

DOI: 10.20103/j.stxb.202310272335

苏晓雪, 李希来, 孙华方, 宋梓涵, 李杰霞, 张静. 高原鼠兔和刘割扰动对高寒草甸植物群落和土壤特征的影响. 生态学报, 2024, 44(22): 10189-10199.

Su X X, Li X L, Sun H F, Song Z H, Li J X, Zhang J. Effects of plateau pika and mowing disturbances on plant community and soil physical and chemical properties in alpine meadow. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(22): 10189-10199.

高原鼠兔和刘割扰动对高寒草甸植物群落和土壤特征的影响

苏晓雪¹, 李希来^{1,*}, 孙华方², 宋梓涵¹, 李杰霞³, 张 静¹

¹ 青海大学农牧学院, 西宁 810016

² 青海民族大学生态环境与资源学院, 西宁 810007

³ 中国科学院西北高原生物研究所高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810008

摘要: 受过度放牧和高原鼠兔暴发的双重扰动影响, 青藏高原高寒草甸植物群落和土壤特征发生显著变化。以青海省河南蒙古族自治县克其河滩高寒草甸为研究对象, 通过连续 5 年的控制试验, 分析不同刈割强度和高原鼠兔密度处理对高寒草甸植被群落和土壤性质的影响。研究结果表明: (1) 刈割和高原鼠兔两种处理干扰及交互作用显著影响植被高度和盖度 ($P < 0.05$), 随着年份的增加, 植被群落盖度显著下降; 不同年份间植被盖度, 地上生物量, 禾本科、莎草科、豆科、杂类草功能群重要值, 植被群落 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、物种均匀度指数和物种丰富度指数存在显著差异 ($P < 0.05$)。 (2) 随着年份与刈割强度的增加, 土壤全氮、全磷表现为先增加后减少的趋势。年份、刈割强度及其之间的交互作用对土壤温度有显著影响 ($P < 0.05$), 重度刈割处理使得土壤温度显著提高 ($P < 0.05$)。不同刈割强度和鼠兔密度影响下年份、刈割强度及其交互作用对草地全氮和全磷有极显著影响 ($P < 0.01$)。高原鼠兔数量的增加显著降低了土壤 pH, 高密度干扰下较无鼠兔干扰 pH 下降了 0.23, 鼠兔密度对土壤全氮和全磷含量没有显著影响。中度刈割有利于退化高寒草甸植被和土壤的恢复, 因此, 通过控制放牧强度和高原鼠兔密度, 正确识别草地放牧强度和鼠兔种群密度生态阈值, 进行草地的合理管控, 有利于草地畜牧业的持续高质量发展。

关键词: 高寒草甸; 刈割; 高原鼠兔; 干扰; 植物群落; 土壤特征

Effects of plateau pika and mowing disturbances on plant community and soil physical and chemical properties in alpine meadow

SU Xiaoxue¹, LI Xilai^{1,*}, SUN Huafang², SONG Zihan¹, LI Jiexia³, ZHANG Jing¹

¹ College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China

² College of Ecological Environment and Resources, Qinghai Minzu University, Xining 810007, China

³ Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

Abstract: Plant community and soil characteristics of alpine meadow could be obviously changed by both overgrazing and plateau pika outbreaks. This paper takes alpine meadow in Keqihetan, Henan Mongolian Autonomous County, Qinghai province as an example to study pika disturbance and mowing effects on plant community and soil physical and chemical properties in alpine meadow through a five-year controlled experiment. Mowing intensity and pika density are taken as two disturbance factors on vegetation community and soil in alpine meadow. The study results show that: (1) Mowing intensity, pika density and their interaction obviously interfere with vegetation height and coverage ($P < 0.05$). During the 5-year

基金项目: 青海省科学技术厅科技援青合作专项项目 (2023-QY-210); 国家自然科学基金联合基金项目 (U21A20191); 青海大学青年教师科研基金项目 (2021-QNY-12); 高等学校学科创新引智计划项目 (D18013)

收稿日期: 2023-10-27; **网络出版日期:** 2024-08-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xilai-li@163.com

experimental period, the coverage of vegetation community decreased significantly. There are significant differences in vegetation coverage, aboveground biomass, importance values of the functional groups of Gramineae, Cyperaceae, Leguminosae and Forbs, Simpson index, Shannon-Wiener index, species evenness index and species richness index of vegetation communities among different years ($P < 0.05$). (2) Total nitrogen and phosphorus raise as time and mowing density increase, then they both decline. Duration, mowing intensity, and their interaction has significant effects on soil temperature ($P < 0.05$), and heavy mowing treatment increase soil temperature ($P < 0.05$) significantly. Pika density, duration, mowing intensity, and their interaction has significant effects on total nitrogen and phosphorus ($P < 0.01$). Plateau pika density increase brings a significant decrease in soil pH, and the pH decreases by 0.23 under high density treatment compared with no pika treatment. Meanwhile pika density has no significant effects on soil total nitrogen and phosphorus content. Therefore, moderate mowing is conducive to the restoration of the degraded alpine meadow vegetation and soil. In addition, identifying and setting the ecological thresholds of grazing intensity and plateau pika density in the degraded alpine meadow are critical to achieve sustainable and high-quality development of grassland animal husbandry.

Key Words: alpine meadow; mowing; plateau pika; disturbance; plant community; soil properties

