

doi:10.11920/xnmdzk.2025.04.002

高原鼠兔对高寒草甸植物群落特征的影响

单凯歌¹,华茹婷¹,杨阳¹,张太红¹,冷焕琨¹,刘刚²,刘雨桐²,杨孔¹,杨建¹

(1.西南民族大学草地资源学院,四川成都610041;2.四川省草原科学研究院,四川成都610041)

摘要:探究高原鼠兔(*Ochotona curzoniae* Hodgson)对高寒草甸植物群落特征的影响,将高原鼠兔有效洞穴密度作为影响因子划分为5个水平:CK(0个/hm²)、T1(725个/hm²)、T2(1506个/hm²)、T3(2203个/hm²)、T4(2995个/hm²)。运用单因素方差分析和线性拟合分析研究高原鼠兔不同干扰强度对高寒草甸植物群落特征的影响。结果表明:高原鼠兔的种群密度未达到T1水平(即每公顷有效洞口数少于725个)时,对于高寒草甸的影响是积极的,能明显提高植物群落的物种丰富度和多样性指数($P<0.05$)。然而,一旦高原鼠兔种群密度超过T1阈值,高寒草甸生态系统将遭受负面影响,表现为植物多样性、高度、盖度和生物量等关键指标显著降低($P<0.05$)。因此,当有效洞口数超过725个/hm²时,需对高原鼠兔种群密度进行科学管理。

关键词:高原鼠兔;干扰;高寒草甸;植物群落特征

中图分类号:S812.6

文献标志码:A

文章编号:2095-4271(2025)04-0362-09

Effects of plateau pikas on characteristics of plant community in alpine meadows

SHAN Kaige¹, HUA Ruting¹, YANG Yang¹, ZHANG Taihong¹, LENG Huankun¹, LIU Gang²,

LIU Yutong², YANG Kong¹, YANG Jian¹

(1. School of Grassland Resources, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China;

2. Sichuan Academy of Grassland Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to explore the effect of *Ochotona curzoniae* Hodgson on the plant community characteristics of alpine meadows, the effective burrow density of plateau pikas was divided into five levels as the influencing factor: CK (0 pcs/hm²), T1 (725 pcs/hm²), T2 (1506 pcs/hm²), T3 (2203 pcs/hm²), T4 (2995 pcs/hm²). One-way analysis of variance and linear fit analysis were used to study the effects of different disturbance intensities on plant community characteristics in alpine meadow. The results showed that when the population density of plateau pikas was lower than T1 (the average effective number of holes was 725/hm²), it could have a positive effect on the alpine meadow and significantly increase the diversity index (Shannon-Wiener) and richness index (Patrick) of plant communities ($P<0.05$). However, when the population density of the plateau pika exceeded T1, it had an adverse impact on the alpine meadow, and the characteristics of plant diversity, height, coverage and biomass decreased significantly ($P<0.05$). Therefore, when the number of effective holes exceeds 725/hm², it is necessary to scientifically manage the population density of plateau pikas.

Keywords: *Ochotona curzoniae* Hodgson; disturbance; alpine meadow; plant community characteristics

青藏高原是全球平均海拔最高的高原,区域内分布功能性完整的高寒生态系统^[1-2]。高寒草甸是区域

收稿日期:2024-09-15

通信作者:杨孔(1973-),男,教授,博士,研究方向:动物生态与保护生物学.E-mail:lx-yk@163.com;杨建(1985-),男,助理研究员,博士,研究方向:动物生态与保护生物学.E-mail:yjian_1210@163.com

基金项目:四川省科技厅科技项目(2015S20062);中央高校基本科研业务费专项基金项目(自科)自由探索专项青年成长项目(ZYN2022090)

内广泛分布的植被类型,其对于青藏高原的意义重大.但是高寒草甸生态系统却显示出较低的抗干扰能力和较为敏感的功能性^[3].随着人类活动强度的日益增长,高寒草甸生态系统受到的干扰也不断增强,生态功能退化问题愈发严重^[4].草地退化导致高原鼠兔分布区域不断扩大,高原鼠兔种群密度对整个高寒草甸的植物群落特征有明显影响.围绕其开展研究很有必要.

高原鼠兔(*Ochotona curzoniae* Hodgson)是一种青藏高原独有的小型穴居哺乳动物,是青藏高原高寒草甸的关键种^[5].它们通过挖土掘洞、刈割牧草、贮存食物以及排泄粪便等活动,对高寒草甸生态系统产生直接或间接的影响^[6-8].在适当的密度下,高原鼠兔能够对高寒草甸植物群落产生积极影响,例如增加植物种类的多样性和提高可食用牧草的初级生产力^[9].而当其密度超过高寒草甸的承载能力时,则会对高寒草甸生态系统的平衡稳定造成影响.例如在高原鼠兔分布密度过高区域,植物群落中不可食牧草比例显著增加^[10],而优势种高山嵩草种群的生态位明显缩减等^[11].

围绕高原鼠兔对于高寒草甸植物群落造成的干扰,已经开展了相当多的研究.如徐海鹏等^[12]的研究表明,当有效洞口数量从无到每公顷 1 216 个逐渐增加时,草甸植物高度和盖度显著降低,而物种多样性的三个指数先上升后下降,这些指数在高原鼠兔有效洞口密度介于 375 至 735 个/hm²时达到峰值.但在青藏高原地区,高寒草甸中从高原鼠兔有效洞口密度为 0 到有效洞口密度极高的研究则鲜有报道.已有研究的实验区域内,高原鼠兔的有效洞口密度区间变化幅度较小,无法全面展示高原鼠兔种群密度变化的不同阶段对于高寒草甸生态系统产生的系统性影响^[12-13].并且在不同区域内获得的不全面的研究结果由于区域之间自然环境的差异,无法完美地进行整合分析.因此开展研究高原鼠兔对高寒草甸植物群落特征的影响十分重要.研究区域所在的色达县位于青藏高原东南缘,广泛分布着高寒草甸,具有较为典型的高原生态系统^[18-19],在此区域开展相关研究所得出的结论,对于了解高原鼠兔对于青藏高原地区高寒草甸生态系统植物群落的系统性影响,有着重要参考价值.

