

放牧对中国草地植物群落物种多样性的影响

蔡新成,唐庄生,董瑞,董克池,花立民*

(甘肃农业大学草业学院,国家林业草原高寒草地鼠害防控工程技术研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】明晰我国草地植物群落物种多样性特征及其影响因素对放牧干扰的响应,以便充分认识草地群落结构特征和发展趋势,反馈草地植被生长健康和系统稳定状况。【方法】基于Meta分析方法,对我国草地已开展的28个关于放牧对草地植物群落多样性影响的研究进行了整合分析。【结果】放牧干扰总体上降低了我国草地植物群落物种多样性,其中放牧显著降低了荒漠草原物种多样性,增加了草甸草原物种多样性;不同放牧强度和年限均对我国草地植物群落物种多样性存在影响,中度放牧提高了草地物种多样性,而重度放牧和长期放牧均降低了草地物种多样性。此外,年均降水量对植物群落物种多样性指数和均匀度指数具有显著的正向影响,可分别解释8.70%和15.24%的效应值变异;年均温度对物种多样性指数和优势度指数具有显著的负向影响,可分别解释9.07%和11.61%的效应值变异;放牧年限对多样性指数具有显著负效应,而对丰富度指数具有显著正效应,可分别解释2.52%和25.27%的效应值变异。【结论】优化放牧管理制度可有效改善草地植物群落物种多样性,促进我国草地生态系统健康稳定发展。

关键词:放牧干扰;物种多样性;平均效应值;异质性分析

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)01-0122-09

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2024.01.014



物种多样性反映了群落结构复杂性和生物资源丰富程度^[1-2],是指示生态系统健康可持续发展的重要指标,对生态系统功能和稳定性具有重要影响^[3-4]。草地生态系统作为我国重要的自然资源和生态屏障,在畜牧业发展、水源涵养和生物多样性保育等方面发挥

着极为重要的作用^[5]。研究草地植物群落物种多样性有助于充分认识草地群落结构特征和发展趋势,也能反馈草地植被生长健康和系统稳定状况^[6]。

近年来,过度放牧使我国草地退化愈发严重,一定程度上加剧了草地生态系统结构和功能的损害^[7]。放牧家畜通过采食、排泄和践踏等活动直接或间接影响着草地植物群落结构和生产力,甚至对整个生态系统的稳定性具有关键的调控作用,是引起草地植被群落变化的重要驱动力^[8]。物种多样性作为草地植物群落的重要特征,对草地持续发展和生产力维持具有基础性功能,是放牧干扰对草地生态系统影响的研究重点^[9]。目前,已有大量研究关注放牧干扰对草地植物群落物种多样性的影响,但其研究结果却不尽相同^[10-11]。有研究认为随着放牧强度的增加,锡林郭勒典型草原植物群落物种多样性均有降低,顺序为禁牧>轻度放牧>中度放牧>重度放牧^[12]。也有研究发现,草地植物群落物种多样性对放牧的响应符合“中度干扰理论”,适度的放牧干扰(放牧强度或年限)有

收稿日期:2022-03-04;**修回日期:**2022-04-10

基金项目:国家自然科学基金项目(32160338);甘肃省科技厅自然科学基金项目(21JR7RA810);甘肃省教育厅产业支撑计划项目(2021CYZC-05);国家林业和草原局草地啮齿动物危害防控创新团队;甘肃省教育科技创新项目(2021QB-028);甘肃农业大学伏羲青年英才项目(GAUFx-04Y06);甘肃农业大学青年导师基金(GAU-QDFC-2021-01);甘肃省优秀研究生‘创新之星’项目。

作者简介:蔡新成(1995-),男,汉族,甘肃武威人,硕士研究生。E-mail:caixincheng_gsau@163.com

*通信作者。E-mail:hualm@gsau.edu.cn

助于维持甚至提高物种多样性^[13-14]。另外,对草甸草原放牧试验的研究发现,放牧干扰显著影响了草地植物群落多样性指数和均匀度指数,而丰富度指数和优势度指数没有明显变化^[15]。尽管放牧干扰对草地植物群落物种多样性影响的研究开展很多,但由于各研究放牧模式和草地类型存在差异,其研究结果仍存在较大争议。上述研究对我们了解放牧对草地植被群落的影响具有积极意义,然而这些试验均针对特定气候类型下的小尺度区域点开展,结论难以在全国范围的草地类型中推广。单一独立控制试验虽然结果较为准确,但在不同草地类型中因研究间的分歧造成结果的不确定性,不具有普遍适应意义。而使用整合分析方法,可准确、全面地总结草地植物群落物种多样性对放牧响应的普遍规律。

因此,本研究在国内现有研究的基础上,采用 Meta 分析方法,探究了我国草地植物群落物种多样性特征及其影响因素对放牧干扰的响应,旨在为我国草地放牧管理和生态保护提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 数据获取

通过中国知网(CNKI)数据库,检索主题词“草地+草甸+草原”与“物种多样性”且关键词“放牧强度”,共搜索到中、英文论文 189 篇。然后通过以下准则筛选文章:(1)研究对象为中国天然草地生态系统植物群落;(2)同一研究中,试验组和对照组必须在草地类型、土壤质地及气候特征方面保持一致;(3)研究不仅有放牧梯度(轻度、中度及重度)处理试验,还需“零放牧”对照试验;(4)放牧试验中植物群落物种多样性相关参数均在植物生长季获取,且文献需提供的均值、标准差(或标准误)和样本量。最终 28 篇文章符合以上标准,纳入 Meta 分析。

