

# 高原鼠兔扰动对高寒草地植物群落特征的影响\*

赵国琴<sup>1\*\*</sup> 李广泳<sup>1</sup> 马文虎<sup>2</sup> 赵殿智<sup>3</sup> 李小雁<sup>1,4</sup>

(<sup>1</sup>北京师范大学资源学院, 北京 100875; <sup>2</sup>青海省海晏县林业和环保局, 青海海晏 812200; <sup>3</sup>青海省三角城种羊场, 青海刚察 812300; <sup>4</sup>地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

**摘要** 高原鼠兔是青海湖流域高寒草地主要的啮齿动物. 本文基于 R-Vegan 中的 RDA 排序方法, 以有效洞口数差异将高原鼠兔扰动强度划分为 4 组, 分析不同扰动强度下高寒草地植物群落特征, 进而提出群落演替的概念模型, 探究高原鼠兔扰动对高寒草地生态系统及放牧质量的影响. 结果表明: 随着扰动强度加大, 出现以灯芯草为优势种的群落向以草地早熟禾、海乳草为优势种的群落演替. 当扰动强度较小时, 群落的总盖度、地上生物量、物种多样性和物种丰富度较高, 但杂类草植物比例较高; 当扰动强度较大时, 各群落特征值较低且杂类草植物比例最高; 当扰动强度适中时, 各群落特征值比较高, 禾本科和莎草科植物比例最大. 因此, 轻度扰动时, 虽然群落特征值高但放牧质量低; 过度扰动时出现草场植被退化; 而扰动强度在阈值内可维持高寒草地生态系统稳定并提高放牧质量.

**关键词** 高原鼠兔 扰动强度 扰动阈值 放牧质量

**文章编号** 1001-9332(2013)08-2122-07 **中图分类号** Q948.158 **文献标识码** A

## Impacts of *Ochotona pallasii* disturbance on alpine grassland community characteristics.

ZHAO Guo-qin<sup>1</sup>, LI Guang-yong<sup>1</sup>, MA Wen-hu<sup>2</sup>, ZHAO Dian-zhi<sup>3</sup>, LI Xiao-yan<sup>1,4</sup> (<sup>1</sup>College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; <sup>2</sup>Haiyan Forestry and Environmental Protection Bureau, Haiyan 812200, Qinghai, China; <sup>3</sup>Sanjiaocheng Sheep Breeding Farm, Gangcha 812300, Qinghai, China; <sup>4</sup>State Key Laboratory of Earth Surface Process and Resource Ecology, Beijing 100875, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2013, 24(8): 2122–2128.

**Abstract:** Plateau pika is the main fossorial mammal in the alpine grassland in Qinghai Lake Watershed of Northwest China. Based on the field investigation data from 18 alpine grassland quadrats in the Watershed, and by using redundancy analysis (RDA) and the surface fitting offered by ‘R-Vegan’, the disturbance intensity of plateau pika (*Ochotona pallasii*) was classified as four levels. In order to explore the impacts of plateau pika disturbance on the alpine grassland ecosystem and its grazing quality, the community characteristics under different disturbance intensities by plateau pika were analyzed, and a conceptual model about the alpine grassland community succession was proposed. The results showed that with the increase of the disturbance intensity, the dominant species changed from *Juncus roemerianus* to *Poa pratensis* and *Laux maritima*. When the disturbance was small, the community had high quantitative values of coverage, aboveground biomass, biodiversity, and species richness, but the proportion of weeds was also high. When the disturbance was large, the quantitative values were the lowest, while the proportion of weeds was the highest. When the disturbance was moderate, the community had relatively high quantitative values, and the proportion of grasses and sedges was the highest. It was concluded that the community’s characteristic values under low plateau pika disturbance intensity were high but the grazing quality was low, while high disturbance intensity resulted in the grassland degradation. Therefore, the disturbance intensity in the threshold could maintain the stability of alpine grassland ecosystem and improve its grazing quality.

**Key words:** plateau pika; disturbance intensity; disturbance threshold; grazing quality.

\* 国家自然科学基金项目(41130640)和中央高校基本科研业务费专项资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zhaoguoqin2008@126.com

2012-11-27 收稿, 2013-05-27 接受.

啮齿动物扰动植被和土壤从而影响生态系统性质及演化过程<sup>[1]</sup>,由于其啃食及挖掘活动造成与家畜争食及土壤侵蚀而被列为引起草场退化的一个因子.全国每年因鼠害造成的牧草损失占草地生产量的10%~20%<sup>[2-3]</sup>,而青藏高原则高达30%<sup>[4]</sup>,青海省因鼠害造成的草场退化面积为 $37\times10^4\text{ km}^2$ <sup>[5]</sup>,其中鼠害形成黑土滩面积约为 $4\times10^4\text{ km}^2$ <sup>[2]</sup>.