因此,本研究选择在色达县的高寒草甸开展实

验,围绕高原鼠兔对于高寒草甸植物群落扰动开展实验,通过分析不同高原鼠兔干扰强度下,植物多样性指标、植被高度、盖度、地上和地下生物量及其分配比例、优势种群优势度等群落特征的变化规律,为阐明不同高原鼠兔干扰强度下,高寒草甸植物群落特征的变化规律提供科学依据.更加全面了解高原鼠兔的生态作用,为青藏高原地区的高原鼠兔防治和鼠荒治理提供较为合理的科学依据.

1 研究方法

1.1 实验样地概况

研究中所涉及 20 处实验样地均位于四川省甘孜藏族自治州色达县境内,实验样地海拔在 4 100 ~ 4 350 m 间,实验区域气候为青藏高原东南部地区较为典型的温带湿润高原季风气候,区域内年均降水量为 651.4 mm,全年均温 1 °C,冬季寒冷,夏季凉爽,积温较低^[18-19].主要植被类型为高寒草甸,主要植被种类为高山嵩草(*Carex parvula*)、草玉梅(*Anemone rivularis*)、四川嵩草(*Carex setschwanensis*)、蕨麻(*Argentina anserina*)、独一味(*Phlomis rotata*)、珠芽蓼(*Bistorta vivipara*)、圆穗蓼(*Polygonum macrophyllum*)等,其中优势种为高山嵩草^[20].所有实验样地均设置在高原鼠兔为主要小型穴居哺乳动物的中度放牧强度的冷季牧场内.

1.2 实验方法

本研究采用高原鼠兔有效洞穴密度反映高原鼠兔干扰强度的方法^[11,22],分析不同高原鼠兔干扰强度对高山嵩草群落植物多样性、地上和地下生物量、高度、盖度等群落特征的影响^[23-25].

野外调查于 2022 年 6—8 月盛草期在四川省色达县境内布设实验样地.样地均选择在地势平坦开阔的平地.为避免放牧对草地群落的影响,选择的实验样地都在已经围栏的冷季牧场(不会在暖季进行放牧),并且排除了其他动物的影响.采用连续堵洞盗洞法测定有效洞穴密度,共设置 4 个高原鼠兔干扰水平,分别为 725 个/hm²、1 506 个/hm²、2 203 个/hm²、2 995 个/hm²,分别用 T1、T2、T3、T4 表示^[11].每个水平在其所在乡镇设置 3 个重复,因此在色达县所调查的 4 个乡镇内,每个水平进行 12 次重复,共布设 48 个 25 m×25 m(625 m²)实验样地.为了减少活动性强

的高原鼠兔对未干扰区域的潜在影响,未干扰的实验样地选择时确保了与干扰样地的距离超过 500 m,同时保持了相同的草甸类型和地形特征,共选择非干扰实验样地 12 个,用 T0 表示。

在以上 60 个实验样地(图 1)内,每个样地随机布设了 3 个 1 m×1 m 的样方作为采样地点,总共有

180 个采样区。鉴定每个样方内的植物种类,统计样方内植物的地上生物量、地下生物量、高度、盖度等植物群落特征,并将植物分类装入牛皮纸袋。采用钢卷尺来测量植物的高度,测量方法为记录植物最高点与地面的垂直距离^[26],同时,通过针刺点测法来确定植被盖度^[27]。

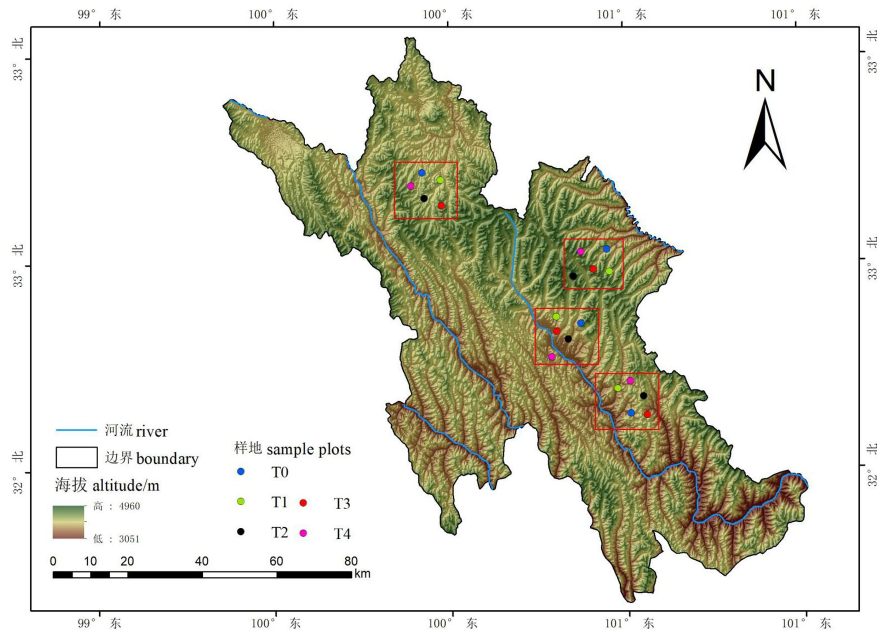


图 1 实验样地分布示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental sample plot distribution

