

石盼洋,陈宏伟,董建瑞,等.古尔班通古特沙漠短命植物对鼠类扰动的响应[J].中国沙漠,2024,44(5):236-244.

# 古尔班通古特沙漠短命植物对鼠类扰动的响应

石盼洋,陈宏伟,董建瑞,赵文勤,李榕

(石河子大学 生命科学学院 绿洲城镇与山盆系统生态兵团重点实验室,新疆 石河子 832061)

**摘要:**短命植物是维持古尔班通古特沙漠-绿洲交错带稳定性的重要植被,鼠类扰动在多方面影响短命植物的生长。以古尔班通古特沙漠南缘短命植物为研究对象,在该区域有、无鼠类扰动的情况下,对短命植物生长状况、多样性以及土壤理化性质进行了分析。结果表明:(1)鼠类扰动改变了短命植物的性状,扰动区的短命植物密度显著高于对照区,株高显著低于对照区。(2)鼠类扰动增加了短命植物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数。(3)鼠类扰动使土壤全磷、全氮、全钾、速效氮、速效磷和总盐含量存在极显著差异。(4)对照区短命植物多样性与土壤理化因子有显著的相关性,扰动区两者之间的相关性不显著。土壤理化因子可以很好地解释短命植物多样性的变化,在对照区和扰动区对短命植物多样性的累计解释率分别为 97.99% 和 86.84%。古尔班通古特沙漠适度的鼠类扰动在局域生境中会显著改变土壤理化特性,从而显著提高短命植物的多样性,对提高荒漠干旱性区域的生态稳定性具有重要意义。

**关键词:**短命植物;鼠类扰动;冗余分析

**文章编号:**1000-694X(2024)05-236-09

**中图分类号:**Q948

**DOI:**10.7522/j.issn.1000-694X.2024.00015

**文献标志码:**A

## 0 引言

短命植物生长在荒漠地带,利用早春或夏初相对充足的水分在较短时间完成生活史<sup>[1]</sup>,在中国仅分布于新疆北部的准噶尔盆地(约205种),是荒漠区初夏的主要植被类群,对维持古尔班通古特沙漠-绿洲交错带稳定性具有重要意义<sup>[2-3]</sup>。短命植物完成生活史后,会在6个月内把凋落物中35%的氮和60%的磷再释放到土壤中,为下阶段生长的灌木和草本植物提供养分<sup>[4]</sup>。短命植物进入恶劣环境,不断对土壤养分等方面起到改良作用,为其他植物早期幼苗定居、生长及植物群落演替等创造良好的条件,在生态恢复、防治沙漠化以及改善荒漠生态环境等方面发挥着重要的作用<sup>[5]</sup>。

在干旱和半干旱生态系统中,不管是植物还是以荒漠植物为主要食物来源的啮齿动物都面临着艰巨的生存任务。巨大的压力促使植物和啮齿动

物都进化出了获取营养的生存策略,这种进化使处在群落中的生物获得不同的多样性,包括遗传、功能以及生态系统多样性,并且彼此之间在时间和空间上形成了一定的互作关系。地下食草性啮齿动物在决定生态系统中植物群落的组成、功能和结构方面发挥着重要作用<sup>[6]</sup>。沙鼠的扰动行为(掘洞、取食、排便等)建立了环境异质性和生物多样性组成部分之间的联系。在春季,梭梭嫩枝尚未长出时,沙鼠主要以短命植物为食,但是从宏观上考虑,这种行为会促进整体植物群落的更新,影响整体的丰富度格局并且增加空间景观破碎化程度<sup>[7]</sup>。细尺度的空间碎片化使高寒植物群落功能组成发生变化,功能性状转向于资源获取<sup>[8]</sup>。所以扰动这种对于环境看起来属于熵增的行为,导致植物群落发生方向性改变。扰动事件的发生和土壤的关联影响着植物群落的建立和组装。鼠类在洞穴中储藏食物的行为,有助于丰富种子库中的物种库,同时植被从

收稿日期:2023-11-09; 改回日期:2024-01-08

资助项目:国家自然科学基金项目(32060374);石河子大学高层次人才科研启动项目(RCZK201952)

作者简介:石盼洋(2000—),女,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事干旱区植物多样性研究。E-mail: 1736228269@qq.com

通信作者:赵文勤(E-mail: zhqw518@shzu.edu.cn)

干扰中恢复的能力被认为主要取决于种子库中的物种库<sup>[9]</sup>。Guo<sup>[10]</sup>发现,鼠类扰动会明显提高植物多样性。Gutiérrez等<sup>[11]</sup>认为鼠类的挖掘、采食活动使当地一年生植物的竞争力提高,多样性和生产力也明显增加。杨维康等<sup>[12]</sup>研究了古尔班通古特沙漠鼠类对植物群落扰动效应,认为大沙鼠的活动能够促进一年生短命植物的生长和发育。

本研究以干旱区环境中受到鼠类扰动和没有受到鼠类扰动区域中的短命植物为研究对象,分析两种环境下的植物密度与株高、植物多样性、土壤理化性质的差异和相关性,以确定扰动是否有利于短命植物的发展,从而探究荒漠短命植物在鼠类扰动下的相关生态机制,以期对荒漠生态系统的管理与可持续发展,以及生物多样性维护等方面提供基础的资料 and 理论参考。