本研究草地类型(温性草原、温性荒漠草原、温性草甸草原和高寒草甸)和放牧强度(禁牧、轻度放牧、中度放牧和重度放牧)均按照原文分类方法^[16]。结合研究目的,本文共收集 107 组多样性指数(Shannon—Wiener)、71 组优势度指数(Simpson)、47 组丰富度指数(Margalef)和 95 组均匀度指数(Pielou)数据。此外,我们还引入不同放牧强度和放牧年限(<5 a、5~10 a 及 >10 a)作为分类变量,同时提取海拔、年均温、

年降水量及放牧年限等数据作为连续变量,共同揭示放牧干扰对草地植物群落物种多样性指数平均效应值的影响因素。本文并采用 Get Data Graph Digitizer (版本 2.24, <http://getdata-graph-digitizer.com>)获取论文中图片数据。

1.2 数据统计与分析

1.2.1 数据分析 对草地植物群落物种多样性进行 Meta 分析时,文章中多样性指数的标准差是 Meta 分析的关键指标,对只提供标准误的数据,用下式计算标准差^[17]:

$$SD = SE \times \sqrt{n}$$

式中:SD 为标准差,SE 为标准误,n 为重复数。

用基于均值的效应值表示草地植物群落物种多样性参数对放牧处理的响应效应^[18],用下式计算:

$$\ln R = \ln \frac{x_e}{x_c} = \ln x_e - \ln x_c$$

式中: x_e 为放牧草地植物群落多样性指数的均值, x_c 为对照(禁牧)草地植物群落多样性指数的均值, $\ln R$ 为效应值。

与效应值对应的研究内方差的计算:

$$V_{\ln R} = \frac{S_e^2}{N_e x_e^2} + \frac{S_c^2}{N_c x_c^2}$$

式中: $V_{\ln R}$ 为研究内方差, S_e 为放牧处理的标准差, S_c 为对照的标准差, N_e 和 N_c 分别为放牧与对照处理的样本量。

此外,为直观解释放牧对草地植物群落物种多样性变化的影响,将相关参数的平均效应值转化为相对变化率^[17](Y_r),计算公式为:

$$Y_r = (e^{\bar{y}} - 1) \times 100\%$$

1.2.2 数据处理 使用 Excel 2016 进行数据收集并建立数据集,数据集通过 R 语言(4.1.0 版本)程序 Metafor 3.0—2 软件包进行分析,采用 GraphPad prism 8.0 完成绘图。草地植物群落物种多样性指数对放牧响应的效应值和平均效应值均采用随机效应模型计算。研究中效应值的整体异质性(Q_i)较强且达到显著水平($P < 0.05$)时,表明放牧处理试验的效应值间存在较大差异,然后基于混合效应模型,分别引入分类变量和连续变量对此异质性进行亚组分析和 Meta 回归分析。最后采用漏斗图对称性检验(egggers regression test)数据发表偏差。

2 结果与分析

2.1 草地植物群落物种多样性对放牧干扰的响应

放牧干扰下,草地植物群落物种多样性指数、优势度指数、丰富度指数及均匀度指数均有下降趋势,平均效应值分别为 -0.025 ± 0.023 (95%CI: $-0.070, 0.020$)、 -0.033 ± 0.019 (95%CI: $-0.070, 0.004$)、 -0.030 ± 0.038 (95%CI: $-0.106, 0.045$)和 -0.002 ± 0.015 (95%CI: $-0.031, 0.027$),降幅分别为2.47%、3.21%、2.99%和0.24%(图1)。

放牧干扰对不同草地多样性指数影响大小顺序依次为温性荒漠、温性草甸、高寒草甸和温性草原,其中放牧显著降低了温性荒漠的多样性指数($P<0.001$),平均效应值为 -0.204 ± 0.037 (95%CI: $-0.276, -0.132$),显著增加了温性草甸和高寒草甸多样性指数($P<0.05$),平均效应值分别为 0.085 ± 0.034 (95%CI: $0.018, 0.152$)和 0.053 ± 0.022 (95%CI: $0.009, 0.096$)(图2)。放牧干扰对不同草地优势度指数影响大小顺序依次为高寒草甸、温性荒漠、温性草原和温性草甸,其中放牧显著降低了温性荒漠的优势度指数($P<0.001$),平均效应值为 -0.112 ± 0.030 (95%CI: $-0.172, -0.053$),而高寒草甸优势度指数显著增加($P<0.01$),平均效应值为 0.193 ± 0.061 (95%CI: $0.073, 0.313$)。放牧干扰对不同草地丰富度指数影响顺序依次为温性荒漠、温性草甸和温性草原,其中放牧显著降低了温性荒漠丰富度指数($P<0.001$),平均效应值为 -0.293 ± 0.060 (95%CI: $-0.410, -0.176$)。放牧对不同草地均匀度指数影响顺序依次为温性荒漠、温性草原、高寒草甸和温性草甸,其中放牧干扰显著降低了温性荒漠和高寒草甸的均匀度指数($P<0.05$),平均效应值分别为 -0.059 ± 0.030 (95%CI: $-0.083, -0.035$)和 -0.027 ± 0.012 (95%CI: $-0.051, -0.003$)。