1.3 数据处理与分析

1.3.1 重要值(优势度)

重要值(P_i)计算公式^[22]: $P_i = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对生物量})/3$ 。

1.3.2 地上地下生物量营养分配比例

总生物量 = 地上生物量 + 地下生物量。

生物量向地下分配比例 = 地下生物量 / 总生物量^[28]。

1.3.3 植物多样性

植物多样性的评估使用采用多样性指数(H)、丰富度指数(S)和均匀度指数(J)^[29]。

Shannon-Wiener 多样性指数(H): $H = - \sum P_i \ln P_i$ 。

Patrick 丰富度指数(S), S = 样方内出现的物种总数。

Pielou 均匀度指数(J), 其计算公式: $J = H / \ln S$ 。

1.4 统计分析

Excel 软件用于数据处理, SPSS21.0 软件用于进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), Origin2018.0

软件用于进行线性拟合分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 高原鼠兔不同干扰强度对高寒草甸植物高度、盖度、生物量以及优势种优势度的影响

随着高原鼠兔种群密度增加,高寒草甸植被地上生物量呈现降低的趋势(图 2)。在干扰强度为 T0 和 T1 时达到最大, T4 时达到最小, T0 和 T1 干扰强度下的地上生物量显著大于 T2、T3 和 T4 ($P < 0.05$), T2 显著大于 T3 和 T4 ($P < 0.05$), T3 显著大于 T4 ($P < 0.05$), T0 与 T1 差异不显著(图 3)。

地下生物量呈现先升高后降低再升高的趋势(图 2)。在 T0 和 T1 时达到最大, T4 时达到最小, T0 和 T1 干扰强度下的地下生物量显著大于 T2、T3 和 T4 ($P < 0.05$), T2 显著大于 T3 和 T4 ($P < 0.05$), T3 显著大于 T4 ($P < 0.05$), T0 与 T1 差异不显著(图 3)。

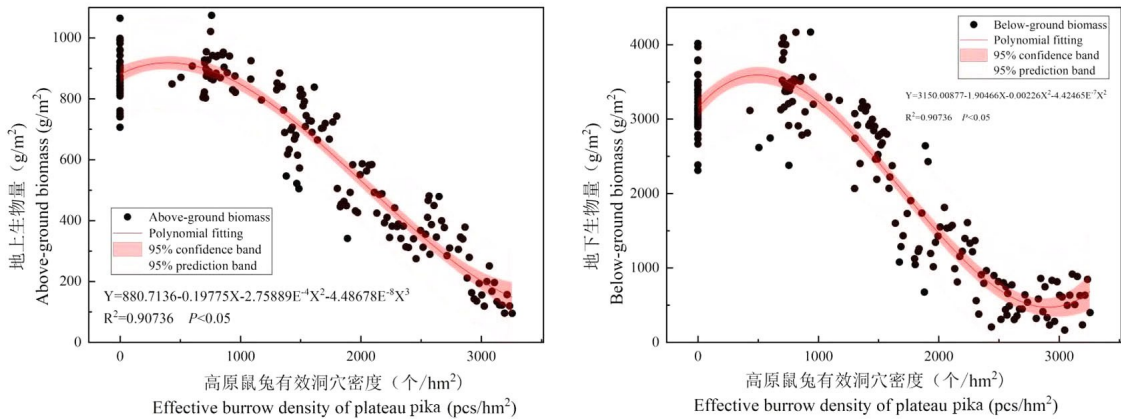


图 2 高原鼠兔不同干扰程度下高寒草甸植被生物量的多项式回归拟合研究

Fig.2 Polynomial regression fitting studies on the vegetation biomass of alpine meadows affected by different disturbance intensities of plateau pikas

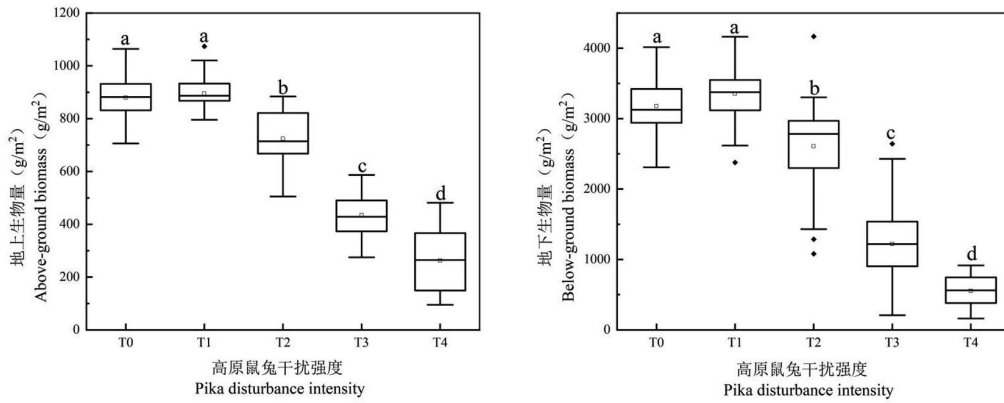


图 3 在高原鼠兔不同干扰水平的作用下,高寒草甸的植被生物量变化情况

Fig.3 Changes of vegetation biomass in alpine meadows under the action of different disturbance levels of plateau pikas
注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05).下同

随着高原鼠兔种群密度增加,高寒草甸植物生物量向地下分配比例变化显著,在 T4 时达到最低(图 4).T0、T1 和 T2 显著大于 T3 和 T4(P<0.05),T0、T1 和 T2 差异不显著,T3 和 T4 差异不显著.