青藏高原人类活动如家畜放牧强度的增加,导致生态环境退化^[1-3]。家畜的放牧不同于野生有蹄类动物,家畜对高寒草甸的放牧利用相对集中^[4]。过度放牧的家畜群落已经对高寒草甸的土壤和水文产生了负面影响,放牧使草甸迅速退化,地表植被覆盖和高度降低,牲畜不喜食的植物种类增加^[5-6]。低矮稀疏的植被环境有利于高原鼠兔的生存,提高了高原鼠兔种群扩大的速率^[7]。高原鼠兔食谱包括 27 种草本植物,且其取食有选择性,主要喜食双子叶植物,植物资源稀缺时也会采食铺散亚菊(*Ajania khartensis*)和弱小火绒草(*Leontopodium pusillum*)等杂类草植物^[8-9],这些双子叶植物与单子叶植物相比,其营养更为丰富。当栖息地食物资源匮乏时,高原鼠兔会通过增加进食单子叶植物的比例来满足生存活动所需的能量^[10]。在适宜的鼠兔密度范围内,高原鼠兔活动可促进土壤养分循环、改善土壤通透性,保持水土、提高土壤质量,促进高寒草甸植被生长,对优化植物群落结构,提高植物物种多样性,有着积极的影响^[11]。但在高密度暴发下,过量的鼠兔觅食和栖息行为会导致生境破碎化,减少高寒草甸可食牧草的比例,增加水土流失风险,降低土壤养分含量^[12]。同时,高原鼠兔挖掘活动形成的土丘和秃斑会形成严重退化的天然草地,其危害面积占草地鼠兔危害面积约 70%,可导致高寒草甸沙化和形成黑土滩退化草地,明显降低草地生产力^[13-15]。此外,高原鼠兔跑道也是导致高寒草甸退化斑块扩大的原因之一,高原鼠兔跑道会加速高寒草甸退化斑块的连通^[16],将小面积的退化斑块连接成大斑块,加剧了退化速度和恢复难度。高原鼠兔数量激增直接导致采食频率和挖掘等活动频繁发生,加速了高寒草甸退化。目前,我们对于不同放牧强度影响下高原鼠兔活动在高寒草甸退化过程中的关键生态作用研究不足。本研究以不同强度刈割处理和鼠兔密度为扰动因素,分析高寒草甸植物群落组分、植物生物量、植物多样性等变化,探讨(1)合理的高寒鼠兔活动扰动能否提高高寒草甸植物多样性,优化高寒草甸植物群落结构,增加土壤养分;(2)高原鼠兔种群密度过高是否会造成草地植被和土壤的退化;(3)通过观测刈割强度和高原鼠兔密度两种处理干扰下草地植物群落和土壤特征的变化,探讨家畜和啮齿动物的互作机制。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海省黄南州河南蒙古族自治县克其河滩的河漫滩地(东经 101°47',北纬 34°44'),平均海拔 3758 m(图 1)。该研究区广泛分布中度退化高寒草甸,呈现斑块化退化。植被群落总盖度在 80%以下,秃斑面积占比大于 20%以上,主要由矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)等组成。

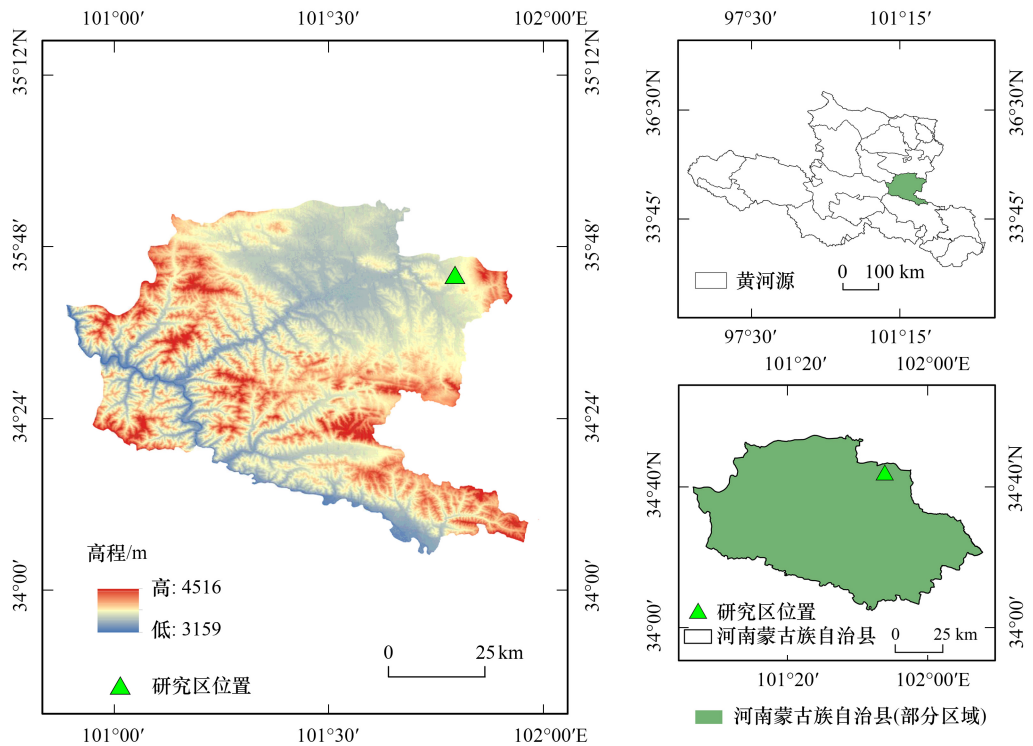


图 1 研究区域地理位置图

Fig.1 The geographical location of the study area

1.2 试验设计

本研究样地设置如图 2 所示, 2018 年 8 月设置围栏对研究区域进行围封,采用双因素(高原鼠兔密度和刈割强度)三水平随机区组试验^[17], 试验区控制水平如表 2。在研究区域中设立 27 个 25 m×30 m 的试验小区,9 种处理,各处理重复 3 次。为了防止高原鼠兔和其他食草动物等进入试验地,定制 50 cm 的钢丝网围栏(钢丝网格大小为 2.5 cm×2.5 cm)将地下部分封闭起来,地上部分则用高 50 cm 镀锌铁皮围建。根据试验设计(表 1)使用本田 HJ20-Z 型脉冲割草机进行刈割,并将割下的草移出试验区;鼠兔密度控制区,每年 8 月份进行数量清查并捕捉周边健康鼠兔投放,无鼠兔区使用 C 型肉毒素灭除高原鼠兔;定期检查维修防鼠围栏,确保试验效果。

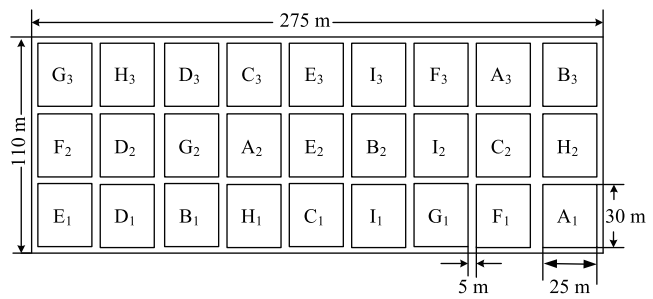


图 2 样地小区设置示意图

Fig.2 Sample plot setting diagram

图中 A: 无刈割无高原鼠兔; B: 无刈割, 7 只高原鼠兔; C: 无刈割, 14 只高原鼠兔; D: 中等刈割无高原鼠兔; E: 中等刈割, 7 只高原鼠兔; F: 中等刈割, 14 只高原鼠兔; G: 重度刈割无高原鼠兔; H: 重度刈割, 7 只高原鼠兔; I: 重度刈割, 14 只高原鼠兔