然而,啮齿动物是否引起草场退化尚缺乏有力证据<sup>[6]</sup>,相反,有研究发现,啮齿动物可改变土壤性质,创造小生境从而改变物种结构、增加生物多样性,是生态系统的关键种.如Wuerthner<sup>[7]</sup>发现,草原土拨鼠(*Cynomys ludovicianus*)可提高生物多样性,在生态系统中居于关键种地位<sup>[8]</sup>;Heske等<sup>[9]</sup>研究表明,袋鼠可使荒漠生态系统中植物群落的物种丰富度和均匀度提高,不可食的半灌木减少;同样,居于高寒草甸的高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)和高原鼢鼠(*Myospalax fontanierii*)因可提高动植物的物种多样性,也被认为是维持生态系统稳定的关键种<sup>[10-12]</sup>.但是,啮齿动物的利与弊不仅取决于其对草地生态系统的作用,更重要是对放牧活动的影响,而对此也存在不同的观点.如Wei等<sup>[13]</sup>认为,在高原鼠兔影响下,嵩草草甸植物群落的优势种是肉果草(*Lancea tibetica*)和独一味(*Lamiophlomis rotata*)等适口性差的物种,导致放牧质量下降;Samjaa等<sup>[14]</sup>也得出田鼠扰动使得草原群落物种向适口性差的类型演化;而Karsten等<sup>[15]</sup>发现,在干旱条件下,蒙古鼠兔(*Ochotona pallasi*)产生的土堆上植物地上生物量及生长于其上的植物叶中N含量较高,可提高山地荒漠草原的牧草质量.高原鼠兔作为青海湖流域高寒草地主要的啮齿动物<sup>[16]</sup>,虽然较多研究表明其挖掘活动可松动土壤、利于水分入渗和养分循环及提高物种丰富度,适度啃食可保持群落稳定<sup>[10,12,16]</sup>,而且对其实施控制并不增加牧草产量<sup>[17]</sup>.但是,无论对于高寒草地生态系统还是放牧质量,存在高原鼠兔扰动强度阈值,而关于群落特征及放牧质量随扰动强度变化的研究还存在不足,对此阈值的分析也很缺乏.因此,本文研究高原鼠兔不同扰动强度下青海湖流域高寒草地的植物群落特征及放牧质量差异,探讨扰动强度阈值,以期为合理控制高原鼠兔及维持畜牧业稳定发展提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于青海湖流域内的沙柳河河岸带,南

临青海湖,属于高原大陆性气候,年平均气温 $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量 $381.8\text{ mm}$ ,年平均蒸发量 $1454.4\text{ mm}$ ;草地类型以高山草场为主,其次为山地干草原类草地;土壤类型以高山草甸土和高山草原土为主<sup>[18]</sup>.研究区介于 $37^{\circ}13'25''$ — $37^{\circ}13'27''\text{ N}$ 、 $100^{\circ}12'56''$ — $100^{\circ}13'7''\text{ E}$ 之间,海拔 $3205\text{ m}$ ,距离河岸 $50\sim100\text{ m}$ ,处在同等放牧条件下,并自西向东呈现不同强度的高原鼠兔扰动.

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取 在研究区内,依据高原鼠兔扰动强度的变化,以扰动剧烈的斑块为中心,向扰动强度降低的方向设置6条样线,每条样线长 $250\sim300\text{ m}$ ,其中3条样线位于高原鼠兔产生的土丘之上,另外3条位于土丘之外.根据高原鼠兔的扰动强度梯度,在每条样线上设置 $2\sim4$ 个 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 的样方,共调查样方18个.样方调查的内容包括:

1)有效洞口数:以 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 的样方为中心设置 $10\text{ m}\times10\text{ m}$ 的样方,以“堵洞、盗洞”法调查有效洞口数<sup>[19]</sup>.

2)破坏面积:测量每一个 $10\text{ m}\times10\text{ m}$ 样方中高原鼠兔产生的土堆及洞口占整个样方的面积百分比.

3)相对于土堆的位置:记录 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 样方位于土堆之上还是之下,堆上记为0,堆下记为1.

4)土壤因子:用土钻法在 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 样方中心及四角选取离地面 $0\sim10\text{ cm}$ 、 $10\sim20\text{ cm}$ 、 $20\sim30\text{ cm}$ 和 $30\sim40\text{ cm}$ 土层土壤,测定土壤容重及土壤体积含水量.

5)总盖度:调查 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 样方中的植被总盖度.

6)频度:用样圆法调查 $10\text{ m}\times10\text{ m}$ 样方中各物种出现的频度.

7)植物物种组成:记录 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 样方中的物种名、各物种的分盖度和高度.

1.2.2 数据分析

1)植物群落排序分析

基于R-Vegan软件,用RDA排序方法<sup>[20-21]</sup>对所调查的18个样方进行排序,分析物种分布与有效洞口数、破坏面积、相对于土堆的位置及 $0\sim10\text{ cm}$ 、 $10\sim20\text{ cm}$ 、 $20\sim30\text{ cm}$ 和 $30\sim40\text{ cm}$ 土层土壤容重等环境因子之间的关系,并分析影响植物群落类型演变的关键因子.

