

# 红松洼自然保护区土壤螨群落结构对短期 围栏封育的响应研究

刘漫萍<sup>1</sup>, 秦卫华<sup>2\*</sup>, 李中林<sup>2</sup>, 王运静<sup>3</sup>, 黄健波<sup>4</sup>, 柯欣<sup>4\*</sup>

1. 上海自然博物馆自然史研究中心, 上海科技馆, 上海 200127; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042;  
3. 围场红松洼国家级自然保护区管理处, 河北 承德 068450; 4. 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所, 上海 200032

**摘要:** 草原生态系统中土壤螨是最具优势的土壤动物类群之一, 具有很高的生物多样性, 因此, 在进行土壤环境变化的评价和监测时, 应充分考虑土壤螨在物种水平上的多样性和群落结构特性。为了解红松洼自然保护区土壤螨群落结构和多样性特征及其对短期围栏封育的响应, 筛选出可用于草原生态系统的监测和评价指标特征, 设置固定研究样地进行围栏封育, 采用样方法对围栏内封育区和围栏外自由放牧区土壤螨群落结构和多样性进行调查。结果表明围栏内土壤螨种数(41种)比围栏外(21种)多近1倍, 其中, 无气门、前气门、中气门和甲螨分别由围栏内的6、6、7和22种下降为围栏外的3、2、3和13种; 围栏内较围栏外的物种数-样点数量关系曲线更好地拟合了“物种数-样点数量双曲线关系方程”, 围栏内  $a/b$  值(44)是围栏外的(12)近4倍; 优势种棘下盾螨(*Hypoaspis queerlandicus*)的表土层密度围栏内比围栏外高2.9倍, 围栏内、外表土、中层、底层垂直密度比分别为44:8:1和3:3:1, 表聚垂直分布型发生了明显变化; 围栏内中气门和棘下盾螨的雄性密度分别比围栏外高25.7%和6.7%。这些结果说明: 物种丰富度、物种数-样点数量关系、优势种棘下盾螨密度垂直分布和捕食螨雄性密度指标特征较敏感, 可作为草原生态系统土壤质量的监测和评价指标。本研究首次报道了红松洼自然保护区土壤螨的种类名录和组成结构特征, 为进一步的研究和方法的建立奠定了基础。

**关键词:** 土壤动物; 物种多样性; 草原生态系统; 生物指标; 环境监测

**DOI:** 10.16258/j.cnki.1674-5906.2016.05.006

**中图分类号:** X174

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906(2016)05-0768-07

**引用格式:** 刘漫萍, 秦卫华, 李中林, 王运静, 黄健波, 柯欣. 红松洼自然保护区土壤螨群落结构对短期围栏封育的响应研究[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5): 768-774.

LIU Manping, QIN Weihua, LI Zhonglin, WANG Yunjing, HUANG Jianbo, KE Xin. Soil Mite Community Structure in Response to Short-Term Grazing Exclusion and Characteristics as Indicators of Environmental Quality in Hongsongwa Natural Reserve [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(5): 768-774.

红松洼国家级自然保护区地处河北省承德市内蒙围场县北部, 位于东北、华北和内蒙古3大植物区系交汇地带, 是以山地草甸生态系统为主要保护对象的综合性草地类自然保护区(李连方等, 1999)。由于区内一直存在大规模放牧牦牛的情况, 加之红松洼草原生态环境较脆弱, 连年的超载过牧导致保护区草原发生退化, 水土流失和风沙危害严重(邹声文, 2002)。

过度放牧导致草原植被盖度减少, 生物多样性丧失, 土壤侵蚀, 生态系统功能破坏。由于生态系统具有一定的自愈能力, 在环境条件不变的情况下, 排除致使其退化的因素, 给予充足的时间, 被破坏草地可自行恢复至原来的状态(Golodets et al.,

2010)。因而, 围栏封育作为一种有效而简便易行的促进退化草地生态恢复的策略, 不仅能够大幅度增加植被, 还有利于改善土壤的理化性质和生物活性(郑翠玲等, 2005; 曹成有等, 2011; 李中林等, 2015)。

土壤无脊椎动物是草原生态系统的重要组成部分, 在土壤发育、养分保持和有机物分解中起着重要作用(Beyer et al., 2011)。封育措施在显著提高退化草地植被生产力的同时, 也提高土壤动物群落的丰富度和多样性(曹成有等, 2011; 刘任涛等, 2010; 刘国华等, 2013)。土壤动物受土壤理化性质的影响并随其变化而发生相应变化, 因此, 土壤动物可提供土壤环境条件的综合量度和对土壤扰动或农牧措施的特定响应(Smith et al., 2002; 柯

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41271264); 环保部环保公益性行业科研专项(201209036)