表 1 试验区控制水平

Table 1 Control level of test area

高原鼠兔密度控制区 Pika density control area		刈割控制区 Mowing control area	
控制水平 Control level	鼠兔只数 Quantity	刈割程度 Mowing intensity	留茬高度/cm Stubble height
高 High	14	100%	2
中 Middle	7	50%	12
无 Blank control	0	0	植物正常高度

1.3 样品采集

2018—2022 年每年 8 月,调查植物群落物种组成,样方面积为 0.5 m×0.5 m,每个试验小区重复 8 次样方调查,记录群落物种种群特征(高度、多度、盖度)。同时记录样方中出现的物种多度。对于样方内的单个物种,随机选取 5 株对其自然高度进行测量,并计算平均值,作为该物种的高度。记录物种数量即丰富度(Richness, R)。用目测法测定样方的总盖度和各物种分盖度。以上数据用来计算各功能群(包括禾本科、莎草科、菊科、豆科、杂类草)的高度、盖度、重要值和物种多样性。调查完成后,将样方内群落地上部分齐地面剪下,带回实验室置于 65 ℃ 的烘箱烘干 48 h 至恒重,得到植被地上生物量。在每个试验小区中采用美国 Spectrum 公司生产的时域反射 TDR 350 土壤水分、温度、电导仪在原样点测定 0—30 cm 土壤水分,重复 3 次。挖取 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm 重量相当的土样并混合,带回实验室,进行土壤全氮(Total nitrogen, TN)、全磷(Total phosphorus, TP)测定。使用半微量凯氏定氮法测定土壤全氮,碱解-钼锑抗比色法测定土壤全磷^[18]。

1.4 数据处理

整理数据并采用 SPSS Statistics 20.0 分析多因素单变量方差,并利用 R 语言 ggplot2、ggcor 与 dplyr 软件、Sigmaplot 14.0 作图。Simpson 多样性指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H)、Pielou 均匀度指数(E)及物种优势度(D_i)计算公式如下:

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

$$H = - \sum P_i \ln P_i$$

$$H_{\max} = \ln S$$

$$E = H/H_{\max}$$

$$D_i = (H' + D' + C') / 3$$

其中, P_i 为第 i 种的个体数占群落中总个体数的比例, $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 种的个体数, N 为所有物种个体数总和。 $H_{\max}$ 为最大的物种多样性指数, S 为群落中的所有物种总个体数。 H' 、 D' 、 C' 分别为相对高度、相对多度和相对盖度。

2 结果与分析

2.1 两种扰动处理对植被群落特征的影响

根据 2018—2022 年两种处理扰动下的植被盖度、高度、地上生物量的变化情况,发现刈割强度、鼠兔密度及它们的交互作用对植被高度有极显著影响($P<0.01$,表 2,图 3)。其中,无刈割处理下的植被高度比中度和重度刈割处理下的植被高度分别高 1.08 倍和 0.92 倍。无鼠兔情况下的植被高度显著高于 7 只和 14 只鼠兔下的植被高度,分别高 0.48 倍、0.44 倍。随着处理年限的增加,植被盖度下降,2022 年的植被盖度显著低于前 4 年。2021 年地上生物量较前 3 年显著增加($P<0.01$),分别增加了 63.87%、59.90%、37.42%。中度和重度刈割处理显著降低了植被地上生物量($P<0.01$),分别减少了 26.91%和 32.29%。

表 2 刘割强度和鼠兔密度对植被高度、盖度、地上生物量的单变量多因素方差分析 (F -值) 结果 ($P=0.05$)

Table 2 The results of univariate multivariate analysis of variance (F -value) of mowing intensity and pika density on vegetation height, coverage and above-ground biomass ($P=0.05$)

变异来源 Difference source	df	F 值		
		高度 Height	盖度 Coverage	地上生物量 Above-ground biomass
年 Year (Y)	3	2.412	9.635 **	8.067 **
刘割强度 Mowing intensity (M)	2	18.863 **	6.114 **	8.418 **
鼠兔密度 Pika population (P)	2	5.377 **	9.268 **	0.395
年份×刘割强度 Interaction of Y and M	6	1.999	1.587	0.520
年份×鼠兔密度 Interaction of Y and P	6	0.757	1.298	1.619
刘割强度×鼠兔密度 Interaction of M and P	4	6.300 **	4.937 **	0.669
年份×刘割强度×鼠兔密度 Interaction of Y, M and P	12	0.949	0.765	0.832