放牧对草地植物群落物种多样性指数、优势度指数、丰富度指数和均匀度指数影响的效应值异质性均较强($P<0.0001$)(表1),需引入解释变量(分类变量与连续变量)进一步探讨数据异质性来源。

2.2 放牧强度与年限对草地植物群落物种多样性的影响及异质性检验

不同放牧强度对草地植物群落物种多样性影响

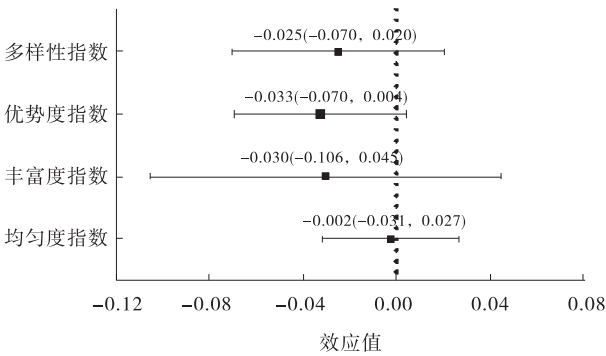


图1 放牧对草地植物群落物种多样性影响的平均效应值
Fig. 1 Average effects of grazing activity on species diversity of grassland plant community in China
注:误差线表示95%置信区间,下同。

表1 放牧对草地植物群落物种多样性影响的效应值异质性检验
Table 1 Test of heterogeneity on effects of grazing activity on species diversity of grassland plant communities in China

	自由度	效应值异质性检验(Q_i)	P 值
多样性指数	106	1 136.70	<0.0001
优势度指数	70	596.07	<0.0001
丰富度指数	46	272.59	<0.0001
均匀度指数	94	1 736.26	<0.0001

的平均效应值间均无显著差异(表2)。放牧强度对多样性指数的影响从高到低顺序为重度>中度>轻度放牧,其中轻度放牧略微降低了多样性指数,降幅为0.34%,中度放牧增加了多样性指数,增幅为2.64%,重度放牧显著降低了多样性指数($P<0.05$),降幅为8.83%。放牧强度对草地植物优势度指数的影响从高到低顺序为重度>轻度>中度放牧,各放牧强度均降低了优势度指数,但差异不显著,降幅分别为轻度4.04%、中度0.41%、重度5.40%。放牧强度对草地植物丰富度指数的影响从高到低依次为重度、中度和轻度放牧,其中轻度和中度放牧增加了丰富度指数,增幅分别为0.60%和4.09%,重度放牧显著降低了丰富度指数($P<0.05$),降幅为11.51%。放牧强度对草地植物均匀度指数的影响从高到低依次为重度、中度和轻度放牧,其中轻度和重度放牧降低了均匀度指数,降幅分别为0.46%、2.92%,中度放牧增加了均匀度指数,增幅为2.72%,但差异均不显著(图3)。