2)高原鼠兔扰动下高寒草地植物群落特征分析

根据 RDA 排序结果,基于影响物种分布的关键因子进行曲面拟合,划分高原鼠兔扰动强度,并将对应样方进行分组. 根据样方调查数据,运用方差分析方法,以有效洞口数、破坏面积、土壤水分和容重、植物群落物种组成、总盖度、物种丰富度、均匀度和物种多样性,分析高原鼠兔不同扰动强度下高寒草地植物群落特征的差异. 以禾本科、莎草科和杂类草植物比例分析高原鼠兔扰动对放牧质量的影响. 物种多样性指数采用 Shannon 指数.

物种丰富度:  $R=S$  (1)

重要值:重要值=(相对盖度+相对高度+相对频度)/3 (2)

Shannon 物种多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left| \frac{N_i}{N} \right| \ln \left| \frac{N_i}{N} \right|$$
 [22] (3)

物种均匀度:  $E=H'/\lg S$  (4)

式中: $S$  为样方中出现的物种总数; $N$  为所有种的重要值之和; $N_i$  表示第  $i$  个种的重要值.

2 结果与分析

2.1 RDA 排序结果分析

基于 R-Vegan 软件包先通过 DCA 分析,选择最适宜的排序模型为线性模型,由于分析物种分布与环境因子之间的关系时应该用约束排序,因而最终选择 RDA 排序方法. 在 RDA 排序图中,样方的分布遵循相近即相似的原理,相互之间距离越近表明它们的物种组成相近;带箭头的线段表明环境因子对群落物种分布影响程度的大小及方向,线段越长则影响越大,沿线段分布的样方显示出在该环境因子影响下出现的群落类型变化<sup>[23]</sup>.

从图 1 可以看出,代表有效洞口数(ER)、破坏面积(DA)、0~10 cm 土壤容重(DE<sub>1</sub>)的箭头线段较长,表明这 3 个环境因子对群落物种分布特征的影响较大. 根据 summary 函数得到的 RDA 详细排序结果表明,7 个环境因子对物种分布的总解释量为 69.7%,第 1 轴对物种分布的解释量为 26.4%,第 2 轴为 20.5%,第 3 轴为 12.8%,前 3 轴的累积解释量为 59.7%,之后各轴的解释量均很小.

通过 envfit 函数分析环境因子对物种分布的解释量是否具有显著性(表 1),结果表明,可以接受 7 个环境因子对物种分布的解释量,二者的相关系数为 0.717,呈极显著相关关系( $P<0.01$ ). 对比各环境因子对物种分布的解释量可以看出,土堆的位置对物种分布影响很小,有效洞口数对物种分布的影

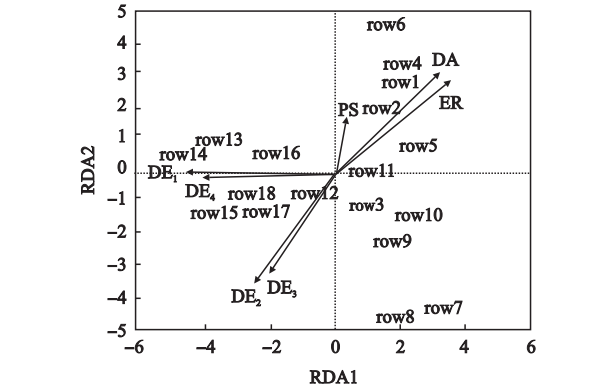


图 1 高原鼠兔影响下高寒草地 RDA 二维排序图  
Fig. 1 Two dimensional plot of RDA under the impact of the plateau pika in the alpine steppe.

ER:有效洞口数 Number of effective rat holes; DA:破坏面积 Damage area; PS:相对于土堆的位置 Position relative to the mound; DE<sub>1</sub>、DE<sub>2</sub>、DE<sub>3</sub>、DE<sub>4</sub> 分别为 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 和 30~40 cm 土壤容重 Soil bulk density of 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm and 30~40 cm; row:样方 Quadrat. 下同 The same below.

表 1 环境因子与物种分布相关的显著性检验  
Table 1 Significance test of the species-environment correlations

环境因子 Environmental factor	RDA <sub>1</sub>	RDA <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	P
所有环境因子 All environmental factors	-0.922	-0.386	0.72	0.001
ER	0.785	0.619	0.77	0.001
DA	0.727	0.687	0.73	0.001
PS	0.219	0.976	0.09	0.483
DE <sub>1</sub>	-0.999	-0.002	0.76	0.001
DE <sub>2</sub>	-0.614	-0.789	0.63	0.001
DE <sub>3</sub>	-0.577	-0.816	0.48	0.008
DE <sub>4</sub>	-0.999	-0.038	0.61	0.001

ER:有效洞口数 Number of effective rat holes; DA:破坏面积 Damage area; PS:相对于土堆的位置 Position relative to the mound. DE<sub>1</sub>、DE<sub>2</sub>、DE<sub>3</sub>、DE<sub>4</sub> 分别为 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 和 30~40 cm 土壤容重 Soil bulk density of 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm and 30~40 cm.

响最大,其次是 0~10 cm 的土壤容重,都呈现出极显著的相关性( $P<0.01$ ).