表中 ** 表示 $P<0.01$

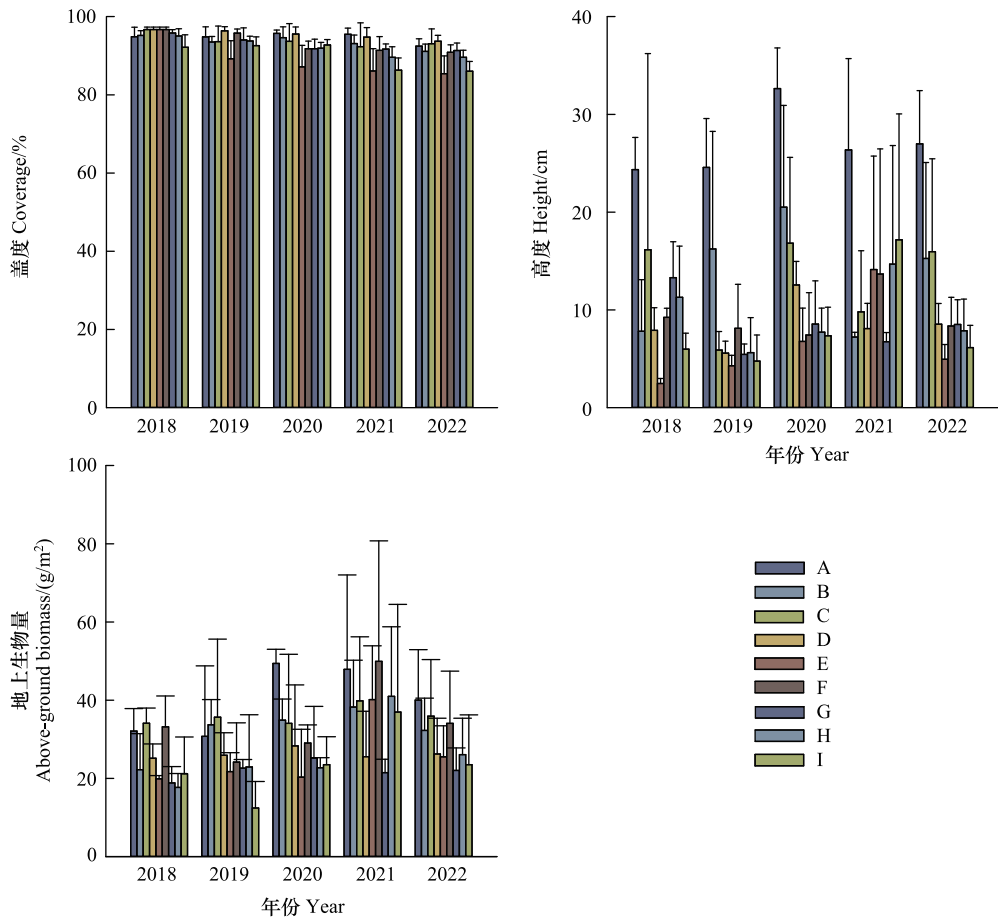


图 3 刘割强度和鼠兔密度对植被盖度-高度-地上生物量的影响 (平均值±标准偏差)

Fig.3 Effects of moving intensity and pika density on vegetation height, coverage and above-ground biomass (mean±SD)

2.2 两种扰动处理对植被群落功能群重要值的影响

连续 5 年两种扰动处理对禾本科、莎草科、豆科和杂类草功能群重要值有显著影响 ($P<0.05$) (表 3、图 4),而对菊科植物重要值影响不显著。年份、刘割强度、鼠兔密度对禾本科重要值有显著影响 ($P<0.05$)。其中,2021 年禾本科重要值显著大于 2018 年、2019 年和 2020 年,无刘割处理下的禾本科重要值显著大于中度

度、年份和鼠兔密度、年份和刈割强度对莎草科重要值有显著影响 ($P<0.05$)。其中,2019 年、2020 年和 2021 年的莎草科重要值显著大于 2018 年,中度和重度刈割处理下的莎草科重要值显著大于无刈割处理。豆科和杂类草重要值只在年份间存在显著差异 ($P<0.05$)。上述对比表明了两种扰动处理下刈割活动提高了莎草科的重要值,降低了禾本科的重要值。

表 3 刈割强度和鼠兔密度对植被功能群重要值的单变量多因素方差分析 (F -值) 结果 ($P=0.05$)

Table 3 The results of univariate multivariate ANOVA (F -value) of mowing intensity and pika density on the importance value of different vegetation functional groups ($P=0.05$)

变异来源 Difference source	df	F 值				
		禾本科 Grasses	莎草科 Sedges	菊科 Asteraceae	豆科 Leguminosae	杂类草 Forbs
年 Year (Y)	3	6.787 **	8.169 **	2.055	7.077 **	17.806 **
刈割强度 Mowing intensity (M)	2	4.096 *	3.719 *	1.807	1.586	0.938
鼠兔密度 Pika population (P)	2	4.083 *	0.286	0.463	0.544	1.395
年份×刈割强度 Interaction of Y and M	6	1.462	2.602 *	3.871 **	1.290	1.999
年份×鼠兔密度 Interaction of Y and P	6	1.553	2.402 *	0.448	0.719	1.078
刈割强度×鼠兔密度 Interaction of M and P	4	1.744	0.858	1.399	1.800	2.377
年份×刈割强度×鼠兔密度 Interaction of Y, M and P	12	0.838	0.972	1.165	1.736	0.427