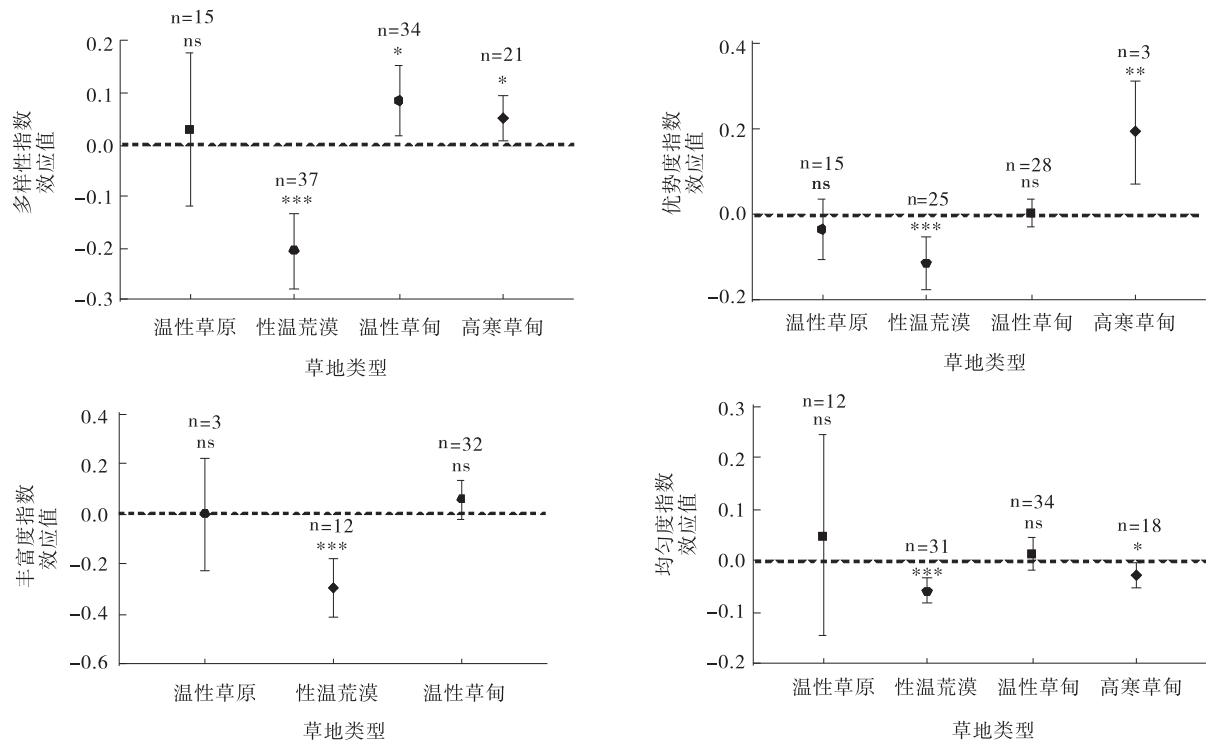


图 2 放牧对不同类型草地植物群落物种多样性影响的平均效应值

Fig. 2 Average effects of grazing activity on species diversity among different types grassland plant community in China

不同放牧年限对草地植物群落物种多样性指数、优势度指数和丰富度指数影响的平均效应值间差异显著($P < 0.05$),而对均匀度指数影响的平均效应值间无显著差异(表 2)。放牧年限对多样性指数的影响从高到低顺序为长期(>10 a) $>$ 中期($5\sim10$ a) $>$ 短期(<5 年)放牧,各放牧年限均降低了多样性指数,其中长期放牧显著降低了多样性指数($P < 0.01$),降幅为 19.68%。放牧年限对优势度指数的影响从高到低顺序为长期 $>$ 短期 $>$ 中期放牧,其中短期放牧显著降低了优势度指数($P < 0.05$),降幅为 4.84%。放牧年

限对丰富度指数的影响从高到顺序为长期 $>$ 中期 $>$ 短期放牧,长期放牧显著降低了丰富度指数,降幅为 25.55%。放牧年限对均匀度指数的影响从高到低依次为长期、中期和短期放牧,其中短期放牧增加了均匀度指数,增幅为 1.09%,中期和长期放牧降低了均匀度指数,降幅分别为 4.63%、6.25%,但均无显著差异(图 3)。

放牧强度和放牧年限对草地植物群落物种多样性影响的残差仍具有异质性($P < 0.0001$)(表 2),还需引入其他解释变量(连续变量)进行分析。

表 2 放牧强度与年限对草地植物群落物种多样性平均效应值的解释变量及残差异质性检验

Table 2 Test of heterogeneity explanatory variables and residuals of grazing intensity and years on average effect of species diversity of grassland plant community in China

因素	指数	解释变量异质性检验(Q_m)	自由度	P 值	残差异质性检验(Q_e)	自由度	P 值
放牧强度	多样性指数	6.42	3	0.093 0	1 058.67	104	$<0.000 1$
	优势度指数	4.38	3	0.223 3	574.93	68	$<0.000 1$
	丰富度指数	4.31	3	0.229 9	259.82	44	$<0.000 1$
	均匀度指数	2.70	3	0.439 9	1 607.19	92	$<0.000 1$
放牧年限	多样性指数	9.98	3	0.018 7	1 047.68	104	$<0.000 1$
	优势度指数	8.87	3	0.031 0	497.19	68	$<0.000 1$
	丰富度指数	21.87	3	0.000 1	182.23	44	$<0.000 1$
	均匀度指数	3.16	3	0.367 5	1 717.33	92	$<0.000 1$