**作者简介:** 刘漫萍(1969年生), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事螨类分类及其生态功能研究。E-mail: liump@sstm.org.cn

\*通信作者。E-mail: qinweihua2002@sina.com; E-mail: xinke@sibs.ac.cn

**收稿日期:** 2015-06-04

欣等, 2004; Ruf et al., 2005), 且其变化可在土壤理化性质变化之前被检测发现 (Battigelli et al., 2003)。所以, 土壤动物群落结构和多样性特征可作为草地生态系统土壤质量评价或环境监测的生物指标。

以往研究表明草原生态系统中土壤螨是最具优势的土壤动物类群之一, 亦是土壤无脊椎动物的代表性类群, 但在我国目前的生态学研究, 土壤螨都只作为一个大类, 调查其总数或密度, 而没有进一步分析其物种多样性 (Beyer et al., 2011; 刘任涛等, 2010; 刘国华等, 2013; Parfitt et al., 2010; 肖红艳等, 2012; Whitford et al., 2012)。土壤螨种类多, 密度大, 功能和生存策略亦相差很大, 有食凋落物碎屑的、有食菌性的、有捕食性和被捕食性的, 不同种类生活史不同, 而这些特征会随土壤环境的变化而发生相应改变 (Ruf et al., 2005; Battigelli et al., 2003; 刘漫萍等, 2007; Liu et al., 2013; Ruf et al., 2003)。因此, 在进行土壤螨分析时, 需充分考虑这些特性, 以更好地运用土壤螨来反映土壤环境的变化。Ruf et al. (2005) 对欧洲森林、草原和农田捕食性土壤螨进行调查研究表明捕食性螨的生活史指标 (如成熟度指数 MI)、稀有种的优势度与土壤机械组成和 pH 等土壤性质具有很好的相关性, 认为捕食性土壤螨是对土壤质量评价具有实际意义的评价终点 (endpoint)。刘漫萍等 (2007) 对上海城市绿化带 6 种典型环境土壤的研究结果表明, 城市绿化带土壤螨群落结构特征在很大程度上有别于自然土壤和农业土壤, 是一类新型生态系统, 除土壤螨密度和种类丰富度外, 甲螨亚目的无翼类、低等类和中气门亚目的种类丰富度和密度以及中气门亚目雌雄性比对环境变化敏感, 是较好的生物指标。

目前对草原土壤螨的生态指示研究还很少, 本研究以红松洼保护区草原土壤螨为研究对象, 设置固定研究样地进行围栏封育, 分析土壤螨群落结构和物种多样性特征对短期围栏封育的响应, 从而筛选出可用于草原生态系统土壤质量监测和评价的指标特征。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区自然概况

红松洼国家级自然保护区位于河北省围场满族蒙古族自治县的最北部, 地处内蒙古高原南缘与冀北山地交汇地带, 为不同自然地理区过渡带。地貌为高原台地, 海拔 1 600~1 800 m。土壤以山地草甸土和山地黑土为主, 成土母质为玄武岩风化的残坡积物。土壤理化性质: PH 6.14, 全氮 0.27%, 有效氮 239 mg·kg<sup>-1</sup>, 铵态氮 6.68 mg·kg<sup>-1</sup>, 硝态氮 24.9

mg·kg<sup>-1</sup>, 可溶性总氮 25.7 mg·kg<sup>-1</sup>, 全磷 0.136%, 有效磷 17.7 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 74 mg·kg<sup>-1</sup>。属中温型大陆季风气候, 春季短且多风, 夏季凉爽, 秋霜早, 冬季寒冷漫长。昼夜温差大, 无霜期 70~80 d, 积雪期长达 7 个月。年均降水量 450~500 mm, 多集中于 7—8 月, 属半干旱地区。植被以亚高山草甸为主, 中生杂草占优势。

### 1.2 样地设置与采样方法

在保护区蘑菇山试验区选择 1 个代表性地块作为围栏封育样地, 样地面积为 100 m×100 m, E117°38'58.88", N42°34'23.78"。2012 年 3 月设置水泥桩铁丝网进行围栏封育, 防止生畜干扰。围栏外试验区为自由放牧样地, 面积为 3 hm<sup>2</sup>, 周边有牦牛、绵羊和少量马等生畜, 均为全年自由放牧管理, 冬季雪大时补充储存的草饲喂, 放牧率约为 14.55 sheep·hm<sup>-2</sup>。植被以地榆 (*Sanguisorba officinalis* L.)-裂叶蒿 (*Artemisia tanacetifolia* L.) 杂草类草甸为主。