2.2 高原鼠兔扰动下的群落分组

根据 RDA 排序结果,基于有效洞口数的空间变化,用 ordisurf 函数做曲面拟合分析,并将样方划分为代表不同扰动强度的群落组(图 2). 图 2 显示出,在有效洞口数影响下植物群落的变化,样方距离代表有效洞口数线段的箭头愈近,说明其周围 10 m×10 m 范围内的有效洞口数越多,高原鼠兔的扰动强度愈大. 从左到右,有效洞口数依次为每百平方米 1~2 个、3~4 个、5~8 个、9~16 个,据此,将所调查的植物样方分为 A、B、C、D 4 组,平均有效洞口数越多则高原鼠兔的扰动强度越大.

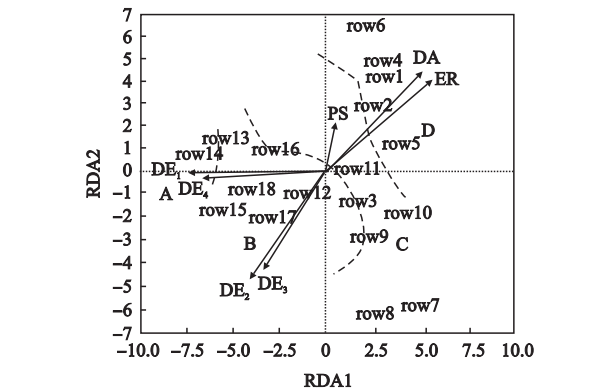


图2 基于有效洞口数(ER)空间变化的群落分组  
Fig.2 Community groups based on the spatial variation of the number of effective rat holes.

有效洞口数 Effective rat holes per 100 m<sup>2</sup>: A:1 ~2; B:3 ~4; C:5 ~8; D:9 ~16. 下同 The same below.

2.3 高原鼠兔扰动下植物群落物种组成的变化

2.3.1 植物群落物种结构的变化 通过对各分组群落的物种结构分析,从表2可以看出,在高原鼠兔扰动强度最小的A组,优势种为灯芯草(*Juncus roemerianus*)和裂叶蒿(*Artemisia laciniata*),而随着高原鼠兔扰动强度的不断增大,出现了以草地早熟禾(*Poa pratensis*)为优势种的群落向以海乳草(*Laux maritima*)为优势种的群落类型演变.在高原鼠兔扰动强度居中时,草地早熟禾始终为群落的主要优势种,而这种植物对于家畜的适口性较好.

表2 各分组样地的群落物种结构特征  
Table 2 Species structure characteristics of different quadrat groups

样地分组 Quadrat group	群落物种结构 Community species structure	样方号 Quadrat number
A	灯芯草+鹅绒委陵菜+多枝黄芪 <i>Juncus roemerianus</i> + <i>Potentilla ansrina</i> + <i>Astragalus polycladus</i>	13
	灯芯草+裂叶蒿+扁穗冰草 <i>J. roemerianus</i> + <i>Artemisia laciniata</i> + <i>Agropyron cristatum</i>	14
B	扁穗苔草+鹅绒委陵菜+草地早熟禾 <i>Carex coriophora</i> + <i>P. ansrina</i> + <i>Poa pratensis</i>	12
	草地早熟禾+灯芯草/海乳草/扁穗冰草/多枝黄芪 +裂叶蒿/鹅绒委陵菜/海乳草/扁穗冰草 <i>P. pratensis</i> + <i>J. roemerianus</i> / <i>Laux maritima</i> / <i>A. cristatum</i> / <i>A. polycladus</i> + <i>A. laciniata</i> / <i>P. ansrina</i> / <i>L. maritima</i> / <i>A. cristatum</i>	15, 16, 17, 18
	草地早熟禾+海乳草+鹅绒委陵菜/问荆 <i>P. pratensis</i> + <i>L. maritima</i> + <i>P. ansrina</i> / <i>Equisetum arvense</i>	3, 11
C	草地早熟禾+问荆+海乳草/鹅绒委陵菜 <i>P. pratensis</i> + <i>E. arvense</i> + <i>L. maritima</i> / <i>P. ansrina</i>	7, 8, 9, 10
	海乳草+问荆/西伯利亚蓼+草地早熟禾 <i>L. maritima</i> + <i>E. arvense</i> / <i>Polygonum sibiricum</i> + <i>P. pratensis</i>	5, 6
D	海乳草+草地早熟禾+鹅绒委陵菜/问荆/三裂叶碱毛茛 <i>L. maritima</i> + <i>P. pratensis</i> + <i>P. ansrina</i> / <i>E. arvense</i> / <i>Halerpestes tricuspis</i>	1, 2, 4

有效洞口数 Effective rat holes per 100 m<sup>2</sup>: A:1 ~2; B:3 ~4; C:5 ~8; D:9 ~16. 下同 The same below.