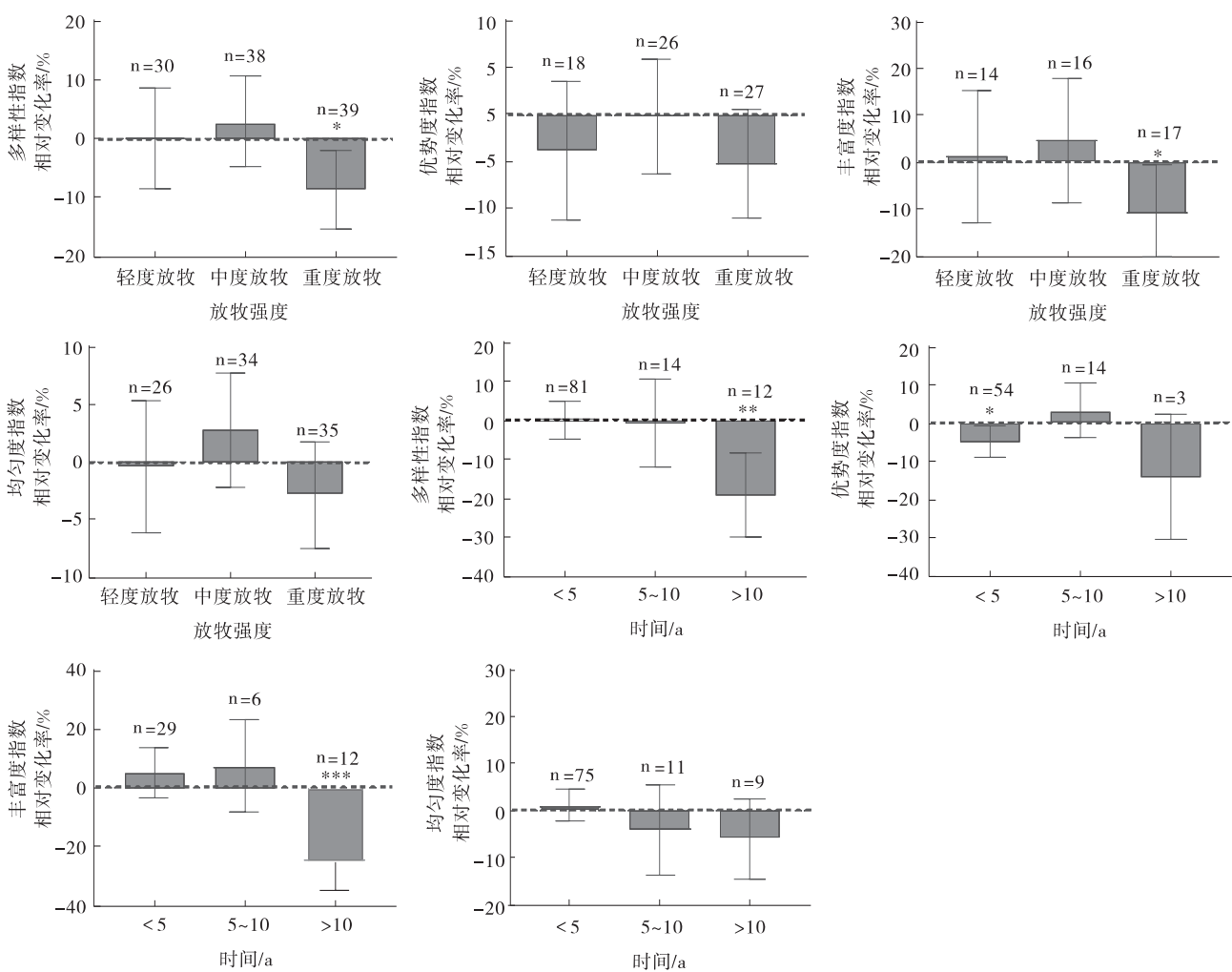


图3 放牧强度与年限对草地植物群落物种多样性的影响分析

Fig. 3 Effects of grazing intensity and years on species diversity of grassland plant community in China

2.3 平均效应值对海拔、气候及放牧年限的响应特征

本研究引入海拔、年平均气温、年平均降水量及放牧年限等连续变量进行Meta回归分析,研究异质性来源。结果显示(表3),对于多样性指数的平均效应值,年均气温和放牧年限对其具有显著的负向影响($P<0.05$),分别可解释9.07%、2.52%的效应值变异,而年均降水量对其具有显著的正向影响($P<0.05$),可解释8.70%的效应值变异。另外,年均气温对优势度指数的平均效应值也具有显著的负向影响($P<0.05$),可解释11.61%的效应值变异。放牧年限对丰富度指数的平均效应值具有显著正向影响($P<0.05$),可解释25.27%的效应值变异,年均降水量对其具有显著的负向影响,变异解释度为13.16%。此外,年均降水量对均匀度指数具有显著的正向影响($P<0.05$),可解释15.24%的效应值变异。

2.4 放牧对草地植物群落物种多样性影响效应值漏斗图的对称性检验

漏斗图的对称性检验结果(图4)表明,本研究中,多样性指数($z=1.142, P=0.253$)、优势度指数($z=1.069, P=0.285$)、丰富度指数($z=-0.409, P=0.683$)及均匀度指数($z=0.841, P=0.401$)这4组数据均不存在发表偏倚($P>0.05$),有充分可信度。

3 讨论

3.1 放牧对不同类型草地植物群落物种多样性的影响

放牧是草地生态系统最重要的管理与利用方式,放牧家畜和草地植物间的相互作用对草地植物群落物种多样性,甚至群落生产力和整个系统稳定性都具有显著影响^[19]。“中度干扰”理论认为,过度放牧是草地快速退化的关键原因,适度放牧可改善植物群落物种多样性,促进生产力,有利于草地生态系统健康发

表 3 放牧平均效应值对海拔、气候及放牧年限的响应

Table 3 Responses of cumulative effects on altitude, meteorology and grazing years

	解释变量	异质性检验(Q _m)	P 值	拟合方程	效应值变异 R ² /%
多样性指数	年均气温	10.92	0.000 9	$y=0.063\ 5-0.0330x$	9.07
	年均降水量	7.43	0.006 4	$y=-0.205\ 5+0.000\ 5x$	8.70
	放牧年限	4.91	0.026 7	$y=0.032\ 1-0.013\ 5x$	2.52
	海拔	0.16	0.689 7	$y=-0.040\ 7+0.000\ 1x$	0.00
优势度指数	年均气温	9.55	0.002 0	$y=0.048\ 1-0.025\ 6x$	11.61
	放牧年限	1.42	0.233 7	$y=-0.062\ 0+0.007\ 1x$	4.83
	年均降水量	0.73	0.394 4	$y=-0.074\ 7+0.000\ 1x$	0.00
	海拔	0.03	0.863 4	$y=-0.024\ 9-0.000\ 1x$	0.00
丰富度指数	放牧年限	13.09	0.000 3	$y=0.109\ 5+0.025\ 4x$	25.27
	年均降水量	5.54	0.018 5	$y=0.045\ 4-0.032\ 0x$	13.16
	海拔	3.11	0.077 7	$y=0.125\ 8-0.000\ 1x$	3.99
	年均气温	1.98	0.159 4	$y=-0.194\ 9+0.000\ 5x$	2.14
均匀度指数	年均降水量	7.42	0.006 4	$y=-0.113\ 1+0.000\ 3x$	15.24
	放牧年限	2.17	0.140 4	$y=0.022\ 5-0.005\ 8x$	0.00
	年均气温	1.81	0.178 6	$y=0.022\ 0-0.008\ 6x$	0.00
	海拔	0.00	0.961 9	$y=-0.001\ 4+0.000\ 1x$	0.00