随着高原鼠兔种群密度增加,植被盖度整体呈现降低的趋势(图 5),且干扰梯度为 T0 时达到最大,T4 时达到最小,T0 干扰强度下的植被盖度显著大于其他干扰强度(P<0.05)(T0 干扰强度下植被盖度显著大于其他干扰强度),T1 显著大于 T2、T3 和 T4(P<0.05),T2 和 T3 显著大于 T4(P<0.05),T2 与 T3 差异不显著(图 6).观测到随着高原鼠兔种群密度的递增,植被高度先上升后下降的变化趋势(图 5).在干扰梯度为 T0 和 T1 时达到最大,T4 时达到最小,T0 和 T1 干扰强度下的植被高度显著大于其他干扰强度(P<0.05),T2 和 T3 显著大于 T4(P<0.05),T2 和 T3 差

异不显著(图 6).

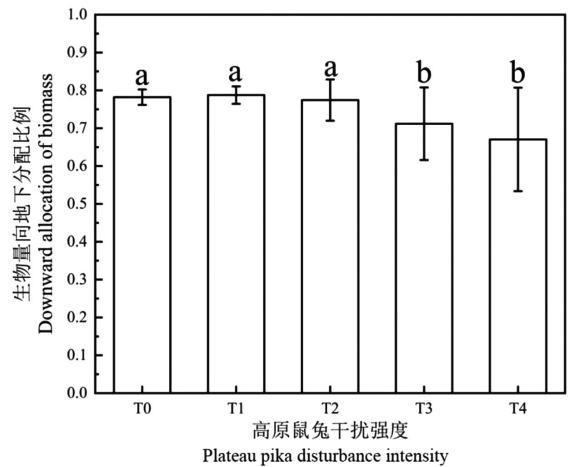


图 4 高寒草甸植物生物量地下分配比例受高原鼠兔不同干扰强度影响的情况

Fig.4 Below-ground partitioning ratios of plant biomass in alpine meadows affected by different disturbance intensities of plateau pikas

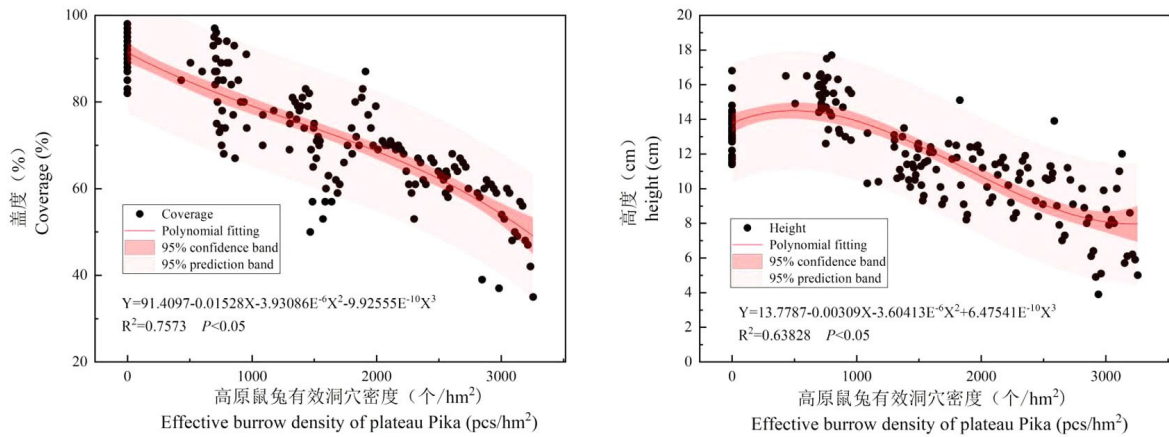


图 5 针对高原鼠兔不同干扰强度下高寒草甸植被高度和盖度的多项式回归拟合研究

Fig.5 Polynomial regression fitting of vegetation height and cover in alpine meadows for different levels of disturbance by plateau pikas

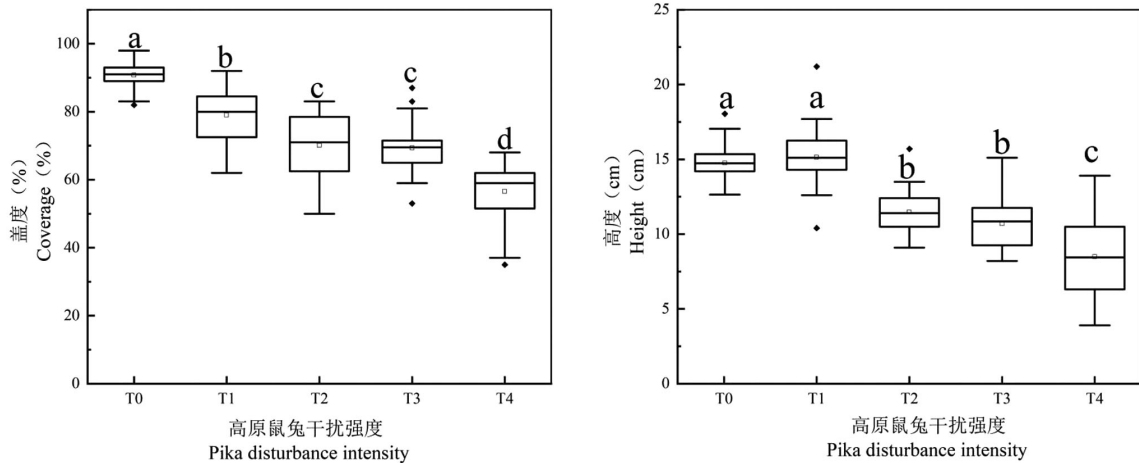


图 6 植被高度和盖度受高原鼠兔不同干扰强度的影响情况

Fig.6 Vegetation height and cover affected by different intensities of disturbance by plateau pikas

发现随着高原鼠兔种群密度的上升,高寒草甸的
优势物种高山嵩草的重要性指数先是上升而后下降
(图 7).T1 干扰强度下的高山嵩草重要值显著大于其

他干扰强度 ($P < 0.05$), T0 和 T2 显著大于 T3 和 T4
($P < 0.05$), T3 显著大于 T4 ($P < 0.05$), T0 和 T2 差异
不显著.