## 1 研究区域概况

古尔班通古特沙漠位于准噶尔盆地的腹地,是中国最大的固定和半固定沙漠,面积 $4.88 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[13]</sup>。研究区位于古尔班通古特沙漠南部,海拔约346 m,属于典型温带干旱荒漠型生境。研究区土壤属于荒漠盐碱土,土壤表层为风积沙土,土壤较贫瘠,地貌以树枝状沙垄和蜂窝状沙丘为主,呈西北-东南走向,沙丘高度10~20 m(沙区的底部和两个沙区之间是沙鼠的主要活动区域,分布着大量的洞群)<sup>[14]</sup>。建群植物为梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和白梭梭(*Haloxylon persicum*)<sup>[15]</sup>。常见的短命植物有尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrhinchum*)、齿稈草(*Schismus arabicus*)、东方旱麦草(*Eremopyrum orientale*)等<sup>[16-17]</sup>。短命植物盖度可达50%<sup>[18]</sup>。该区域冬季寒冷多雪,夏季炎热干燥,降水主要在夏季,年降水量80~160 mm,冬季有20 cm厚的稳定积雪<sup>[19]</sup>。早春积雪随着气温的升高而融化,为短命植物的萌发和幼苗生长提供了适宜的温度和充足的水分,使得植物多样性的物种组成变得丰富,融雪还刺激了土壤微生物的生长和生理活动,从而可以固定土壤养分,这也是此沙漠植物多样性有别于国内其他沙漠的一个显著特色<sup>[20-21]</sup>。该区域常见三趾跳鼠(*Dipus sagitta*)、大沙鼠(*Rhombomys opimus*)、褐家鼠(*Rattus norvegicus*)、子午沙鼠(*Meriones meridianus*)、小家鼠(*Mus musculus*)、灰仓鼠(*Cricetulus migratorius*)<sup>[22-23]</sup>。其中大沙鼠是优势种,春季主要以梭梭新生嫩枝和短命植物为食,对短命植物的扰动主要来

自于大沙鼠。该地边缘部分的短命植物——梭梭混合生长带区域广、范围大,但同时受到强烈的沙鼠扰动影响,是研究沙鼠扰动和短命植物的理想区域。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

2022年5月上旬在短命植物花期旺季进行调查,在古尔班通古特沙漠南缘,在一东北-西南走向的大沙丘选取鼠类扰动区,选取20 m×20 m的鼠类扰动区(样地内具大量鼠洞)和对照区(样地内无鼠洞或具极少鼠洞)的样地各5个。样地间隔相距不少于1 km。采用查盗开洞法在鼠类扰动区调查鼠类密度,即用沙土将样地内所有鼠洞轻微封堵,24 h后检查盗开并记录盗开的洞口数量,鼠类扰动区每平方米平均有效洞口密度为0.1369个。在每个鼠类扰动区和对照区采用五点取样法分别设置5个3 m×3 m的小样方,鼠类扰动区和对照区各15个样方。统计每个小样方内短命植物相关生态特征。

### 2.2 样品采集

将样方中短命植物采集1~2份标本装入植物标本袋,于试验当天带到实验室,用于短命植物物种鉴定。鼠类扰动区采集到植物19种,属于18属、6科;对照区16种,属于16属、6科。统计不同短命植物数量用于密度分析;用直尺测量部分短命植物地上株高,每个样方内不同短命植物随机测10株,取平均值。在每个样方设置土壤采样点,每个样点土壤剖面分3层取土,即0~20、20~40、40~60 cm,将每个采样单元内各个采样点的土壤混合均匀,按四分法获取足量的样品,装入保鲜袋内,带回实验室,风干后剔除石粒和树根等杂物,研磨后过筛装袋备用,用于检测土壤理化特性。

### 2.3 短命植物多样性与丰富度分析

采用Simpson多样性指数( $D$ )、Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )和Margalef物种丰富度指数( $R$ )计算短命植物鼠洞区和对照区的多样性与丰富度的差异<sup>[24-25]</sup>。

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (1)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \log_2 P_i) \quad (2)$$

$$R = (s - 1) / \ln N \quad (3)$$

式中:  $S$ 表示物种总数;  $N_i$ 表示第  $i$  种的个体数;  $N$ 表示总个体数,  $P_i$ 表示第  $i$  种的个体数占总个体数的比例。

## 2.4 土壤理化性质测定方法

全磷(TP)含量和速效磷(AP)含量检测采用钼锑抗比色法;全钾(TK)含量和速效钾(AK)含量检测采用火焰光度计法;全氮(TN)含量检测采用凯氏定氮法;速效氮(AN)含量检测采用碱解扩散;总有机碳(TOC)含量测定采用重铬酸钾氧化-外加加热法;采用残渣烘干法测定土壤总盐(TS, 1:5 土液比)含量<sup>[26-28]</sup>。

## 2.5 数据处理

采用 Excel 2016 和 SPSS 25.0 软件对数据进行初步的统计和处理,采用双因素方差分析(two-way

ANOVA)和 LSD 检验进行方差分析和显著性检验( $\alpha=0.05$ ),用 Pearson 法进行相关分析。土壤环境因子与短命植物多样性的相关性采用 Canoco 5.0 软件进行冗余分析(redundancy analysis, RDA),利用 GraphPad Prism6.0.1 和 R 软件制图。图表中数据为平均值 $\pm$ 标准误差。