2.3.2 植物群落优势种的变化 通过分析各分组群落中物种组成及平均相对盖度的变化,以平均相对盖度≥10%的物种作为群落优势种.从表3可以看出,在高原鼠兔扰动强度最大的D组,海乳草是最常见的群落优势种,草地早熟禾和问荆(*Equisetum arvense*)也较为常见.C组群落中草地早熟禾是最常见的优势种,问荆、海乳草和鹅绒委陵菜(*Potentilla ansrina*)也较常见,与D组相比,C组优势种的数量有所增加,出现扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)并且海乳草的数量明显下降.B组中草地早熟禾、扁穗冰草和扁穗苔草(*Carex coriophora*)的数量上升,草地

表3 各分组样地优势物种的相对盖度  
Table 3 Relative coverage of dominant species in different quadrat groups ( % )

物种 Species	A	B	C	D
灯芯草 <i>Juncus roemerianus</i>	23.45	8.67	2.73	0.22
裂叶蒿 <i>Artemisia laciniata</i>	12.86	5.65	2.03	2.60
扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	11.88	12.60	1.14	-
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	10.96	26.64	24.89	21.77
多枝黄芪 <i>Astragalus polycladus</i>	10.86	9.07	4.65	2.80
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla ansrina</i>	10.51	8.85	10.42	6.12
海乳草 <i>Laux maritima</i>	6.23	10.03	11.84	43.00
戟叶火绒草 <i>Leontopodium dedekensii</i>	3.74	0.50	1.18	0.66
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	3.17	1.75	3.73	2.72
鸟足毛茛 <i>Ranunculus brotherusii</i>	2.11	2.21	1.40	-
鳞叶龙胆 <i>Gentiana squarrosa</i>	1.37	1.06	0.07	-
三裂叶碱毛茛 <i>Halerpestes tricuspis</i>	1.04	3.26	3.25	4.00
藜本 <i>Ligusticuym</i> sp.	1.04	-	0.76	0.17
扁穗苔草 <i>Carex coriophora</i>	0.78	8.34	6.15	0.33
肉果草 <i>Lancea tibetica</i>	-	0.38	3.90	1.40
短穗兔耳草 <i>Lagotis brachystachya</i>	-	-	0.45	-
问荆 <i>Equisetum arvense</i>	-	0.76	19.80	10.87
车前 <i>Plantago asiatica</i>	-	-	1.12	-
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	-	0.23	-	-
西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>	-	-	0.10	3.38
阿拉善马先蒿 <i>Pedicularis alaschanica</i>	-	-	0.37	-
长毛风毛菊 <i>Saussurea hieracioides</i>	-	-	-	-



表 4 各分组样地的群落特征比较  
Table 4 Community characteristics of different quadrat groups (mean±SD)

群落特征 Community characteristics		样 地 Plot			
		A	B	C	D
有效洞口数 Effective holes		1.5±0.7a	3.2±1.8a	5.5±1.8b	12.6±2.4b
破坏面积 Damage area (%)		0.9±0.7a	2.4±1.2a	8.0±4.0a	25.0±8.5b
总盖度 Total coverage (%)		93.8±0.01a	96.4±0.01a	94.1±0.04a	50.8±0.17b
地上生物量 Aboveground biomass (g·m <sup>-2</sup> )		184.5±24.6a	127.5±44.6ab	165.8±63.8a	56.1±13.2b
物种多样性 Species diversity		2.53±0.18a	2.37±0.16a	2.56±0.07a	2.08±0.17b
物种丰富度 Species richness		15.0±2.8a	12.6±1.7a	15.12±1.3a	9.4±1.5b
物种均匀度 Species evenness		0.649±0.002a	0.651±0.011a	0.644±0.011a	0.645±0.017a
土壤水分	0~10 cm	32.9±0.03a	34.7±0.03a	46.1±0.06b	35.5±0.03a
Soil water content	10~20 cm	32.2±0.03a	37.6±0.06ab	43.4±0.05b	38.9±0.03ab
(%)	20~30 cm	36.2±0.03a	40.6±0.06ab	46.2±0.05b	43.1±0.02ab
	30~40 cm	39.1±0.02a	41.4±0.05ab	53.5±0.01c	46.6±0.03b
土壤容重	30~40 cm	1.44±0.01a	1.42±0.04a	1.21±0.09b	1.19±0.05b
Soil bulk density	0~10 cm	1.45±0.00a	1.43±0.08a	1.37±0.13ab	1.21±0.11b
(g·m <sup>-3</sup> )	10~20 cm	1.44±0.04a	1.21±0.45a	1.37±0.12a	1.25±0.08a
	20~30 cm	1.39±0.05a	1.39±0.14a	1.16±0.05b	1.20±0.07b

不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different letters meant significant difference at 0.05 level.

早熟禾仍然是最常见的优势种,而鹅绒委陵菜、海乳草及问荆的数量均下降,相对于 C 组,该组的优势种种数有所减少. A 组中群落优势种数量最多,最常见的群落优势种为灯芯草和裂叶蒿,扁穗冰草及草地早熟禾的数量均下降,而多枝黄芪 (*Astragalus polycladus*) 和鹅绒委陵菜的数量相对上升. 可见,随着高原鼠兔扰动强度的降低,灯芯草和裂叶蒿的优势地位逐渐突出,海乳草的分布不断减少;当高原鼠兔扰动强度居中时,草地早熟禾、扁穗冰草和扁穗苔草的数量相对较多.