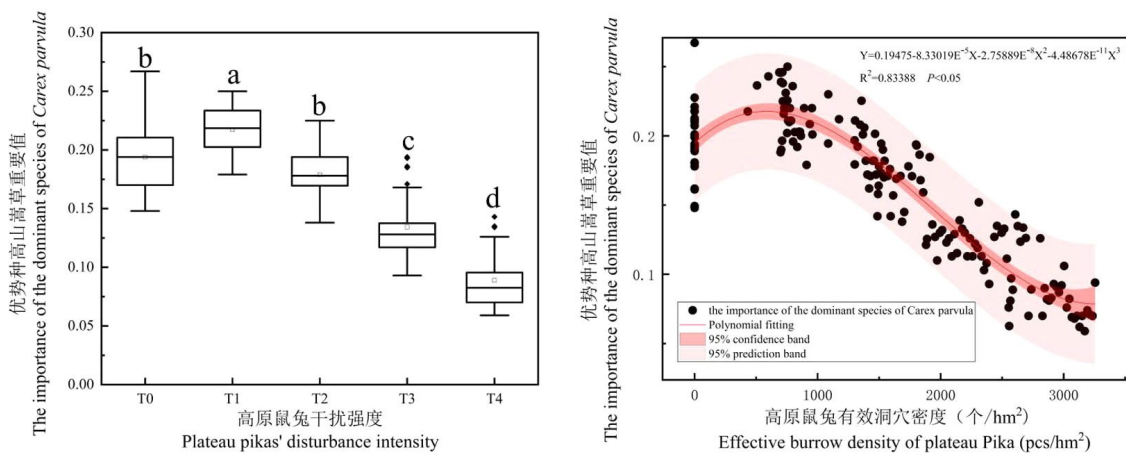


图 7 优势种重要值受不同高原鼠兔干扰强度的影响情况

Fig.7 Influence of importance value of dominant species affected by the disturbance intensity of different plateau pikas

2.2 高原鼠兔不同干扰强度对高寒草甸植物多样性的影响

观察到随着高原鼠兔种群密度的增加,高寒草甸植物的多样性指数、丰富度指数和均匀性指数均呈现出先增后减的变动(图 8).T1 干扰强度下的植物多样性指数显著大于其他干扰强度($P<0.05$),T0 和 T2 显著大于 T3 和 T4($P<0.05$),T3 显著大于 T4($P<$

0.05),T0 和 T2 差异不显著,T1 干扰强度下的植物丰富度指数显著大于其他干扰强度($P<0.05$),T0 显著大于 T2、T3 和 T4($P<0.05$),T2 显著大于 T3 和 T4($P<0.05$),T3 显著大于 T4($P<0.05$);T0 和 T1 干扰强度下的植物均匀性指数显著大于其他干扰强度($P<0.05$),T2 显著大于 T3 和 T4($P<0.05$),T3 显著大于 T4($P<0.05$)(图 9).

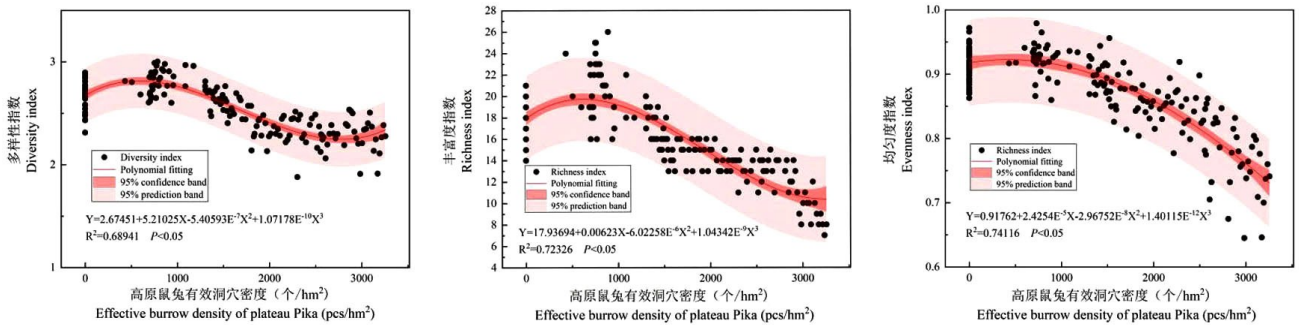


图 8 高原鼠兔不同干扰强度下高寒草甸植物多样性的多项式拟合分析

Fig.8 Polynomial fitting analysis of plant diversity in alpine meadow under different disturbance intensities of plateau pikas