表中 * 表示 $0.01<P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$

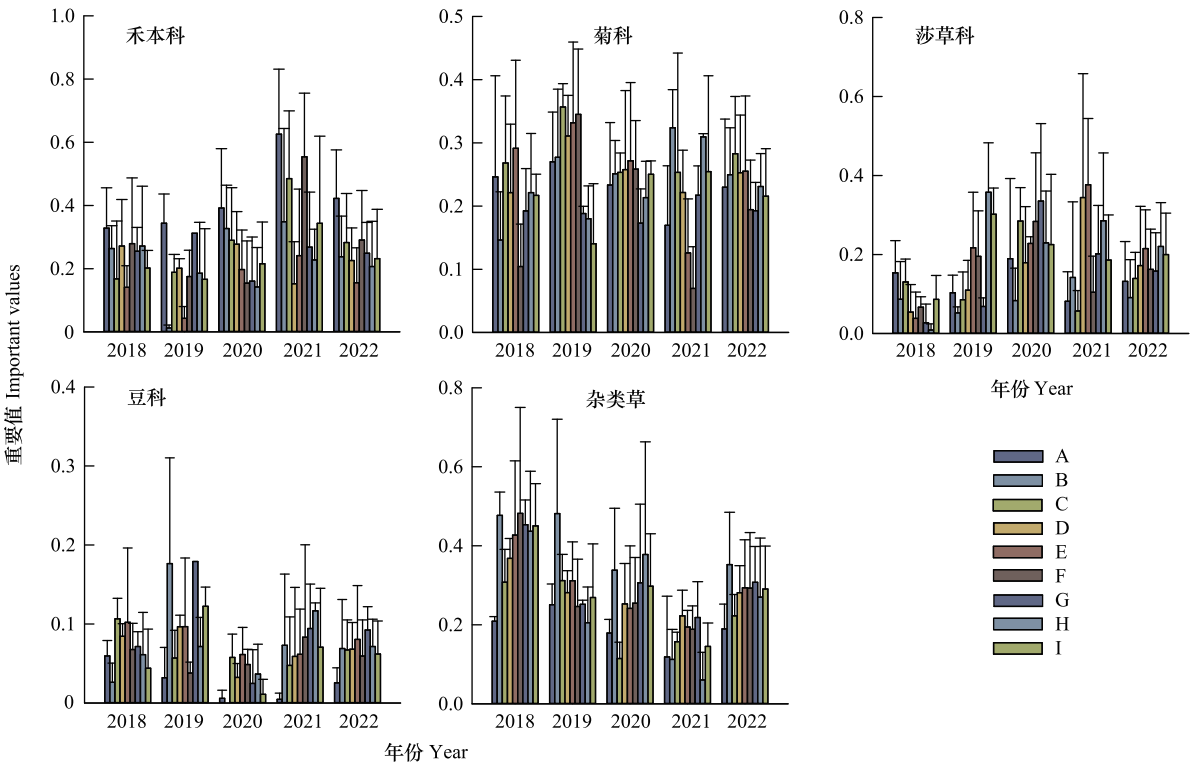


图 4 刈割和高原鼠兔密度对植被群落功能群重要值的影响(平均值±标准偏差)

Fig.4 Effects of mowing intensity and pika density on the importance value of plant functional groups (mean±SD)

2.3 两种扰动处理对植被群落多样性的影响

年份和刈割强度增加会显著降低植物多样性指数 ($P<0.05$) 见表 4 和图 5,2021 年植被多样性指数 (Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、物种均匀度指数和物种丰富度指数) 显著低于 2018、2019、2020 年 ($P<$

0.05)。其中,2021 年 Simpson 指数较 2018、2019、2020 年分别降低 0.1369、0.1299、0.1562,Shannon-Wiener 指数分别降低 0.6006、0.6465、0.6963,物种均匀度指数分别降低 0.0433、0.0413、0.0512,物种丰富度指数分别降低 7.7308、8.1969、5.0873。重度刈割处理下植被多样性指数(Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和物种丰富度指数)显著低于无刈割和中度刈割处理下植被多样性指数($P<0.05$)。其中,重度刈割下 Simpson 指数较无刈割和中度刈割分别降低 0.0258、0.0279,物种丰富度指数分别降低 0.0258、0.0279。重度刈割下 Shannon-Wiener 指数较无刈割降低 0.1513,鼠兔密度对植物多样性没有显著影响。

表 4 植被多样性的单变量多因素方差分析(F -值)结果($P=0.05$)

Table 4 The results of univariate multivariate ANOVA (F -value) of mowing intensity and pika density on plant diversity ($P=0.05$)

变异来源 Difference source	df	F 值			
		Simpson 指数 D	Shannon- Wiener 指数 H	物种均匀 度指数 E	物种丰富 度指数 R
年 Year (Y)	3	46.373 **	42.273 **	4.048 *	60.583 **
刈割强度 Mowing intensity (M)	2	2.931 **	3.163 *	1.776	9.047 **
鼠兔密度 Pika population (P)	2	1.762	0.284	0.747	0.269
年份×刈割强度 Interaction of Y and M	6	0.662	0.557	0.479	1.620
年份×鼠兔密度 Interaction of Y and P	6	0.756	1.059	1.445	0.813
刈割强度×鼠兔密度 Interaction of M and P	4	0.643	0.572	0.380	0.370
年份×刈割强度×鼠兔密度 Interaction of Y, M and P	12	0.758	0.759	0.602	0.173

表中 * 表示 $0.01<P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$

2.4 两种扰动对土壤理化特性的影响

不同刈割强度和鼠兔密度处理下土壤全氮、全磷含量多因素方差分析结果(表 5、图 6)表现为年份、刈割强度及其交互作用对全氮和全磷有极显著影响($P<0.01$),而年份和鼠兔密度对 pH 有显著影响($P<0.05$)。随着年份的增加,全氮、pH 均为先增后减的趋势,全磷表现为先增后减再增的趋势,2018 和 2019 的全磷显著高于 2020 年和 2021 年。随着刈割强度的增加,全氮、全磷表现为先增后减的趋势,中度刈割强度处理下全氮显著高于无刈割和重度刈割处理下全氮,中度和重度刈割处理下全磷显著高于无刈割处理。随着鼠兔数量的增加,pH 下降,且鼠兔数量为 14 只的 pH 较无鼠兔处理显著下降了 0.23,鼠兔密度对土壤全氮和全磷含量没有显著影响。随着年份和刈割强度变化,土壤养分出现先增长后减小的规律。

表 5 土壤理化性质的单变量多因素方差分析

Table 5 Results of univariate multivariate ANOVA of mowing intensity and pika density on soil physical and chemical properties

变异来源 Difference source	df	F 值					
		土壤温度 T	土壤含水量 SWC	电导率 EC	全氮 TN	全磷 TP	pH
年 Year (Y)	3	12.059 **	8.793 **	25.876 **	17.763 **	358.963 **	41.267 **
刈割强度 Mowing intensity (M)	2	8.897 **	1.23	0.623	6.678 **	30.804 **	1.695
鼠兔密度 Pika population (P)	2	1.366	0.527	1.344	1.623	0.447	4.579 *
年份×刈割强度 Interaction of Y and M	6	2.314 *	0.92	1.786	6.914 **	28.021 **	0.497
年份×鼠兔密度 Interaction of Y and P	6	0.983	1.06	0.851	0.36	0.65	0.143
刈割强度×鼠兔密度 Interaction of M and P	4	1.152	0.629	0.681	0.292	0.33	4.648
年份×刈割强度×鼠兔密度 Interaction of Y, M and P	12	0.87	0.392	1.03	1.291	0.873	0.158