## 3 结果与分析

### 3.1 鼠类扰动对短命植物密度的影响

短命植物密度在鼠类扰动区和对照区有差异(表1)。密度在鼠类扰动区显著高于对照区的短命植物包括硬萼软紫草、白花鹤虱、小花天芥菜、雾冰藜、猪毛菜、东方旱麦草、疏齿千里光、弯角四齿芥、卷果涩芥、尖喙牻牛儿苗( $P<0.05$ ),对照区显著高于扰动区的短命植物有狭果鹤虱( $P<0.05$ ),没有明显差异的短命植物包括三芒草、齿稈草、砂蓝刺头、绢蒿、鸦葱。对照区中没有发现碱蓬、角果藜、虫实。

表1 鼠类扰动区和对照区短命植物密度(株 $\cdot$ m<sup>-2</sup>)差异

Table 1 Differences in the density of ephemerals in the rat-hole and control areas (Unit: plant $\cdot$ m<sup>-2</sup>)

短命植物			对照区	扰动区	$P$
科	属	种名			
紫草科	软紫草属	硬萼软紫草	17.57 $\pm$ 10.991	30.87 $\pm$ 22.170	0.005
	鹤虱属	狭果鹤虱	11.17 $\pm$ 8.035	6.77 $\pm$ 7.802	0.036
	鹤虱属	白花鹤虱	20.80 $\pm$ 18.072	38.97 $\pm$ 43.022	0.039
	天芥菜属	小花天芥菜	0.23 $\pm$ 0.626	2.90 $\pm$ 4.566	0.047
藜科	碱蓬属	碱蓬	—	0.13 $\pm$ 0.346	—
	滨藜族	角果藜	—	2.13 $\pm$ 5.716	—
	雾冰藜属	雾冰藜	0.07 $\pm$ 0.059	0.13 $\pm$ 0.346	0.043
	虫实属	虫实	—	3.63 $\pm$ 7.600	—
	猪毛菜属	猪毛菜	0.03 $\pm$ 0.183	2.13 $\pm$ 0.346	0.029
禾本科	旱麦草属	东方旱麦草	25.9 $\pm$ 19.949	47.67 $\pm$ 27.638	0.001
	三芒草属	三芒草	1.03 $\pm$ 1.921	0.50 $\pm$ 0.682	0.160
	齿稈草属	齿稈草	120.70 $\pm$ 83.088	155.80 $\pm$ 128.432	0.215
菊科	蓝刺头属	砂蓝刺头	0.13 $\pm$ 0.346	0.57 $\pm$ 1.073	0.052
	绢蒿属	绢蒿	0.23 $\pm$ 0.568	0.17 $\pm$ 0.461	0.620
	千里光属	疏齿千里光	2.33 $\pm$ 3.437	5.83 $\pm$ 1.717	0.032
	鸦葱属	鸦葱	0.30 $\pm$ 0.952	0.40 $\pm$ 1.163	0.094
十字花科	四齿芥属	弯角四齿芥	1.20 $\pm$ 2.107	6.60 $\pm$ 7.518	0.001
	涩芥属	卷果涩芥	0.57 $\pm$ 1.251	2.20 $\pm$ 2.631	0.039
牻牛儿苗科	牻牛儿苗属	尖喙牻牛儿苗	0.47 $\pm$ 0.819	3.27 $\pm$ 5.027	0.005
平均值			7.345 $\pm$ 3.084	18.74 $\pm$ 6.378	0.042

总体而言,鼠类扰动区短命植物的密度整体高于对照区( $P<0.05$ )。

3.2 鼠类扰动对短命植物株高的影响

短命植物的株高在鼠类扰动区和对照区有差异(表 2)。株高在对照区显著高于扰动区的短命植

物有白花鹤虱、小花天芥菜、猪毛菜、东方旱麦草、齿稈草、砂蓝刺头、绢蒿、疏齿千里光、弯角四齿芥、卷果涩荠、尖喙牻牛儿苗( $P<0.05$ ),没有明显差异的短命植物包括硬萼软紫草、狭果鹤虱、三芒草、鸦葱。所以对照区短命植物的株高普遍高于鼠类扰动区( $P<0.05$ )。

表 2 鼠类扰动区和对照区短命植物株高(cm)差异  
Table 2 Differences in plant height of ephemerals in the rat-hole and control areas (Unit: cm)

短命植物			对照区	扰动区	P
科	属	种名			
紫草科	软紫草属	硬萼软紫草	3.74±0.632	3.15±0.342	0.420
	鹤虱属	狭果鹤虱	5.39±0.72	6.29±1.23	0.536
	鹤虱属	白花鹤虱	15.73±3.57	9.58± 3.35	0.015
	天芥菜属	小花天芥菜	13.31 ±3.11	6.62±3.14	0.017
藜科	碱蓬属	碱蓬	—	4.09±1.11	—
	滨藜族	角果藜	—	10.08±2.866	—
	雾冰藜属	雾冰藜	16.25±4.752	10.75±4.82	0.019
	虫实属	虫实	—	19.81±5.934	—
	猪毛菜属	猪毛菜	44.88±11.079	32.92 ±13.070	0.040
禾本科	旱麦草属	东方旱麦草	6.41±2.443	3.64±1.683	0.008
	三芒草属	三芒草	20.21±6.56	17.10±4.409	0.231
	齿稈草属	齿稈草	15.08± 3.126	4.28±2.246	0.001
菊科	蓝刺头属	砂蓝刺头	8.64±3.679	3.89±2.067	0.012
	绢蒿属	绢蒿	17.35±5.512	11.25±6.067	0.030
	千里光属	疏齿千里光	10.97±6.069	5.06±3.226	0.014
	鸦葱属	鸦葱	14.98±6.682	15.44±5.404	0.868
十字花科	四齿芥属	弯角四齿芥	9.16±6.159	3.54±1.314	0.011
	涩荠属	卷果涩荠	9.54±1.680	4.86± 1.338	0.001
牻牛儿苗科	牻牛儿苗属	尖喙牻牛儿苗	3.81± 2.148	1.046±0.549	0.003
平均值			15.73±9.88	9.76±7.59	0.044