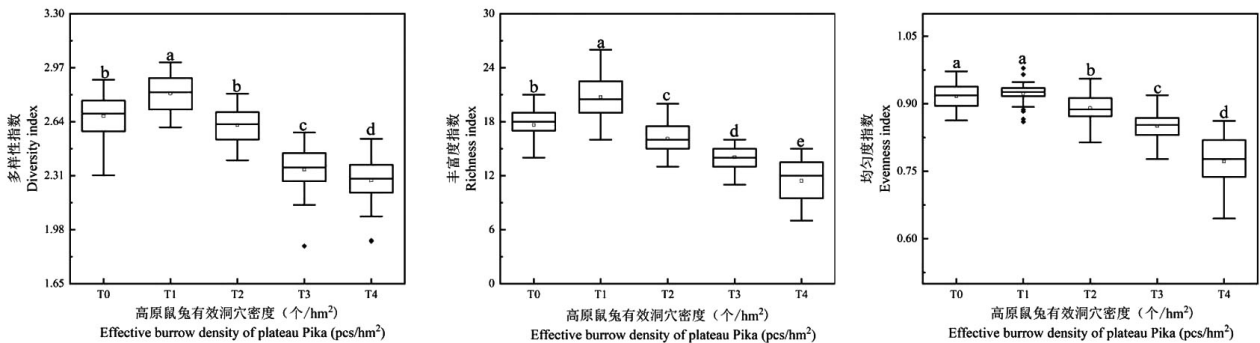


图 9 高原鼠兔不同干扰强度对高寒草甸植物多样性的影响

Fig.9 Effects of different disturbance intensities of plateau pikas on plant diversity in alpine meadows

3 讨论

3.1 高原鼠兔不同干扰强度对高寒草甸植物高度、盖度、生物量以及优势种优势度的影响

植物高度、盖度以及生物量是反映高寒草甸植被条件的重要指标,体现着植物群落的稳定性以及植物群落的初级生产力,可以较为直观地体现群落特征及生态系统健康情况^[30].而植物地上、地下生物量则是作为生态系统结构和功能的植物群落最重要的特征之一,可反映草地植被对不同高原鼠兔干扰强度下的营养分配反馈及生存策略的改变情况^[31].本研究表明,随着高原鼠兔干扰水平的增加,高寒草甸植被高度、盖度以及地上和地下生物量整体均呈现降低的趋势.

出现这一系列结果是因为:作为一种小型植食性穴居哺乳动物,一方面高原鼠兔会啃食大量的植物作为食物,相关研究发现 1 只高原鼠兔成年个体每日进食约 73.3 g 鲜草^[32],整个牧草生长季内消耗 9.5 kg 牧草,6~7 只成年个体的取食量约等于 1 个羊单位^[33].同时高原鼠兔为了防止天敌袭击和获得更好的视野,会修剪洞穴周围及地面通道中的较高植被,这种行为降低了其活动区域内植被的高度^[34-35].宋梓涵等研究者^[14]就发现,高原鼠兔通常倾向于选择那些植被较低、视野开阔、地势平坦的地方,并且会通过主动采食和刈割保持这一状态,这可能是被鼠兔干扰的草地植被整体高度偏低的因素之一.此外,高寒草甸的植物群落垂直层次由高度较高的莎草科和禾本科

优质牧草和其他较为低矮的豆科和杂类草植物组成^[36].高原鼠兔通常会优先采食和刈割适口性较好且高度较高的莎草科和禾本科植物.这些植物往往是高寒草甸的优势植物和建群种,特别是莎草科植物,生长速率缓慢,一旦受到过度啃食就会导致高寒草甸的整体植被退化,进而导致植物的高度、盖度和地上生物量下降^[37].另一方面高原鼠兔挖掘行为破坏了浅层土壤结构,使得表层更容易被植物利用的速效养分物质迅速被雨水冲淋到更深层次的土壤中,导致土壤的养分自持能力降低,进而抑制了植物的地下根系生长发育.并且挖掘洞穴还会斩断植物的地下根系,最终导致植物的地下生物量降低^[6,10].随着高原鼠兔种群密度的增长,植物受到的地上、地下的扰动逐渐增加,进而产生一系列负面影响.这一结果与一些现有研究得出了一致的结果^[26,38].

作为高寒草甸生态系统中的优势种,高山嵩草的优势度表现为先增加后减少的变化^[17,27],这可能是在较低干扰强度时,高原鼠兔更倾向于采食和刈割高度更高的禾本科植物,对于莎草科植物的干扰水平较低^[39],而作为高寒草甸生态系统中的次优势种,禾本科植物的优势度下降导致了莎草科植物的种群优势度上升.并且当高原鼠兔有效洞穴密度小于 T1 时,土壤含水量和养分变化较小,裸斑数量很少,此时高原鼠兔优先采食禾本科植物的选择性进食释放了更大的生态位,这使得莎草科植物优势度出现增加;但当高原鼠兔有效洞穴密度超过 T1 时,随着高原鼠兔刈割植物、掘洞、取食和排泄等行为强度加大,裸斑数量增加,土壤含水量下降,使原本适应土壤含水量较高的优势种高山嵩草和其他伴生种植物数量减少^[11,40],而莎草科植物的生长恢复速率较慢,因此生境内生物量显著降低.

3.2 高原鼠兔不同干扰强度对高寒草甸植物多样性的影响

植物多样性是高寒草甸生态系统的重要指示性指标,可以真实反映群落内植物群落结构,用以评估草地植物群落的稳定性^[41].研究结果表明高原鼠兔的扰动显著地改变了高寒草甸生态系统中植物多样性,植物多样性随着干扰强度不同呈现出不同的改变.随着高原鼠兔密度上升,高寒草甸的植物丰富度和多样性指数先是上升后下降,而均匀度指数则是持续下降