表中 * 表示 $0.01<P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$

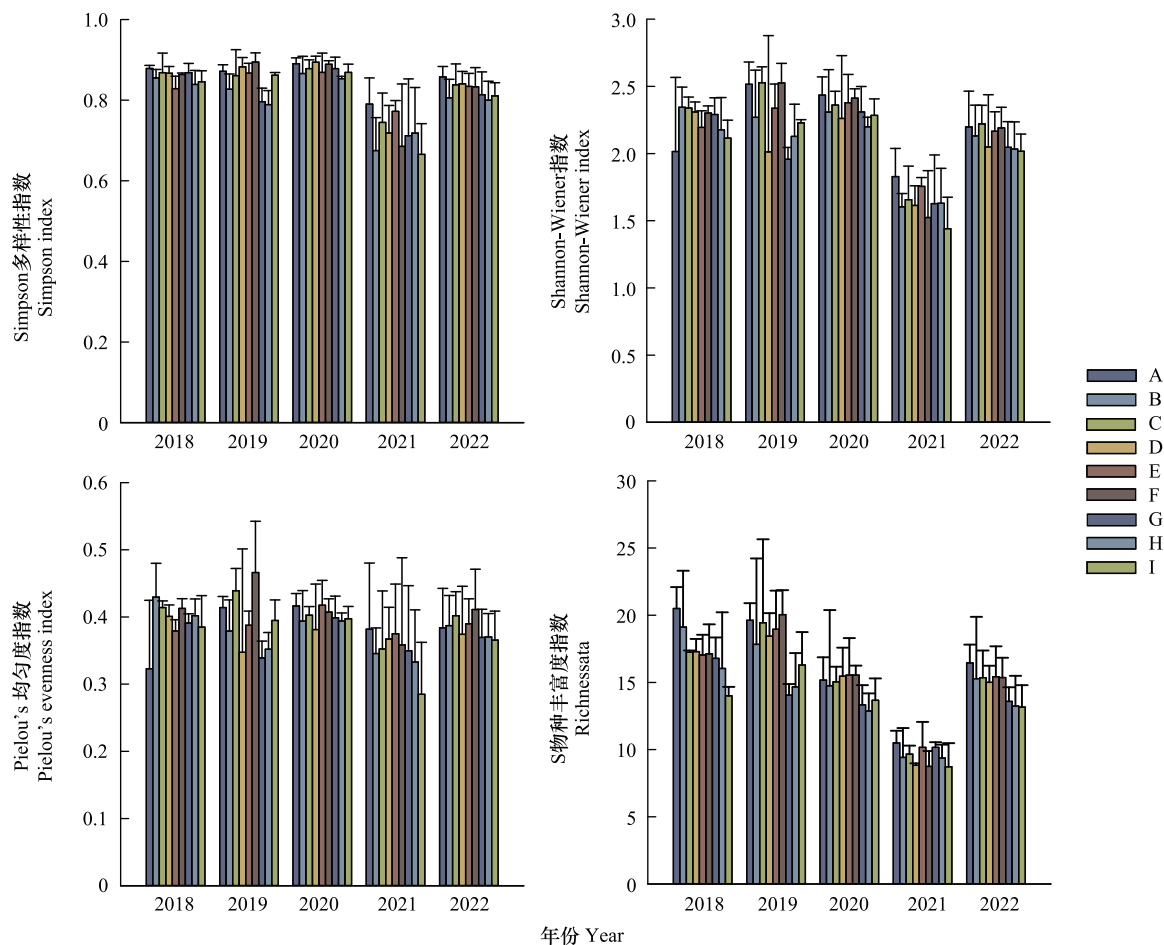


图5 刈割强度和鼠兔密度植被群落多样性的影响(平均值 $\pm$ 标准偏差)

Fig.5 Effects of mowing intensity and pika density on the diversity of the vegetation community (mean $\pm$ SD)

3 讨论

3.1 两种扰动对植被群落特征的影响

草地生态系统中草食动物间相互影响能够改变植物种间的竞争关系,进而改变植物群落的组成、结构等^[19]。连续试验5年后发现,刈割强度和高原鼠兔密度以及它们的交互作用显著影响高原鼠兔栖息地植被高度、盖度和生物量,并对高原鼠兔栖息地植被特征产生负面影响。无鼠兔和无刈割处理植被高度显著大于高原鼠兔干扰和刈割情况下的高寒草甸的植被高度。刈割强度和鼠兔密度两种扰动及之间的交互作用显著影响栖息地植被高度和盖度,随着年份的增加,植被群落盖度会显著下降。刈割强度和高原鼠兔干扰对高寒草甸植被高度和盖度的影响与目前大多数放牧强度和鼠兔密度对高寒草甸影响的研究结果比较相似^[20]。而植被地上生物量在不同年份和不同刈割强度间存在显著差异,刈割处理会显著降低高寒草甸植被群落的生物量,2021年植被生物量显著大于其它3年,而鼠兔密度对生物量没有显著影响,说明草地生产力下降的主要驱动力是人类过度放牧。刈割强度和鼠兔密度两种扰动及之间的交互作用显著影响栖息地植被高度和盖度,随着年份的增加,植被群落盖度会显著下降。

植物功能群是具有一定功能特征的植物物种组合,是研究植物对干扰反应较为迅速的组织层次,也是植物随环境因子变化的基本单元^[22-23]。针对干扰后的生存环境,植物一般通过功能类群重组以适应异质生境^[21]。本研究发现不同年份间禾本科、莎草科、豆科和杂类草功能群重要值存在显著差异,禾本科和莎草科