3.3 鼠类扰动对短命植物多样性指数的影响

鼠类扰动区内短命植物的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数都显著高于对照区( $P<0.05$ ),而 Simpson 优势度指数无显著性差异(图 1)。这说明鼠类扰动在局域生境中会使短命植物的物种丰富度更加均衡,种类数量也显著提高。

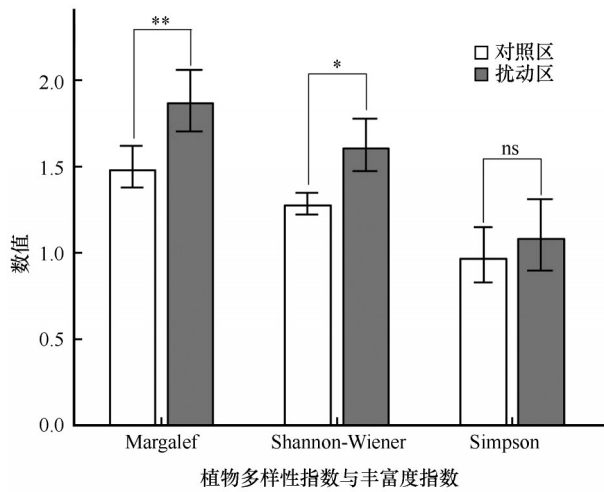
3.4 鼠类扰动对土壤理化因子的影响

对比鼠类扰动区和对照区的土壤因子(表 3),土壤 TOC、TN、TK、AN 含量在扰动区的含量更高,与对

照区呈极显著差异( $P<0.01$ );对照区的土壤 TP、AP、TS 含量极显著高于扰动区( $P<0.01$ );土壤 AK 含量在对照区和扰动区的含量无显著差异( $P>0.05$ )。

3.5 土壤环境因子对短命植物多样性的影响

对照区和扰动区的土壤因子与短命植物多样性相关关系如图 2 所示。在对照区,土壤 TOC、AN、TS 与 Margalef 丰富度指数显著负相关( $P<0.05$ )。土壤 TP 与 Simpson 优势度指数显著负相关( $P<0.05$ )。土壤 TN、TP 与 Shannon-Wiener 多样性指数

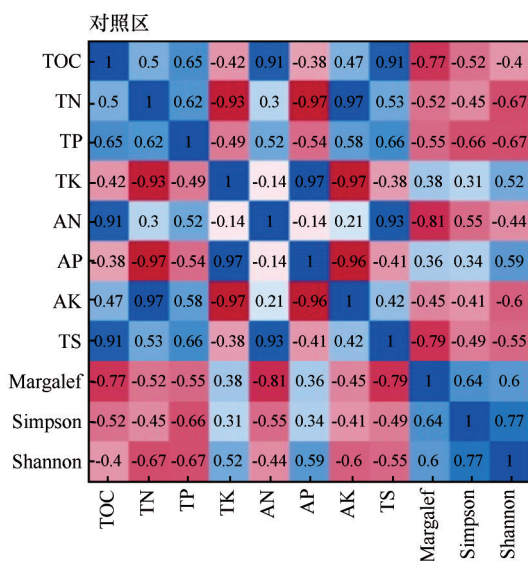


注: \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; ns: 差异不显著

图1 鼠类扰动区和对照区短命植物多样性指数与丰富度指数

Fig.1 Comparison of short-lived plant diversity and richness indexes in rat hole and control areas

显著负相关( $P < 0.05$ )。



注: Margalef: Margalef丰富度指数; Shannon: Shannon-Wiener多样性指数; Simpson: Simpson优势度指数; TOC: 土壤总有机碳;

TK: 土壤全钾; TP: 土壤全磷; TN: 土壤全氮; AK: 土壤速效钾; AP: 土壤速效磷; AN: 土壤速效氮; TS: 土壤总盐

图2 短命植物多样性指数与土壤因子的皮尔逊相关系数

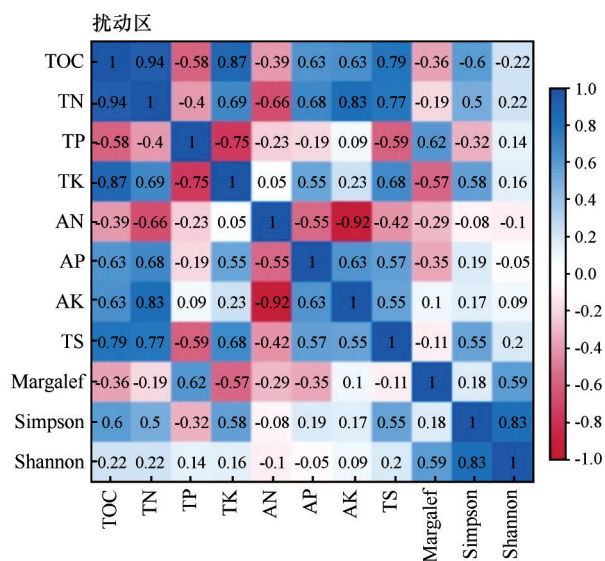
Fig.2 Pearson correlation coefficient plot of short-lived plant diversity index and soil factors

为了进一步探究对照区和扰动区的短命植物多样性指数与土壤养分的交互关系,将短命植物Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数和Margalef丰富度指数作为响应因子变量,与作为解释变量的8个土壤因子(TOC、TK、TP、TN、AK、AP、AN、TS)进行冗余分析(图3)。结果显示,在对照区,RDA1和RDA2共解释了变量的97.99%,这说明这些土壤养分因子对植被多样性产生了尤为突

表3 鼠类扰动区和对照区土壤理化因子差异  
Table 3 Difference analysis of soil physicochemical factors between rodent disturbance zone and control area.