2.4 高原鼠兔扰动下植物群落特征的变化

对所调查群落按照高原鼠兔扰动强度进行分组,统计每一组的群落平均特征. 从表 4 可以看出,各组的群落特征存在差异. 破坏面积从 A 组到 D 组不断增大;群落植被总盖度以 B 组最高,最高达 98%,而 D 组最小,为 22%;A 组的地上生物量和物种多样性均最高,而 D 组二者均最低;D 组的物种丰富度最低;C 组的物种多样性和物种丰富度均较高. 因此,当高原鼠兔扰动剧烈时,将导致群落的总盖度、地上生物量、物种多样性和物种丰富度降低;而适度扰动可保持各个群落特征值相对较高;在扰动程度最轻时,由于存在极少的采食使得群落地上生物量最高. 从分组群落中各个土层的水分及容重变化中可以看出, C 组由于高原鼠兔的挖掘使得各土层的土壤容重较小,利于水分入渗,高的土壤含水量加上良好的土壤养分条件<sup>[11,15]</sup>,使得群落的地上生物量、物种多样性和物种丰富度较高;而 A 组较

大的土壤容重使得水分入渗较慢,20~40 cm 土层相对较好的土壤水分状况和低养分使得根系相对较深的灯芯草成为群落优势种.

2.5 高原鼠兔扰动下放牧质量的变化

对高原鼠兔扰动强度进行分组,统计每组群落中禾本科、莎草科和杂类草植物所占比例,以分析放牧质量的差异. 从图 3 可以看出, A 组和 D 组群落中杂类草植物占绝大多数,而禾本科和莎草科植物所占比例不到四分之一. A 组群落虽然地上生物量和物种多样性较高,但主要是适口性较差的杂类草;而 B 组和 C 组群落中杂类草物种所占比重有所下降;B 组群落中禾本科和莎草科植物比例最高. 因此,高原鼠兔扰动最轻和最剧烈时,适口性较好的禾本科和莎草科植物较少,而适度扰动时两者数量增多,可一定程度上提高放牧质量.

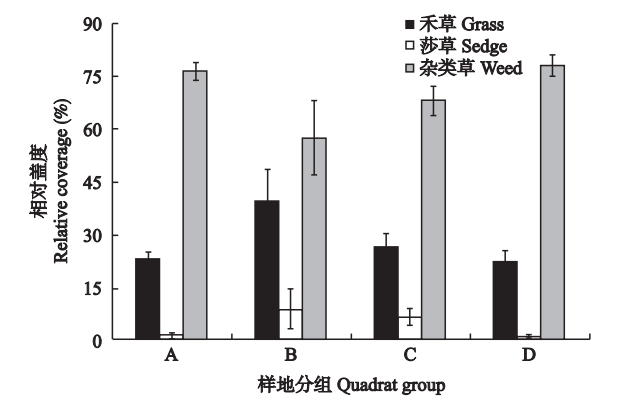


图 3 各分组样地牧草质量  
Fig. 3 Forage quality in different quadrat groups.

2.6 高原鼠兔扰动下高寒草地群落演替的概念模型

基于高原鼠兔扰动对高寒草地群落物种结构的影响,提出高寒草地群落演替的概念模型(图4)。此模型中,轻度扰动时,土壤紧实度较大,由于下渗受阻而使土壤含水量较低;群落植被盖度、生物量、物种多样性及物种丰富度较高,而较差的水分和养分条件使得非禾本科物种占据优势地位<sup>[24]</sup>,群落处于最初的稳定状态但不利于提高放牧质量。当处于最适扰动强度时,面对丰富的食物资源,高原鼠兔啃食棘豆属、委陵菜属等杂类草,且因其挖掘减小土壤容重,改善土壤水分及养分状况,物种间竞争环境的改变有利于禾本科和莎草科植物生长<sup>[16,25]</sup>,杂类草所占比例下降,可提高放牧质量。随着扰动强度的加大,在适度扰动强度下,对食物资源的竞争使高原鼠兔采食一部分禾本科和莎草科种类,同时,其挖掘活动形成嵌套式生境,环境异质性增强,而光照和 N 利用率提高,便产生了较高的生物多样性<sup>[11,26]</sup>,优势种数增多,高原鼠兔与植物之间的相互作用有利于生态系统的稳定,但适口性较好的牧草减少,使得草地的放牧质量相对下降。当扰动强度进一步加大便出现过度扰动,高原鼠兔大肆挖掘土壤掩埋植物,造成大部分植物死亡<sup>[5,13]</sup>,植被盖度、生物量等群落特征值降低,且委陵菜属植物、问荆及海乳草成为群落优势种,高寒草地生态系统退化,放牧质量急剧下降。食物资源的不足使得高原鼠兔另辟新壤,废弃地的土壤紧实度加大,养分条件变差,而适口性较好的单子叶植物逐渐增多,植被盖度、生物量、物种多样性及物种丰富度增加<sup>[11,24,27-28]</sup>,生态系统转向另一种稳定状态。因此,不同的高原鼠兔扰动强度对高