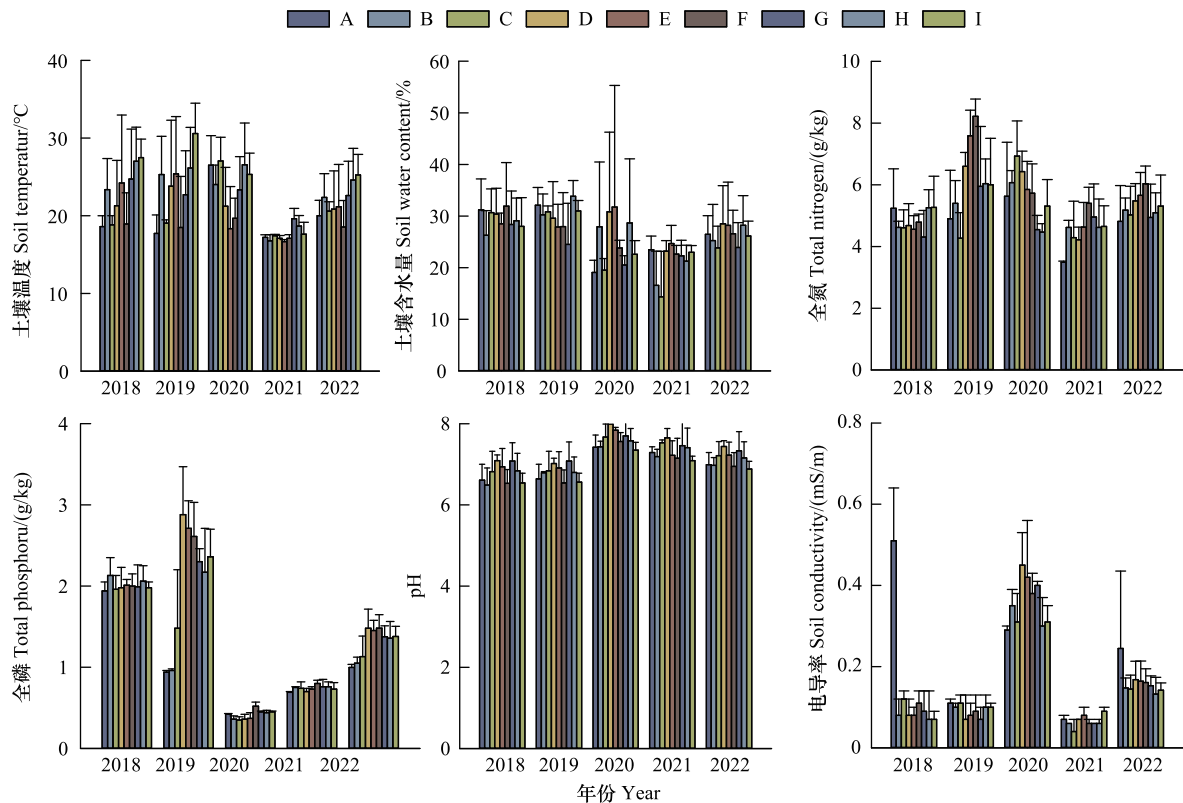


图6 两种扰动因素对土壤理化特性的影响

Fig.6 Effects of two disturbance factors on soil physical and chemical properties (mean $\pm$ SD)

重要值随着时间的增加而增加,而杂类草重要值显著下降。刈割会显著降低禾本科功能群的重要值,也会显著增加莎草科功能群的重要值,且中密度高原鼠兔干扰会显著降低禾本科功能群重要值。其次,高原鼠兔和刈割强度的共同作用提高了莎草科的盖度,增加了莎草科在群落中的重要值,莎草科植物优势度在干扰作用下表现为增强。一般情况下,与其它类型植被功能群相比禾草类植物植株高度总体较高,处于草地群落的上层^[24],因此在进行刈割时,禾本科功能群更易受到限制,向低矮化方向发展,生长状况较差^[25],导致该功能群重要值下降。莎草科植物耐牧性更强,植株自身相对低矮,且具有较强的克隆分蘖能力,莎草科优势度的进一步提高会形成更紧密的草毡层,所以在一定程度上增加了自身的放牧抵抗力^[26-27],因此在刈割处理下能够生长良好。同时,刈割去除了大量植被和凋落物,为莎草科植物提供了更多的生存空间和资源,进一步促进了莎草科植物的自身生长。但刈割处理带走了大量群落上层的植被种子,不利于草地物种多样性的维持。姚喜喜等^[28]研究表明植物多样性主要取决于放牧强度,过度放牧可能会导致高寒草甸生物多样性的丧失和草地的退化。此外,植物功能群重要值还受其自身特性以及功能群间的相互影响。植物功能群的可塑性变化,直接反映了植物群落对刈割和高原鼠兔干扰的适应性。不同的功能群组合对应着不同的生态学现象,进而形成两种干扰下的不同生态对策^[29-30]。

3.2 两种扰动处理对草地土壤性质的影响

刈割强度和鼠兔密度两种扰动因素均影响土壤结构,其状态为动态变化过程。刈割强度和鼠兔密度两种扰动下栖息地土壤的物理、化学性质呈现动态变化。随着年份与刈割强度的增加,全氮、全磷表现为先增加后减少的趋势。年份、刈割强度及它们的交互作用对土壤温度和土壤含水量有显著影响^[31-33]。本研究表明,重度刈割处理显著增加了土壤温度,较无刈割处理和中度刈割处理分别增加 3.15°C 和 3.96°C。但 2020、2021 和 2022 年的土壤含水量显著低于 2018 年和 2019 年。刈割导致植被高度显著降低,不能够形成草地遮阴环境。随着刈割程度的增加,植被高度显著降低,形成的阴影面积减小,地面直射阳光增加,故土壤温度随之增高,同

时水分蒸发也导致土壤含水量降低。土壤化学性质随着年份和刈割强度出现先增长,后减小的规律。年份、刈割强度及它们的交互作用对全氮和全磷有极显著影响,而年份和鼠兔密度对 pH 有显著影响。随着刈割强度、年份的增加,全氮、全磷表现为先增后减的趋势,中度刈割强度处理下全氮显著高于无刈割和重度刈割处理下全氮,中度和重度刈割处理下全磷显著高于无刈割处理。随着鼠兔数量的增加,pH 下降,且鼠兔数量为 14 只的 pH 较无鼠兔情况,显著下降了 0.23,鼠兔密度对土壤全氮和全磷含量没有显著影响。主要原因是刈割的干扰先促进了土壤养分的循环,植物养分首先回到土壤中,增加土壤全氮、全磷含量,随着刈割强度增加,刈割活动成为了掠夺性活动,将养分提取到系统之外,全氮、全磷随之减少。

4 结论

(1) 刈割强度和高原鼠兔密度两种扰动因素显著影响植被高度和盖度,随着年份的增加,植被群落盖度会显著下降。控制刈割强度和高原鼠兔的干扰可显著增加植物物种多样性,提高草地生产力、盖度和高度。(2) 重度刈割干扰下土壤温度升高,地表蒸发加强土壤含水量降低,高原鼠兔干扰活动增强,高密度鼠兔干扰下土壤 pH 显著下降。(3) 中度刈割干扰下土壤全氮、全磷显著高于其他处理,说明中度刈割可以促进草地土壤养分积累。中度刈割可有利于促进高寒草甸植被和土壤的正向演替。

参考文献 (References):