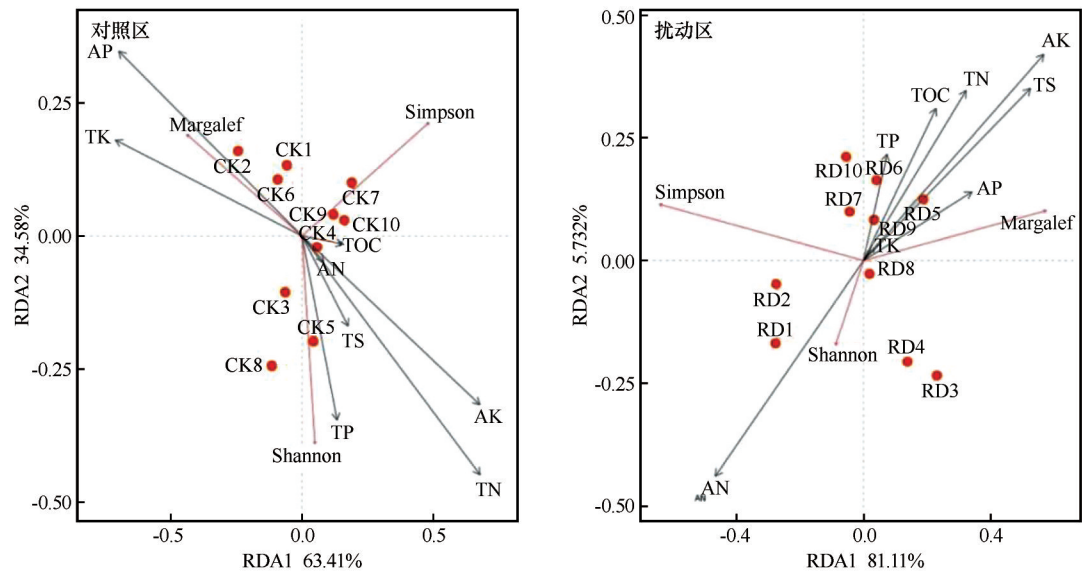
土壤指标	对照区	扰动区	P
土壤总有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.688±0.113	2.167±0.03	<0.001
土壤全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.093±0.002	0.126±0.02	0.001
土壤全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.47±0.003	0.455±0.001	<0.001
土壤全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	24.903±0.268	26.116±0.29	<0.001
土壤总盐/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.618±0.04	0.923±0.037	<0.001
土壤速效氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	30.858±1.049	47.647±1.63	<0.001
土壤速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	5.557±0.199	4.909±0.018	<0.001
土壤速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	691.86±8.56	702.629±25.429	0.221

在扰动区,Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Simpson优势度指数与土壤因子之间无显著的相关性。



出的制约效应。Margalef丰富度指数与土壤AP、TK呈正相关;Shannon-Wiener多样性指数与土壤TP、TS、TN、AN、AK、TOC正相关;Simpson优势度指数与土壤TOC正相关。

在扰动区,RDA1和RDA2共解释了变量的86.84%,土壤因子能很好地解释短命植物多样性的变化。Margalef丰富度指数与土壤TOC、TK、TP、TN、AK、AP、TS呈正相关;Shannon-Wiener多样性



注：Margalef: Margalef 丰富度指数; Shannon: Shannon-Wiener 多样性指数; Simpson: Simpson 优势度指数; TOC: 土壤总有机碳; TK: 土壤全钾; TP: 土壤全磷; TN: 土壤全氮; AK: 土壤速效钾; AP: 土壤速效磷; AN: 土壤速效氮; TS: 土壤总盐

图 3 短命植物多样性指数与土壤因子的冗余分析

Fig.3 Pearson correlation coefficient plot of short-lived plant diversity index and soil factors

指数与土壤 AN 呈正相关;Simpson 优势度指数与土壤因子没有显著的相关性。

4 讨论

4.1 鼠类扰动对短命植物生长的影响

生物扰动被认为是生态系统功能动态变化的主要驱动力,因为它经常改变土壤的物理和生物过程,从而改变了植物的生长状况和群落的物种组成<sup>[29]</sup>。本研究中短命植物在鼠类扰动区的密度普遍高于对照区(表 1),而株高普遍低于对照区(表 2)。原因一方面可能是鼠类会帮助分散短命植物的种子<sup>[30]</sup>,将它们带到新的地点,从而促进短命植物的繁殖和扩散,增加短命植物密度;此外,鼠类挖掘洞穴的行为也可以改善土壤的通气性和透水性,这对一些短命植物的发芽和萌芽有一定的积极影响。另一方面鼠类的啃食行为导致短命植物茎或叶片的受损,从而影响其正常的生长和发育,或者啃食短命植物的根系,导致根系不能正常吸收土壤中的养分,从而限制短命植物株高的增加;鼠类的活动还可能通过挖掘土壤、移动土壤或踩踏植物来影响短命植物的株高;另外,由于鼠类扰动促进了短命植物密度的增加,植株之间对养分和空间资源的竞争更加激烈,也会导致其生长受到限制,从而影响短命植物的株高。最后,由于鼠类在选择捕食