的趋势.在干扰强度为 T1 时,丰富度指数和多样性指数达到最大,而在 T0 和 T1 时,均匀度指数达到峰值.这一发现与徐海鹏等人^[12]的研究大致相符.这可能是因为当干扰强度低于 T1 时,高原鼠兔的选择性采食行为降低了较高的禾本科和部分莎草科植物的优势度,这使得其他较矮的植物数量增多,优势度升高,并且高原鼠兔的采食和排泄行为,可能会将未消化的植物种子散布到草地上,对植物群落产生影响^[42-44],从而提高了植物多样性和丰富度.但当干扰强度增至 T1 后,高寒草甸植物群落逐渐退化,适口性更好的禾本科和莎草科植物无法满足高原鼠兔的觅食需求,高原鼠兔开始更加广泛地采食,而植物的自然恢复速率无法满足高原鼠兔的采食需求,导致裸土区域面积不断扩大和增加,进而导致土壤养分和水土涵养能力大幅下降,生态系统内自然生境发生改变,导致高寒草甸退化^[39].特别是营养和水分变化导致一些更耐寒的毒杂草的生长状态得到强化^[45],而珠芽蓼等湿生植物退出植物群落^[27],优势种高山嵩草等湿中生植物长势减弱^[46].优势种植物在植物群落内的地位和作用被显著削弱,高山嵩草草甸逐渐退化为杂类草草地,致使高原鼠兔栖息地内植物多样性的三个指数全部整体降低,这与 Hagenah 等^[46]的研究结果基本一致.

岳方正等^[47]在草原有害生物防治指标制定中提到,高原鼠兔防治指标为有效洞口数 180 个/hm²,这与本研究结果存在差异;孙飞达等^[24]的研究表明,当高原鼠兔的有效洞口数达到 250 个/hm²时植物群落盖度下降至 80% 以下,这一中度影响的程度与本研究发现的“当高原鼠兔有效洞口数增至 725 个/hm²时,植物群落盖度降至不足 80%”的结果有显著差异,这种差异可能缘于研究时间点、地域、植被类型的不同.因此,不同地区、不同类型的草地以及不同退化阶段的草原害鼠种群数量在时间和空间上的变化存在显著差异.说明防治指标的制定需要因地制宜.

4 结论

本研究对高原鼠兔在 5 个干扰强度(T0~T4)下作用于高寒草甸植物群落结构的表现进行分析,探讨高原鼠兔对高寒草甸植物群落高度、盖度、地上和地下生物量、多样性等特征的影响.研究区域内海拔、植被类型、土壤水分和养分含量与青藏高原东南部进行

的其他研究的基础条件较为一致^[48-49]。结果表明,当高原鼠兔种群有效洞口数为725个/hm²时,高原鼠兔的种群活动提高了高寒草甸植被高度、生物量、多样性、优势种高山嵩草的优势度,可能会对高寒草甸生态系统的植物群落起到正面影响,但是,当高原鼠兔的种群密度超过这一水平时,其对高寒草甸生态系统产生负面影响,如植物多样性、高度、盖度、地下和地下生物量等植物群落特征指标显著降低。依托研究结果提出建议,对于高原鼠兔的防治应当以控制种群密度为主,不建议进行全面灭杀,当高原鼠兔种群密度达到725个/hm²时,应考虑进行防治。

参考文献

- [1] 裴志永, 欧阳华, 周才平. 青藏高原高寒草原碳排放及其迁移过程研究[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 231-236.
- [2] LI W F, TANG Z M. Environment and safety of Qinghai-Tibetan railway [J]. Journal of Safety and Environment, 2003, 3(3): 65-67.
- [3] 邵梓桐, 秦彧. 高原鼠兔干扰对高寒草地碳循环的影响研究进展[J]. 草地学报, 2022, 30(5): 1086-1094.
- [4] 苏军虎, 刘荣堂, 纪维红, 等. 我国草地鼠害防治与研究的发展阶段及特征[J]. 草业科学, 2013, 30(7): 1116-1123.
- [5] SMITH A T, FOGGIN J M. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan Plateau [J]. Animal Conservation, 1999, 2(4): 235-240.
- [6] 李文靖, 张堰铭. 高原鼠兔对高寒草甸土壤有机质及湿度的作用[J]. 兽类学报, 2006, 26(4): 331-337.
- [7] SUN F D, CHEN W Y, LIU L, et al. Effects of plateau pika activities on seasonal plant biomass and soil properties in the alpine meadow ecosystems of the Tibetan Plateau [J]. Grassland Science, 2015, 61(4): 195-203.
- [8] 陈莹莹, 李捷, 周俗, 等. 高原鼠兔影响高寒草甸生态系统服务价值的评价方法[J]. 草业科学, 2022, 39(1): 187-201.
- [9] 金少红, 刘彤, 庞晓攀, 等. 高原鼠兔干扰对青海湖流域高山嵩草草甸植物多样性及地上生物量的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(5): 29-39.
- [10] 孙飞达, 郭正刚, 尚占环, 等. 高原鼠兔洞穴密度对高寒草甸土壤理化性质的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 378-383.
- [11] 贾婷婷, 毛亮, 郭正刚. 高原鼠兔有效洞穴密度对青藏高原高寒草甸群落植物生态位的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4): 869-877.
- [12] 徐海鹏, 于成, 舒朝成, 等. 高原鼠兔干扰对高寒草甸植物群落多样性和稳定性的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(5): 90-99.
- [13] 党永桂. 不同高原鼠兔洞口密度对高寒草甸群落生物量的影响[J]. 青海草业, 2019, 28(2): 5-7.
- [14] 宋梓涵, 李希来, 李杰霞, 等. 高原鼠兔跑道对高寒草甸退化斑块扩大与连通的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3276-3284.
- [15] 周睿. 高原鼠兔个体和种群对捕食风险的响应及其栖息地植物群落的变化[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [16] 花蕊, 周睿, 包达尔罕, 等. 玛曲县高原鼠兔地理分布预测及其对气候变化的潜在响应[J]. 草原与草坪, 2020, 40(3): 1-8.
- [17] 根呷羊批, 周俗, 杨孔, 等. 高原鼠兔干扰对川西北高寒草甸植物群落及土壤物理性状的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(1): 38-48.
- [18] HUMPHREY L D, SCHUPP E W. Competition as a barrier to establishment of a native perennial grass (*Elymus elymoides*) in alien annual grass (*Bromus tectorum*) communities [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 58(4): 405-422.
- [19] 吴文勋, 王战, 吴彬, 等. 色达县地质灾害分布特征及防治对策[J]. 矿产勘查, 2009(9): 53-59.
- [20] 宋璇紫. 西藏中南部高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 栖息地选择研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2022.
- [21] 宁隼. 高原牧草“养成计” [N]. 四川日报, 2023-08-04(1).
- [22] GUO Z G, LI X F, LIU X Y, et al. Response of alpine meadow communities to burrow density changes of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 44-49.
- [23] 石红霄, 于健龙. 高原鼠兔洞口密度对高寒嵩草草甸植被及土壤水分的影响[J]. 中国草地学报, 2010, 32(4): 109-112+116.
- [24] 孙飞达, 龙瑞军, 郭正刚, 等. 鼠类活动对高寒草甸植物群落及土壤环境的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(1): 146-151.
- [25] GUO Z G, ZHOU X R, HOU Y. Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on soil physicochemical property of the bare land and vegetation land in the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 104-110.
- [26] 严红宇, 张毓, 赵建中, 等. 高原鼠兔对高寒草甸植物群落生物量的影响[J]. 兽类学报, 2013, 33(4): 333-343.
- [27] 王莹, 庞晓攀, 肖玉, 等. 高原鼠兔干扰对高寒草甸植物多样性与土壤养分间关系的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5485-5496.
- [28] 崔猛, 冯媛媛, 王新宇, 等. 不同放牧方式对松嫩草地地下、地上生物量及其分配比例的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2021, 53(4): 144-150.
- [29] 杜虎, 彭晚霞, 宋同清, 等. 桂北喀斯特峰丛洼地植物群落特征及其与土壤的耦合关系[J]. 植物生态学报, 2013, 37(3): 197-208.
- [30] 辛小娟, 王刚, 杨莹博, 等. 氮、磷添加对亚高山草甸地上/地下生物量分配的影响[J]. 生态科学, 2014, 33(3): 452-458.
- [31] 周国英, 陈桂琛, 徐文华, 等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草原生物量的影响[J]. 干旱区地理, 2010, 33(3): 434-441.
- [32] 慈海鑫, 蔡振媛, 林恭华, 等. 高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 基于线粒体 DNA (mtDNA) 序列的种群遗传结构[C]//野生动物生态与资源保护第四届全国学术研讨会论文集. 西宁, 2007: 88.
- [33] 董维惠. 拉萨市和山南专区草场鼠害调查[J]. 中国草原, 1984, 6(4): 78-79+27.
- [34] FAN N C, ZHOU W Y, WEI W H, et al. Rodent pest management in the Qinghai-Xizang alpine meadow ecosystem [J]. Rangeland Ecology &