- [1] 夏景新. 载畜率调控的理论与牧场管理实践. 中国草地, 1995, (1): 46-54.
- [2] 彭祺, 王宁. 不同放牧制度对草地植被的影响. 农业科学研究, 2005, (1): 27-30.
- [3] Niu Y J, Zhu H M, Yang S W, Ma S J, Zhou J W, Chu B, Hua R, Hua L M. Overgrazing leads to soil cracking that later triggers the severe degradation of alpine meadows on the Tibetan Plateau. Land Degradation & Development, 2019, 30(10): 1243-1257.
- [4] Yang C, Sun J. Impact of soil degradation on plant communities in an overgrazed Tibetan alpine meadow. Journal of Arid Environments, 2021, 193: 104586.
- [5] 姚喜喜. 高寒草甸植物群落和家畜对放牧压力的响应机制研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
- [6] Liu L k, Zhao G J, An Z F, Mu X M, Jiao J Y, An S S, Tian P. Effect of grazing intensity on alpine meadow soil quality in the eastern Qinghai-Tibet Plateau, China. Ecological Indicators, 2022, 141(8): 109111.
- [7] 陈莹莹. 高原鼠兔干扰对高寒草甸生态系统服务价值的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
- [8] 蒋志刚, 夏武平. 高原鼠兔食物资源利用的研究. 兽类学报, 1985, 5(4): 251-262.
- [9] 刘伟, 张毓, 王溪, 赵建中, 许庆民, 周立. 植物生长季节不同栖息地高原鼠兔的食物选择. 兽类学报, 2008, 28(4): 9.
- [10] 刘伟, 张毓, 王溪, 赵建中, 许庆民, 周立. 高原鼠兔冬季的食物选择. 兽类学报, 2009, 29(1): 12-19.
- [11] 周睿, 花蕊, 华锐泽, 张飞宇, 叶国辉, 唐庄生, 花立民. 高原鼠兔干扰下高寒草甸植物群落结构的时空动态特征. 草原与草坪, 2021, 41(1): 1-7.
- [12] 翟婷婷. 高原鼠兔干扰对高寒草甸土壤质量的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2021.
- [13] Cease A J, Elser J J, Ford C F, Hao S, Kang L, Harrison J F. Heavy livestock grazing promotes locust outbreaks by lowering plant nitrogen content. Science, 2012, 335(6067): 467-469.
- [14] Li X L. The spatio-temporal dynamics of four plant-functional types (PFTs) in alpine meadow as affected by human disturbance, Sanjiangyuan region, China[D]. Auckland: The University of Auckland, 2012.
- [15] Wilson M C, Smith A T. The pika and the watershed: the impact of small mammal poisoning on the ecohydrology of the Qinghai-Tibetan Plateau. AMBIO, 2015, 44(1): 16-22.
- [16] 宋梓涵, 李希来, 李杰霞, 卡着才让, 马戈亮. 高原鼠兔跑道对高寒草甸退化斑块扩大与连通的影响. 生态学杂志, 2020, 39(10): 9.
- [17] 李杰霞. 黄河源高寒草甸景观破碎化过程及其对两种扰动的响应[D]. 西宁: 青海大学, 2021.
- [18] 孙华方. 生物土壤结皮对黄河源人工草地稳定性的影响[D]. 西宁: 青海大学, 2019.
- [19] Davidson A D, Ponce E, Lightfoot D C, Fredrickson E L, Brown J H, Cruzado J, Brantley S L, Sierra C R, List R, Toledo D, Ceballos G. Rapid response of a grassland ecosystem to an experimental manipulation of a keystone rodent and domestic livestock. Ecology, 2010, 91(11): 3189-3200.
- [20] 许华磊, 王溪, 刘伟. 放牧条件下高原鼠兔扰动对高寒草甸植物群落特征的影响. 兽类学报, 2019, 39(5): 537-545.
- [21] 刘晓娟, 马克平. 植物功能性状研究进展. 中国科学: 生命科学, 2015, 45(4): 325-339.

- [22] Louault F, Pillar V D, Aufrere J, Garnier E, Soussana J F. Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16(2): 151-160.
- [23] 林丽, 张德罡, 曹广民, 欧阳经政, 刘淑丽, 张法伟, 李以康, 郭小伟. 高寒嵩草草甸植物群落数量特征对不同利用强度的短期响应. *生态学报*, 2016, 36(24): 8034-8043.
- [24] 李长斌. 青藏高原高寒草原植物群落结构及其碳通量对降水变化和氮添加的响应[D]. 北京: 中国科学院大学, 2020.
- [25] 罗方林, 张法伟, 张光茹, 王春雨, 祝景彬, 杨永胜, 李英年. 放牧强度对高寒草甸群落特征及植被生存状态的影响. *草业科学*, 2021, 38(11): 2097-2105.
- [26] 郑伟, 董全民, 李世雄, 李红涛, 刘玉, 杨时海. 放牧强度对环青海湖高寒草原群落物种多样性和生产力的影响. *草地学报*, 2012, 20(6): 1033-1038.
- [27] 崔树娟, 布仁巴音, 朱小雪, 白玲, 汪诗平. 不同季节适度放牧对高寒草甸植物群落特征的影响. *西北植物学报*, 2014, 34(2): 349-357.
- [28] 姚喜喜, 才华, 李长慧. 封育和放牧对高寒草甸植被群落特征和土壤特性的影响. *草地学报*, 2021, 29(S01): 128-136.
- [29] 董全民, 赵新全, 李世雄, 王彦龙, 郑伟, 侯宪宽, 宋磊. 草地放牧系统中土壤-植被系统各因子对放牧响应的研究进展. *生态学杂志*, 2014, 33(8): 2255-2265.
- [30] 李西良, 刘志英, 侯向阳, 吴新宏, 王珍, 胡静, 武自念. 放牧对草原植物功能性状及其权衡关系的调控. *植物学报*, 2015, 50(2): 159-170.
- [31] Chen J J, Yi S H, Qin Y. The contribution of plateau pika disturbance and erosion on patchy alpine grassland soil on the Qinghai-Tibetan Plateau: implications for grassland restoration. *Geoderma*, 2017, 297: 1-9.
- [32] Yu C, Pang X P, Wang Q, Jin S H, Shu C C, Guo Z G. Soil nutrient changes induced by the presence and intensity of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) disturbances in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Ecological Engineering*, 2017, 106: 1-9.
- [33] Pang X P, Yu C Q, Zhang J, Wang Q, Guo Z G, Tian Y. Effect of disturbance by plateau pika on soil nitrogen stocks in alpine meadows. *Geoderma*, 2020, 372: 114392.