寒草地生态系统及放牧质量产生不同的影响,存在扰动强度阈值,可以既维持草地生态系统的稳定又提高放牧质量。

3 讨 论

利用 R-Vegan 方法以有效洞口数将调查样方分为代表高原鼠兔不同扰动强度的 4 组,在不同强度下高寒草地植物群落呈现出不同的特征。当扰动强度较大时,群落优势种为海乳草,群落的总盖度、地上生物量、物种多样性和物种丰富度最低,土壤容重和体积含水量也较低,高寒草地生态系统出现退化;当扰动强度较小时,优势种为灯芯草,群落各特征值都较高,较大的土壤容重使得植物可利用的土壤水分较少。然而,即使轻度扰动时有较高的各群落特征值,在高原鼠兔扰动强度较高和较低时,群落植物均以适口性差的杂类草占绝大多数,并不会提高放牧质量。相反,在高原鼠兔扰动强度适中时,群落有较高的物种多样性和物种丰富度,群落中禾本科与莎草科植物所占比例相对较高,有利于提高放牧质量。从高原鼠兔扰动下高寒草地群落演替的概念模型中可以看出,随着扰动强度的加大,高寒草地生态系统从初始稳定状态到出现退化,废弃后再达到另一种稳定状态,而高原鼠兔对生态系统和放牧质量的有利作用存在一个扰动强度阈值,高原鼠兔的数量应控制在这一阈值之内才能保证生态系统稳定及畜牧业持续发展。

啮齿动物挖掘土壤被认为造成草场退化,然而其挖掘活动可减小土壤容重,利于植物根系活动及提高植物可利用水分含量。啮齿动物扰动会改变群落物种结构,如高原鼠兔和鼢鼠影响下产生了细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、乳白香青(*Anaphalis lactea*)及肉果草等适口性较差的物种<sup>[13,25,29]</sup>,长期扰动导致出现较多的双子叶植物<sup>[27]</sup>,因而对放牧活动产生消极影响。当扰动强度适中时,由于高原鼠兔偏爱于采食棘豆属、蒲公英属及委陵菜属等杂类草,竞争压力的减小使得禾本科和莎草科种类增加从而利于放牧活动。啮齿动物对群落物种结构组成及放牧质量的影响不仅随扰动强度的改变而变化,即使在同一扰动强度下,也会随扰动时间产生差异,进一步研究需将二者结合起来。不同放牧强度对草地生态系统有不同影响<sup>[22]</sup>,放牧强度与啮齿动物数量之间存在相关性<sup>[10]</sup>,而放牧活动和啮齿动物扰动共同作用于草地生态系统,进一步研究也应注重两者的协同作用。景观格局与鼠害捕获率具有显著相关性<sup>[30]</sup>,进

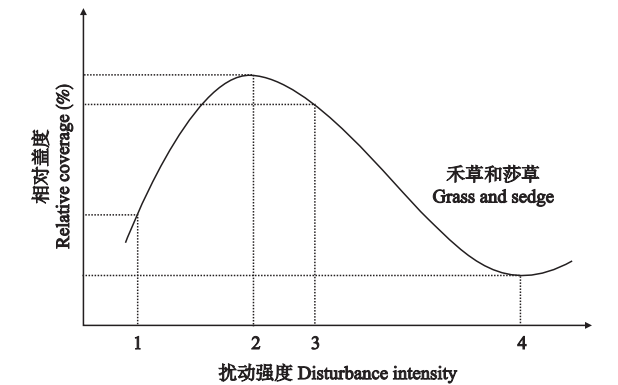


图4 高原鼠兔扰动下高寒草地群落演替的概念模型  
Fig. 4 Conceptual model of alpine grassland community succession under disturbance of plateau pika.  
1) 轻度扰动 Mild disturbance; 2) 最适扰动 Optimal disturbance; 3) 适度扰动 Moderate disturbance; 4) 过度扰动 Excessive disturbance.