- Management, 2023, (87): 34-43.
- [35] 刘伟, 张毓, 王溪, 等. 高原鼠兔刈割行为与栖息地植物群落的关系[J]. 兽类学报, 2009, 29(1): 40-49.
- [36] 仁青吉, 崔现亮, 赵彬彬. 放牧对高寒草甸植物群落结构及生产力的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 134-140.
- [37] NIU K C, ZHANG S T, ZHAO BB, et al. Linking grazing response of species abundance to functional traits in the Tibetan alpine meadow[J]. Plant and Soil, 2010, 330(1): 215-223.
- [38] 李典友, 章玉成. 土壤有机碳及其影响因素[J]. 农业科学, 2020(10): 803-810.
- [39] 梁静. 高原鼠兔对黄花棘豆毒性的生理适应及其贮草行为[D]. 吉首: 吉首大学, 2015.
- [40] GILL J S, SALE P W G, PERIES RR, et al. Changes in soil physical properties and crop root growth in dense sodic subsoil following incorporation of organic amendments[J]. Field Crops Research, 2009, 114(1): 137-146.
- [41] HÉRAULT B, THOEN D. Diversity of plant assemblages in isolated depressional wetlands from Central-Western Europe[J]. Biodiversity and Conservation, 2008, 17(9): 2169-2183.
- [42] LIU H W, CHEN Y M, ZHOU L, et al. The effects of management on population dynamics of plateau pika[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 57(3-4): 525-535.
- [43] JIA T T, GUO Z G, XIAO Y, et al. Effect of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) disturbance on soil microelements content in alpine meadow[J]. Ecological Indicators, 2015, 397(1): 98-115.
- [44] 张雯娜. 高寒草甸植物群落对高原鼠兔刈割行为的响应[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [45] 武高林, 陈敏, 杜国祯. 营养和光照对不同生态幅风毛菊属植物幼苗形态可塑性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1708-1713.
- [46] HAGENAH N, BENNETT N C. Mole rats act as ecosystem engineers within a biodiversity hotspot, the Cape Fynbos[J]. Journal of Zoology, 2013, 289(1): 19-26.
- [47] 岳方正, 李璇, 杨鼎, 等. 我国主要草原有害生物防治指标制定与分析[J]. 草业科学, 2022, 39(9): 1773-1781.
- [48] 迪力亚尔·莫合塔尔, 余冰, 杨建, 等. 四川石渠高原鼠兔对土壤碳氮含量的影响[J]. 四川动物, 2023, 42(4): 407-413.
- [49] 张双印, 赵保成, 赵登忠, 等. 长江源草地生物量空间分布及分配初步研究[J]. 长江科学院院报, 2024, 41(11): 196-202.
- (责任编辑: 和力新, 殷锋, 付强, 张阳, 肖丽; 英文编辑: 周序林, 郑玉才)