短命植物时,可能会根据其个体偏好和环境条件进行选择,这就导致不同短命植物的密度和株高有所差异。硬萼软紫草的茎和叶子含有毒性物质,鼠类一般会避免食用,所以它在扰动区的株高就和对照区的无显著差异;而疏齿千里光是鼠类的主要食物,由于鼠类啃食它的株高显著低于对照区,同时也因为鼠类吃下它的果实或种子,将未消化的种子排泄到其他地方,帮助其扩散和繁殖,使其密度显著高于对照区。

4.2 鼠类扰动对土壤理化性质的影响

鼠类通过其土丘、群落和群落复群引起的干扰增加了异质生境,改变了土壤理化性质并增强了土壤养分<sup>[31]</sup>,促进了短命植物群落更新<sup>[8]</sup>,本研究中主要表现在土壤的总有机碳、全氮、全钾含量的显著增加(表 3)。鼠类扰动区土壤总有机碳含量显著高于对照区可能是因为鼠类通常在挖掘洞穴、筑巢或寻找食物时会翻动土壤,这种混合作用可以将表层土壤与较深层土壤混合在一起,从而促进有机物质的分解和储存<sup>[23]</sup>;鼠类的粪便和尿液含有大量的有机物质,当它们被排泄到土壤中时,可以为土壤提供营养,并促进土壤中的微生物活动,从而提高土壤有机质的含量<sup>[32]</sup>。全氮含量在鼠类扰动区的增加,可能是由于鼠类挖掘土壤来回穿梭,通过破坏土壤颗粒的稳定团聚体<sup>[33]</sup>,增加了氮矿化率导致扰

动区有效氮浓度升高,并在土壤中啃食植物、树根,切断了附着在原始土壤中的菌丝,最终增加了扰动区土壤氮含量。同时土壤碳含量越多,会增加土壤的供氮能力,所以在本研究中,土壤碳含量和氮含量呈显著正相关(图2),这和徐薇薇等<sup>[34]</sup>的研究结果相同。钾在调节植物生长发育、稳态维持和胁迫响应等方面具有重要作用,钾含量在鼠洞区富集,除了与大沙鼠的活动有关,还可能与草本植物的凋落有关<sup>[35]</sup>,植被凋落物和矿物的风化是钾的主要来源,而凋落物主要聚集在土壤表层<sup>[36]</sup>。磷素主要由无机磷和有机磷组成,是一种沉积型循环元素<sup>[29]</sup>。扰动破坏土壤的结构,导致土壤中的磷含量流失或被淋溶,降低了土壤磷含量<sup>[37]</sup>。国外有研究表明,鼠类的挖掘活动能够降低土壤硬度增加土壤水分渗入,所以扰动区土壤水分含量相应较高<sup>[29]</sup>,导致鼠类扰动区土壤盐度显著低于对照区。

#### 4.3 扰动区和对照区短命植物多样性与土壤理化性质之间的关系

异质环境提供了避难所和多样化的适应机会,增强了物种多样性<sup>[38]</sup>。空间环境异质性包括非生物(气候、地形、土壤)和生物(土地覆盖、植被)条件的异质性<sup>[39]</sup>。干扰改变了土壤养分的空间分布创造环境异质性,对物种多样性产生了积极影响<sup>[40]</sup>。研究表明,小型啮齿动物的存在会增加植物多样性<sup>[41]</sup>。在本研究中,扰动区短命植物的Margalef丰富度指数和Shannon-Wiener多样性指数均高于对照区(图2),这和之前的研究结果一致<sup>[42]</sup>,说明扰动区的物种种类和物种丰度等都高于对照区。一方面,鼠类可以帮助传播植物种子,促进植物的繁殖和分散。鼠类会收集种子并将其储存在地下,这种移动有助于种子的分散,使其能够扩散到更广的区域。这样,鼠类扰动可以帮助植物实现种子的迁移和新的定植机会,从而增加植物的多样性。此外,鼠类还可以通过挖掘和翻动土壤来帮助植物种子发芽和生长。鼠类可以通过创造更大的空间异质性来改变植被的组成,特别是在生态位分化决定植物物种分布的异质环境中。鼠类扰动导致植物群落丰富度增加,引起群落组成变化,同样有研究也表明鼠类在洞区所造就的微环境维系了独特的植物群落,经扰动后植物物种多样性明显提高<sup>[43]</sup>。

RDA分析表明,扰动区Margalef丰富度指数与土壤TOC、TK、TP、TN、AK、AP、TS含量呈正相关,

Shannon-Wiener多样性指数与土壤AN含量呈正相关(图3)。同时扰动区的土壤TOC、TK、TN含量显著高于对照区(表3),所以,也和本实验中扰动区Margalef丰富度指数与Shannon-Wiener多样性指数显著高于对照区的的结果相同(图1)。

## 5 结论

本研究对古尔班通古特沙漠鼠类扰动区和非扰动区的短命植物性状和土壤理化性质进行了差异性分析。结果表明,短命植物在鼠类扰动区的密度与物种多样性都显著高于对照区,扰动区土壤理化性质中的TOC、TN、TK、AN含量也显著高于对照区,这说明了适度扰动有助于短命植物群落的建立和土壤养分的改善,维持生态系统的稳定和可持续发展。本研究并没有结合气候以及时间等进行分析,所以建议未来应综合更多的环境因子并扩大研究区面积,探讨不同强度的鼠类扰动对短命植物以及土壤健康的影响。

