardosa mongolica</i> Kulczyn'ski, 1901					3	游猎型
申氏豹蛛 <i>Pardosa schenkeli</i> Lessert, 1904	8	53	21		1	游猎型

张宇, 王露雨, 向昌林, 段美春, 张志升 (2021) 不同放牧强度对赛罕乌拉草原蜘蛛多样性的影响. 生物多样性, 29, 467–476.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020214>

		个体数量 Number of individuals						捕食方式 Foraging type
物种 Species		样地 I Sample site I	样地II Sample site II	样地 III Sample site III	样地 IV Sample site IV	样地 V Sample site V		
米图蛛科 Miturgidae								
刺佐蛛 <i>Zora spinimana</i> (Sundevall, 1833)		3	5					游猎型
猫蛛科 Oxyopidae								
猫蛛属一种 <i>Oxyopes</i> sp.		1	15	6				游猎型
逍遥蛛科 Philodromidae								
金黄逍遥蛛 <i>Philodromus aureoles</i> (Clerck, 1757)		34	33	2	2		1	游猎型
逍遥蛛属一种 <i>Philodromus</i> sp.		1		1				游猎型
白斑狼逍遥蛛 <i>Thanatus coloradensis</i> Keyserling, 1880			1					游猎型
朝鲜狼逍遥蛛 <i>Thanatus coreanus</i> Paik, 1979		24	63	61	3		2	游猎型
娇长逍遥蛛 <i>Tibellus tenellus</i> (L. Koch, 1876)		151	13					游猎型
盗蛛科 Pisauridae								
锚盗蛛 <i>Pisaura ancora</i> Paik, 1969		4	15					游猎型
跳蛛科 Salticidae								
丽亚蛛 <i>Asianellus festivus</i> (C. L. Koch, 1834)			1				3	游猎型
弓拱猎蛛 <i>Evarcha arcuate</i> (Clerck, 1757)			8	6				游猎型
三带怜蛛 <i>Talavera trivittata</i> (Schenkel, 1963)					1			游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.1		6	10	13	1		4	游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.2			1				1	游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.3		1						游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.4					1			游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.5			7	1			1	游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.6				1				游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.7			4	1				游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.8			2					游猎型
跳蛛科一种 Salticidae sp.9			3					游猎型
肖蛸蛛科 Tetragnathidae								

物种 Species	个体数量 Number of individuals					捕食方式 Foraging type
	样地 I Sample site I	样地II Sample site II	样地 III Sample site III	样地 IV Sample site IV	样地V Sample site V	
尖尾肖蛸 <i>Tetragna caudicula</i> (Karsch, 1879)						织网型
羽斑肖蛸 <i>Tetragna pinicola</i> L. Koch, 1870	1	6	2	1		织网型
球蛛科 Theridiidae						
齿螯蛛属一种 <i>Enoplognatha</i> sp.	1	7	1			织网型
板隅拟肥腹蛛 <i>Parasteatoda tabulate</i> (Levi, 1980)				1		织网型
温室拟肥腹蛛 <i>Parasteatoda tepidariorum</i> (C.L. Koch, 1841)	2					织网型
拟肥腹蛛属一种 <i>Parasteatoda</i> sp.	1					织网型
印痕叶球蛛 <i>Phylloneta impressa</i> (L. Koch, 1881)	1	1	6	16		织网型
白斑肥腹蛛 <i>Steatoda albomaculata</i> (De Geer, 1778)					5	织网型
肥腹蛛属一种 <i>Steatoda</i> sp.					7	织网型
辽源球蛛 <i>Theridion liaoyuanense</i> (Zhu & Yu, 1982)		8	4	1		织网型
球蛛属一种 <i>Theridion</i> sp.		5	2			织网型
蟹蛛科 Thomisidae						
伊氏蛛属一种 <i>Ebrechtella</i> sp.	2	17	5	4		游猎型
梅氏毛蟹蛛 <i>Heriaeus melloteei</i> Simon, 1886		7				游猎型
圆花叶蛛 <i>Synema globosum</i> (Fabricius, 1775)		2	1	1		游猎型
满蟹蛛 <i>Thomisus onustus</i> Walckenaer, 1805	1				1	游猎型
岛民花蟹蛛 <i>Xysticus insulicola</i> Bösenberg & Strand, 1906	32	54	41	16	10	游猎型
条纹花蟹蛛 <i>Xysticus striatipes</i> L. Koch, 1870			2	2	3	游猎型
隐石蛛科 Titanoecidae						
黄冠隐石蛛 <i>Titanoeca flavicoma</i> L. Koch, 1872	1				3	游猎型
合计 Total	217	497	243	94	70	