注:y表示平均效应值。

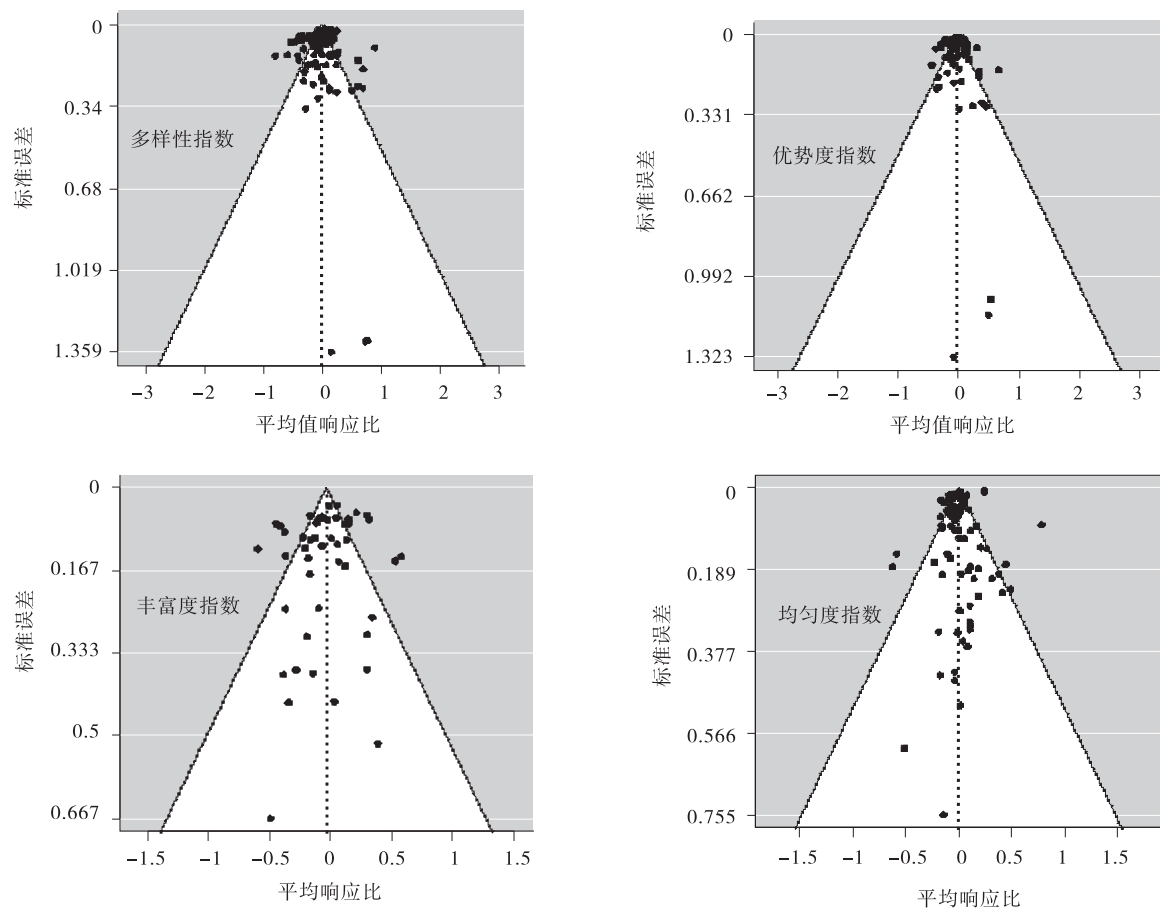


图 4 放牧对草地植物群落物种多样性影响的发表偏爱性检验

Fig. 4 Publication preference test on effects of grazing activity on species diversity of grassland plant community in China

展^[9]。本研究结果显示,放牧整体上降低了草地植物群落物种多样性,这说明目前我国草地载畜率普遍较高,草地正面临不同程度的退化趋势,维持“草畜平衡”可能是防止我国草地发生大规模退化的有效途径。此外,不同类型草地对放牧干扰的响应也存在差异。本研究结果表明,放牧显著的降低了荒漠草原的物种多样性,增加了草甸草原的物种多样性。荒漠草原为草原区向荒漠区过渡的植被类型,气候干旱,系统稳定性差,抗干扰能力较弱,植物群落物种多样性对放牧活动极为敏感^[20]。出现放牧显著降低荒漠草原物种多样性的研究结果,说明我国荒漠草原普遍存在过度放牧现象。而草甸草原气候相对湿润,牧草种类繁多,生长茂盛,具有较高的系统稳定性和抗干扰能力,放牧承载率相对较高^[21]。因此,我们认为草甸草原载畜率相对合理,常规的放牧载畜强度不但没有引起草地退化,反而刺激了植物生长,有助于植物群落物种多样性的改善。