#### 参考文献:

- [1] 张岚,张玲卫,刘会良,等.降水增加对古尔班通古特沙漠两种短命植物生长的影响[J].应用生态学报,2020,31(1):9-16.
- [2] Peng M W, He H, Wang Z K, et al. Community distribution of rhizosphere and endophytic bacteria of ephemeral plants in desert-oasis ecotone and analysis of environmental driving factors [J]. Land Degradation & Development, 2023, 34: 1182-1196.
- [3] 张玉林,尹本丰,陶冶,等.早春首次降雨时间及降雨量对古尔班通古特沙漠两种短命植物形态特征与叶绿素荧光的影响[J].植物生态学报,2022,46(4):428-439.
- [4] 孟欢欢,张媛媛,周晓兵,等.古尔班通古特沙漠草本植物生物量分配特征[J].中国沙漠,2022,42(1):96-107.
- [5] 刘忠权,刘彤,张荣,等.古尔班通古特沙漠南部短命植物群落物种多样性及空间分异[J].生态学杂志,2011,30(1):45-52.
- [6] Andino N, Borghi C E. Occurrence of *Ctenomys mendocinus* in a high-altitude cold desert: effect on density biomass and fitness of sagebrush plants [J]. Arctic Antarctic and Alpine Research, 2017, 49: 53-60.
- [7] Niu Y, Yang S, Zhu H, et al. Cyclic formation of zokor mounds promotes plant diversity and renews plant communities in alpine meadows on the Tibetan Plateau [J]. Plant Soil, 2020, 446: 65-79.
- [8] Ye G, Chu B, Tang Z, et al. Disturbance of plateau zokor (*Eospalax baileyi*) mounds increase plant and soil macroinvertebrate richness by offering a diversified microenvironment [J]. Ecological Engineering, 2022, 183: 106-114.

- [9] Caballero I, Olano J M, Luzuriaga A L, et al. Spatial coherence between seasonal seed banks in a semi-arid gypsum community: density changes but structure does not[J]. Seed Science Research, 2005, 15: 53–160.
- [10] Guo Q. Effects of bannertail kangaroo rat mounds on small-scale plant community structure[J]. Oecologia, 1996, 106(2): 247–256.
- [11] Gutiérrez J R, Meserve P L, Herrera S, et al. Effects of small mammals and vertebrate predators on vegetation in the Chilean semiarid zone[J]. Oecologia, 1997, 109(3): 398–406.
- [12] 杨维康, 蒋慧萍, 王雪芹, 等. 古尔班通古特沙漠区大沙鼠对荒漠植物群落的扰动效应[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2020–2025.
- [13] 张世航, 岳平, 陈玉森, 等. 反硝化-分解模型在荒漠土壤  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  通量估计中的应用[J]. 中国沙漠, 2023, 43(3): 220–229.
- [14] Zang Y X, Min X J, Ma J Y, et al. Extreme drought affects the productivity, but not the composition of a desert plant community in Central Asia differentially across microtopographies[J]. Science of the Total Environment, 2020, 717: 137–251.
- [15] 陈昌笃, 张立运, 胡文康. 古尔班通古特沙漠的沙地植物群落区系及其分布的基本特征[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983, 42(2): 89–99.
- [16] 丁俊祥, 范连连, 李彦, 等. 古尔班通古特沙漠6种荒漠草本植物的生物量分配与相关生长关系[J]. 中国沙漠, 2016, 36(5): 1323–1330.
- [17] Huang G, Li Y. Phenological transition dictates the seasonal dynamics of ecosystem carbon exchange in a desert steppe[J]. Journal of Vegetation Science, 2015, 26: 337–347.
- [18] 邹晓君, 马运强, 李志忠, 等. 古尔班通古特沙漠南缘风沙沉积记录的中晚全新世气候变化[J]. 中国沙漠, 2023, 43(6): 98–110.
- [19] 石亚飞, 张志山, 黄磊, 等. 古尔班通古特沙漠半固定沙丘植物群落物种组成和种群结构[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1024–1030.
- [20] Huang G, Su Y G, Zhu L, et al. The role of spring ephemerals and soil microbes in soil nutrient retention in a temperate desert[J]. Plant Soil, 2016, 406(12): 43–54.
- [21] Chen Y, Zhang L, Shi X, et al. Life history responses of two ephemeral plant species to increased precipitation and nitrogen in the Gurbantunggut Desert[J]. PeerJ, 2019, 7: 6158–6173.
- [22] 邵明勤, 阿布力米提·阿布都卡迪尔, 王德忠. 准噶尔荒漠鼠类群落结构及其栖息环境[J]. 干旱区研究, 2001, 7(2): 65–68.
- [23] 徐满厚, 刘彤, 姜莉. 古尔班通古特沙漠南部梭梭鼠害特征及防治生态阈值研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 126–133.
- [24] Qureshi H, Anwar T, Habib N, et al. Multiple comparisons of diversity indices invaded by *Lantana camara*[J]. Brazilian Journal of Biology, 2021, 81: 83–91.
- [25] 王俊伟, 明升平, 许敏, 等. 高山生态关键带植物群落多样性格局与系统发育结构[J]. 草地学报, 2023, 1(14): 7–10.
- [26] Zhang M, Wang N, Zhang J, et al. Soil physicochemical properties and the rhizosphere soil fungal community in a mulberry (*Morus alba* L.) alfalfa (*Medicago sativa* L.) intercropping system[J]. Forests, 2019, 10(2): 167–182.
- [27] 王媚臻, 毕浩杰, 金锁, 等. 林分密度对云顶山柏木人工林林下物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 981–988.
- [28] 沈健, 何宗明, 董强, 等. 滨海防护林土壤  $\text{CO}_2$  排放和土壤因子对计划火烧的响应[J]. 水土保持学报, 2023, 37(1): 254–261.
- [29] Yu C, Zhang J, Pang X P, et al. Soil disturbance and disturbance intensity: response of soil nutrient concentrations of alpine meadow to plateau pika bioturbation in the Qinghai-Tibetan Plateau China[J]. Geoderma, 2017, 307: 98–106.
- [30] 冯筱, 屈建军, 范庆斌, 等. 鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 洞穴堆积体对草地沙化的影响及防治[J]. 中国沙漠, 2020, 40(3): 168–176.
- [31] Lindtner P, Gömöryová E, Gömöry D, et al. Development of physico-chemical and biological soil properties on the European ground squirrel mounds[J]. Geoderma, 2019, 339: 85–93.
- [32] 孟瑞玲, 徐先英, 王立, 等. 大沙鼠 (*Rhombomys opimus*) 扰动对人工梭梭林土壤理化性质的影响[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1192–1198.
- [33] Zhang Y, Dong S, Gao Q, et al. Responses of alpine vegetation and soils to the disturbance of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) at burrow level on the Qinghai-Tibetan Plateau of China[J]. Ecological Engineering, 2016, 88: 232–236.
- [34] 徐薇薇, 乔木. 干旱区土壤有机碳含量与土壤理化性质相关分析[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1558–1561.
- [35] 高贝, 胡艳宇, 张志委, 等. 氮素添加对呼伦贝尔草甸草原植物氮钾元素含量和计量比的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(4): 981–987.
- [36] 赛牙热木·哈力甫, 宋瑞清, 艾克拜尔·伊拉洪, 等. 察布查尔县土壤碳氮磷钾垂直分布规律研究[J]. 干旱区地理, 2018, 41(3): 582–591.
- [37] 潘森, 卜嘉玮, 甘安琪, 等. 放牧强度对高寒草地土壤微生物胞外酶化学计量的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(6): 1780–1787.
- [38] Ward R D, Burnside N G, Joyce C B, et al. Importance of microtopography in determining plant community distribution in Baltic coastal wetlands[J]. Journal of Coastal Research, 2016, 32: 1062–1070.
- [39] Stein A, Gerstner K, Kreft H, et al. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa biomes and spatial scales[J]. Ecology Letters, 2014, 17(7): 866–880.
- [40] Lindtner P, Svitok M, Karol U, et al. Disturbances by the European ground squirrel enhance diversity and spatial heterogeneity of plant communities in temperate grassland[J]. Biodiversity and Conservation, 2020, 29(3): 853–867.
- [41] Bagchi S, Namgail T, Ritchie M E. Small mammalian herbi-