一步研究应注重景观特征在高寒草地鼠害治理中的作用。

## 参考文献

- [1] Whitford WG, Kay FR. Bioperturbation by mammals in deserts: A review. *Journal of Arid Environments*, 1999, **41**: 203–230
- [2] Kang L, Han XG, Zhang ZB, *et al.* Grassland ecosystems in China: Review of current knowledge and research advancement. *Philosophical Transaction of the Royal Society B*, 2007, **362**: 997–1008
- [3] Liu J-K (刘季科), Zhang Y-Z (张云占), Xin G-W (辛光武). Relationship between numbers and degree of harmfulness of the plateau pika. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 1980, **26**(4): 378–385 (in Chinese)
- [4] Wang K (王堃), Hong F-Z (洪绶曾), Zong J-Y (宗锦耀). Resource and their sustainable utility in the 'Three-River Headwaters' region. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2005, **13**(suppl.): 28–31 (in Chinese)
- [5] Zhang Y-M (张堰铭). Effect of plateau zokor on characters and succession of plant communities in alpine meadow. *Zoological Research* (动物学研究), 1999, **20**(6): 435–440 (in Chinese)
- [6] Harris RB. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau: A review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 2010, **74**: 1–12
- [7] Wuerthner G. Viewpoint: The black-tailed prairie dog-headed for extinction? *Journal of Range Management*, 1997, **50**: 459–466
- [8] Kotliar NB, Baker BW, Whicker AD. A critical review of assumptions about the prairie dog as a keystone species. *Environmental Management*, 1999, **24**: 177–192
- [9] Heske EJ, Brown JH, Guo QF. Effects of kangaroo rat exclusion on vegetation structure and plant species diversity in the Chihuahuan Desert. *Oecologia*, 1993, **95**: 520–524
- [10] Smith AT, Foggin JM. The plateau pika (*Ochotona curzoniae*) is a keystone species for biodiversity on the Tibetan Plateau. *Animal Conservation*, 1999, **2**: 235–240
- [11] Zhang YM, Zhang ZB, Liu JK. Burrowing rodents as ecosystem engineers: The ecology and management of plateau zokors *Myospalax fontanierii* in alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau. *Mammal Review*, 2003, **33**: 284–294
- [12] Lai CH, Smith AT. Keystone status of plateau pikas (*Ochotona curzoniae*): Effect of control on biodiversity of native birds. *Biodiversity and Conservation*, 2003, **12**: 1901–1912
- [13] Wei XH, Li S, Yang P, *et al.* Soil erosion and vegetation succession in alpine *Kobresia* steppe meadow caused by plateau pika: A case study of Nagqu County, Tibet. *Chinese Geographical Science*, 2007, **17**: 75–81
- [14] Samjaa R, Zophel U, Peterson J. The impact of the vole *Microtus brandtii* on Mongolian steppe ecosystems. *Märburger Geographische Schriften*, 2000, **135**: 346–360
- [15] Karsten W, Karin N, Vroni R. Habitat engineering under dry conditions: The impact of pikas (*Ochotona pallasi*) on vegetation and site conditions in southern Mongolian steppes. *Journal of Vegetation Science*, 2007, **18**: 665–674
- [16] Jiang Z-G (蒋志刚), Xia W-P (夏武平). Utilization of the food resources by plateau pika. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 1985, **5**(4): 251–262 (in Chinese)
- [17] Pech RP, Arthur AD, Zhang YM, *et al.* Population dynamics and responses to management of plateau pikas *Ochotona curzoniae*. *Journal of Applied Ecology*, 2007, **44**: 615–624
- [18] Li Y-T (李岳坦). Community Structure and Degradation Mechanism of Riparian Vegetation in Lake Qinghai Basin. PhD Thesis. Beijing: Beijing Normal University, 2010 (in Chinese)
- [19] Xia M-L (夏茂林), Wang Q-Z (王隼珍), Bai S (白松), *et al.* Dynamics of rodents' holes on alpine meadow in Tibet Shigatse. *Pratacultural Science* (草业科学), 2011, **28**(3): 449–453 (in Chinese)
- [20] Zhang J-T (张金屯). Quantitative Ecology. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese)
- [21] Lai J-S (赖江山), Mi X-C (米湘成). Ordination analysis of ecological data using vegan package in R [EB/OL]. (2011-07-11) [2012-11-20]. <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=267448>
- [22] Zhang Y-P (章异平), Jiang Y (江源), Liu Q-R (刘全儒), *et al.* Degradation features of alpine and subalpine meadows under grazing pressure in Mt. Wutai. *Resources Science* (资源科学), 2008, **30**(10): 1555–1563 (in Chinese)
- [23] Lepx J, Smilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO. Cambridge: Cambridge University Press, 2003
- [24] Wang Q-Y (王权业), Bian J-H (边疆晖), Shi Y-Z (施银柱). Influence of plateau zokor mounds on the vegetation and soil nutrients in an alpine meadow. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), 1993, **13**(1): 31–37 (in Chinese)
- [25] Wang G (王刚), Du G-Z (杜国祯). Niche analysis of species in vegetative succession on zokor mounds. *Journal of Ecology* (生态学杂志), 1990, **9**(1): 1–6 (in Chinese)
- [26] Reichman OJ, Seabloom EW. The role of pocket gophers as subterranean ecosystem engineers. *Trends in Ecology and Evolution*, 2002, **17**: 44–49
- [27] Zhang YM, Liu JK. Effects of plateau zokors (*Myospalax fontanierii*) on plant community and soil in an alpine meadow. *Journal of Mammalogy*, 2003, **84**: 644–651
- [28] Williams LR, Cameron GN. Effects of removal of pocket gophers on a Texas coastal prairie. *The American Midland Naturalist*, 1986, **115**: 216–224
- [29] Jiang X-L (江小雷), Zhang W-G (张卫国), Yang Z-Y (杨振宇), *et al.* Plant diversity variations in zokor mound communities along a successional stage. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(5): 814–818 (in Chinese)
- [30] Duan Y-F (段亚峰), Wang K-L (王克林), Chen H-S (陈洪松), *et al.* Effect of landscape pattern on mouse pest in Dongting Lake area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(10): 2331–2336 (in Chinese)

作者简介 赵国琴,女,1988年生,硕士研究生.主要从事水土资源与生态恢复研究. E-mail: zhaoguoqin2008@126.com

责任编辑 肖红