3.2 放牧强度和年限对草地植物群落物种多样性的影响

认识草原植物群落对放牧的响应,尤其是对不同放牧强度和时间的响应是制定可持续放牧管理措施的基础,学者一致认为放牧草地植被的群落特征变化与放牧强度密切相关,受放牧干扰少的围封样地物种多样性高,而重度放牧导致物种多样性降低^[15]。本研究结果显示,轻度放牧对草地植被群落物种多样性没有太大影响,而中度放牧明显增加了植物群落物种多样性,重度放牧显著降低了物种多样性。不同放牧强度导致植物结构组成和群落特征发生改变,随着放牧强度的增加,物种多样性呈现单峰变化,以中度放牧条件下物种多样性最高。这是因为适度放牧条件下家畜采食作用抑制了优势种的竞争,使得家畜不喜采食的杂类草和弱势物种数量增加,提升了群落结构复杂性,从而物种多样性得到改善^[22-23]。

此外,放牧年限也是引起植物群落结构发生分异的重要原因,放牧年限越长,其对草地生态系统的破坏就越大^[9]。本研究结果显示,放牧年限对植物群落多样性的影响顺序为长期>中期>短期放牧,随着放牧年限的延长,放牧对植物群落物种多样性的影响程度逐渐加深,尤其在长期放牧条件下,放牧显著降低了植物群落物种多样性。长期放牧使草地生境恶化,

限制了植物的更新演替,降低了物种多样性,而一定时间的休牧对于维持草地生理修复和植物生长具有促进作用^[24]。因此,我们建议,科学制定轮牧措施可有效促进生态恢复和草地可持续利用。

3.3 气候因子对草地植物群落物种多样性的影响

草地生态系统中,气候因子(年均温和年降水量)波动会影响植物群落结构特征,进而不同程度影响草地植物群落多样性^[20]。对于我国西北内陆比较干旱的草地生态系统,水热条件是植物生长的主要限制因素,极端干旱和降水的大幅波动均会通过土壤水分的变化在不同程度上影响草地植物群落多样性。本研究表明,草地植物物种多样性对放牧的响应受到草地水热条件的影响^[25]。年均温对放牧草地植物群落物种多样性具有显著负效应,而年均降水量对放牧草地物种多样性存在显著正效应。这是因为,我国草地大多处于干旱的北方,水分是影响草地植物生长发育的主要限制因子,降水量的增加可提高土壤水分含量,改善植物生长条件,进而影响植物群落物种多样性^[26]。而当温度升高时,草地生态系统蒸散量随之增大^[27],草地土壤干旱加剧,草地植物生长受到限制,造成草地物种多样性的下降。

4 结论

放牧干扰整体降低了我国草地植物群落物种多样性,但不同类型草地对放牧干扰的响应存在差异,其中放牧显著降低了荒漠草原的物种多样性,增加了草甸草原的物种多样性。不同放牧强度和年限均对草地植物群落物种多样性存在差异化影响,中度放牧提高了草地植物群落物种多样性,而重度放牧和长期放牧均在很大程度上降低了物种多样性。此外,年均降水、年均温及放牧年限是草地物种多样性对放牧响应的主要调控因素。综上,优化放牧管理制度可有效改善草地植物群落物种多样性,促进我国草地生态系统健康稳定发展。

参考文献:

- [1] 周润惠,苏天成,喻静,等. 碧峰峡常绿阔叶林不同群落物种多样性和土壤理化性质[J]. 生态学杂志,2022,41(1): 1-8.
- [2] 刘旻霞,南笑宁,张国娟,等. 高寒草甸不同坡向植物群落物种多样性与功能多样性的关系[J]. 生态学报,2021,41