- vores as mediators of plant community dynamics in the high-altitude arid rangelands of Trans-Himalaya[J]. *Biological Conservation*, 2006, 127: 438–442.
- [42] Davidson A D, Lightfoot D C. Burrowing rodents increase landscape heterogeneity in a desert grassland[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72: 1133–1145.
- [43] 蒋慧萍, 杨维康, 胡祚均. 荒漠生态系统鼠类对土壤和植被的扰动效应[J]. *生态学杂志*, 2007, 36(4): 561–566.

## Ecological response of short-lived plants in the Gurbantunggut Desert to rodent disturbances

Shi Panyang, Chen Hongwei, Dong Jianrui, Zhao Wenqin, Li Rong

(Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Oasis Town and Mountain-Basin System Ecology, School of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi 832061, Xinjiang, China)

**Abstract:** Short-lived plants are an important part of vegetation to maintain the stability of Gurbantunggut Desert-Oasis Intertwined Zone, and rodent disturbance affects the growth of short-lived plants in many ways. It is of great significance to study the effects of rodent disturbance on short-lived plants for maintaining ecosystem stability in arid areas. In this study, short-lived plants in the southern margin of Gurbantunggut Desert were studied. The growth status, diversity and soil physicochemical properties of short-lived plants were analyzed with or without rodent disturbance in the region. The results showed that: (1) The rodent disturbance changed the traits of short-lived plants, and the density of short-lived plants in the disturbed area was significantly higher than that in the control area, and the plant height was significantly lower than that in the control area. (2) Rodent disturbance increased Shannon-Wiener diversity index and Margalef abundance index of short-lived plants. (3) The contents of total phosphorus, total nitrogen, total potassium, available nitrogen, available phosphorus and total salt in soil were significantly different due to rodent disturbance. (4) There was a significant correlation between short-lived plant diversity and soil physicochemical factors in the control area, but no significant correlation between them in the disturbance area. Soil physicochemical factors could explain the variation of short-lived plant diversity well, and the cumulative explanation rates of short-lived plant diversity in control and disturbed areas were 97.99% and 86.84%, respectively. Moderate rodent disturbance in Gurbantunggut Desert can significantly change the physical and chemical properties of soil in local habitats, thus significantly increasing the diversity of short-lived plants, which is of great significance for improving the ecological stability of desert arid regions.

**Key words:** short-lived plants; rodent disturbance; redundancy analysis