- (13):5398—5407.
- [3] 常学向,陈怀顺,李志刚,等. 西藏雅鲁藏布江流域典型沙漠区生态修复植物群落物种多样性[J]. 中国沙漠,2021,41(6):187—194.
- [4] 孙一梅,田青,吕朋,等. 极端干旱与氮添加对半干旱沙质草地物种多样性、叶性状和生产力的影响[J]. 干旱区研究,2020,37(6):1569—1579.
- [5] 杨启,吕光辉,何学敏,等. 不同利用方式下草地物种多样性及其土壤因子解释[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):248—254.
- [6] 张建贵,王理德,姚拓,等. 祁连山高寒草地不同退化程度植物群落结构与物种多样性研究[J]. 草业学报,2019,28(5):15—25.
- [7] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等. 放牧作用下高寒草甸群落物种分布与土壤因子的关系[J]. 应用生态学报,2017,28(12):3891—3898.
- [8] 周国利,程云湘,马青青,等. 牦牛放牧强度对青藏高原东缘高寒草甸群落结构与土壤理化性质的影响[J]. 草业科学,2019,36(4):1022—1031+918.
- [9] 张扬建,朱军涛,沈若楠,等. 放牧对草地生态系统影响的研究进展[J]. 植物生态学报,2020,44(5):553—564.
- [10] 宋洁,王凤歌,温璐,等. 放牧对温带典型草原植物物种多样性及土壤养分的影响[J]. 草地学报,2019,27(6):1694—1701.
- [11] 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(5):9—15.
- [12] 杜宝红,高翠萍,哈达朝鲁. 不同放牧强度对锡林郭勒典型草原生产力及碳储量的影响[J]. 水土保持研究,2018,25(1):139—146+52.
- [13] 荀其蕾,安沙舟,孙宗玖,等. 放牧对伊犁绢蒿群落结构的影响[J]. 草业科学,2013,30(12):2047—2053.
- [14] 蒙旭辉,李向林,辛晓平,等. 不同放牧强度下羊草草甸草原群落特征及多样性分析[J]. 草地学报,2009,17(2):239—244.
- [15] 孙宗玖,朱进忠,张鲜花. 短期放牧强度对昭苏草甸草原植被特征及多样性影响[J]. 新疆农业大学学报,2014,37(1):35—39.
- [16] Herrero—Jáuregui C, Oesterheld M J O. Effects of grazing intensity on plant richness and diversity: A Meta analysis[J]. 2018,127(6):757—766.
- [17] 王雅芝,齐鹏,王晓娇,等. Meta分析中国保护性耕作对土壤微生物多样性的影响[J]. 草业科学,2021,38(2):378—392.
- [18] Zhou G, Zhou X, He Y, *et al.* Grazing intensity significantly affects belowground carbon and nitrogen cycling in grassland ecosystems: A meta - analysis [J]. Global Change Biology,2017,23(3):1167—1179.
- [19] 刘玉,常小峰,田福平,等. 放牧对草地群落与土壤特征的影响[J]. 西北植物学报,2016,36(12):2524—2532.
- [20] 黄绪梅,张翼,李建平. 毛乌素荒漠草原植被特征对降水变化的响应[J]. 草地学报,2022,30(1):178—187.
- [21] 杨晨晨,陈宽,周延林,等. 放牧对锡林郭勒草甸草原群落特征及生产力的影响[J]. 中国草地学报,2021,43(5):58—66.
- [22] 赵生龙,左小安,张铜会,等. 乌拉特荒漠草原群落物种多样性和生物量关系对放牧强度的响应[J]. 干旱区研究,2020,37(1):168—177.
- [23] 刘佳慧,张韬. 放牧扰动对锡林郭勒典型草原植被特征及土壤养分的影响[J]. 生态环境学报,2017,26(12):2016—2023.
- [24] 刘娟,刘倩,柳旭,等. 划区轮牧与草地可持续性利用的研究进展[J]. 草地学报,2017,25(1):17—25.
- [25] 王常顺,孟凡栋,李新娥,等. 草地植物生产力主要影响因素研究综述[J]. 生态学报,2014,34(15):4125—4132.
- [26] 鲁延芳,权金鹏,占玉芳,等. 黑河中游荒漠绿洲过渡带植被多样性特征及其水分的影响[J]. 西北林学院学报,2021,36(6):22—30.
- [27] 许庆民,王云英,辛莹,等. Meta分析放牧对中国北方草地生态系统蒸散量的影响[J]. 草业科学,2020,37(10):1952—1958.

Effects of grazing on species diversity in Chinese grasslands:a Meta-analysis

CAI Xin-cheng, TANG Zhuang-sheng, DONG Rui, DONG Ke-chi, HUA Li-min*

(College of Rangeland Science, Gansu Agricultural University/ Engineering and Technology Research Center for Alpine Rodent Pests Control, National Forestry and Grassland Administration, Lanzhou 730070, China)

Abstract:【Objective】Clarifying the response of grassland plant community species diversity characteristics and its influencing factors to grazing disturbance in China is crucial for fully understanding the characteristics and development trends of grassland community structure. Additionally, also it provides valuable insights into the health of grassland vegetation growth and system stability. 【Method】Utilizing a meta-analysis approach, we integrated and analyzed 28 studies on the effects of grazing on plant community diversity of grasslands in China. 【Result】The findings indicated a general reduction in the species diversity of grassland plant communities due to grazing disturbance in China. Specifically, grazing decreased the species diversity of desert steppe and significantly increased the species diversity of meadow steppe. Various grazing intensities and durations had distinct effects on grassland plant community diversity. Moderate grazing positively influenced species diversity, while severe and long-term grazing had negative impacts. Moreover, average annual precipitation exhibited a significant positive impact on plant community species diversity and evenness indice, explaining 8.70% and 15.24% of the effect value variation, respectively. Annual mean temperature had a significant negative effect on the species diversity index and dominance index, explaining 9.07% and 11.61% of the effect value variation, respectively. Grazing years had negative affected the diversity index and positively influenced the richness index, explaining 2.52% and 25.27% of the variation in effect values, respectively. 【Conclusion】In summary, optimizing the grazing management system can effectively enhance the species diversity of grassland plant communities, fostering the healthy and stable development of the grassland ecosystem in China.

Key words: grazing disturbance; species diversity; average effect size; heterogeneity analysis

(责任编辑 刘建荣)