野外调查在 2013 年 7 月下旬, 时值保护区植物生长最旺季, 亦是土壤动物的发生高峰期。在围栏内封育样地, 四角和中心划分 5 个 10 m×10 m 的大样方, 每大样方内在四角和中心设 5 个 1 m×1 m 小样方, 每小样方采 1 个样点, 共 25 个样点。在围栏外自由放牧样地, 以围栏四边中点为起点, 向 4 个垂线方向分别做 5 个 1 m×1 m 小样方, 间距 10 m, 每方向的 5 个小样方作为 1 个大样方, 每小样方采 1 个样点, 共 20 个样点。在每样点, 用土壤动物定量采样器采 1 个面积 20 cm<sup>2</sup>、深 15 cm 的土柱, 分 3 层 (0~5、5~10 和 10~15 cm) 作为 3 个不同土壤层的样品装入自封袋, 带回实验室用于土壤螨分析。

### 1.3 土壤螨样品收集和鉴定

土壤螨标本采用改进的 Tullgren 干法从土壤样品中分离出来 (柯欣等, 2004), 显微镜进行鉴定和计数。螨类需制片, 无气门目体壁柔软, 清洗后直接制片, 隐气门目 (甲螨) 及中气门目需透明后再制片 (刘漫萍等, 2007)。制片采用 Hoyer 氏封固液, 借助工具书 (培克等, 1975; 尹文英, 1998; Gilyarov et al., 1975; Balogh, 1992; Osu, 2006) 和参考文献 (刘漫萍等, 1997; 刘漫萍等, 1998a; 刘漫萍等, 1998b) 进行分类鉴定。所有土壤螨 (蜱螨亚纲) 按 4 目分类系统分为无气门 (Astigmata)、前气门 (Prostigmata)、中气门 (Mesostigmata) 和隐气门目, 并鉴定到种或形态种水平 (Liu et al., 2013)。

### 1.4 群落结构和多样性指标测定

#### 1.4.1 群落结构

调查样地内出现的物种数、各种类密度和各种类占总密度的百分比。物种数为样地内出现的总种数, 密度为大样方密度的平均值并换算为每平方米

个体数。

#### 1.4.2 生物多样性

(1) 物种丰富度:  $S$

(2) Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ):

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

(3) 群落均匀度 Pielou 指数 ( $J'$ ):

$$J' = H' / \ln S \quad (2)$$

式中,  $S$  为大样方中出现的物种数;  $P_i$  为大样方中第  $i$  个种的个体数占总个体数的比例。

#### 1.4.3 物种数-样点数量关系

样地内物种数随样点数增加而累加的关系曲线。随样点数 ( $x$ ) 增加, 物种的累加数 [ $S(x)$ ] 符合“物种数-样点数量双曲线关系方程”(Soberón et al., 1993):

$$S(x) = a/b [1 - \exp(-bx)] \quad (3)$$

式中,  $a$  和  $b$  为特征参数,  $a/b$  代表双曲线的形状。

#### 1.4.4 中气门性比

中气门目及优势种的雄性与雌性个体数比值: 雄/雌。

### 1.5 统计分析

围栏内、外群落结构和多样性指数等比较用单因子方差分析; 土壤螨密度用双因子(围栏和土壤层)方差分析; 差异显著性用 Tukey HSD 检验。统计分析软件用 Statistica 第 7 版。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤螨种类组成、密度和优势度

围栏内、外土壤样品中土壤螨(蜱螨亚纲)共出现 46 个种, 无气门、前气门、中气门和隐气门(甲螨)目分别为 7、6、8 和 25 种, 其个体数密度分别占总密度的 5.5%、6.0%、28.2% 和 60.2%; 甲螨的原始类、无翼类和有翼类分别含 13、7 和 5 种, 其密度分别占总密度的 9.6%、33.5% 和 17.1%; 优势种为中气门的棘下盾螨 (*Hypoaspis queerlandicus*)、甲螨的微小奥甲螨 (*Microppia minus*) 和甲螨的微小甲螨属 1 种 (*Microppia* sp.), 分别占总密度的 17.8%、14.9% 和 10.4% (表 1)。

围栏内土壤螨出现 41 种, 比围栏外的 21 种多近 1 倍, 其中, 无气门、前气门、中气门和甲螨分别由围栏内的 6、6、7 和 22 种下降为围栏外的 3、2、3 和 13 种, 甲螨中的原始类、无翼类和有翼类的种数由 11、6 和 5 种分别降为 5、5 和 3 种(表 1)。土壤螨总密度(蜱螨亚纲)和各类群及物种的密度在围栏内、外均无显著性差异(表 1)。

### 2.2 密度垂直分布

前气门和中气门密度在不同土壤层显著性不

同。前气门在顶层土壤(0~5 cm)的密度分别比中层(5~10 cm)和底层(10~15 cm)高 8.9 和 2.8 倍, 中气门顶层分别比中层和底层高 2.9 和 13.1 倍(表 2, 图 1a、b)。优势种棘下盾螨在不同土壤层间亦出现了显著性差异, 但这个差异取决于围栏处理: 围栏内棘下盾螨在表土层密度比围栏外高 2.9 倍, 围栏内、外表土、中层、底层密度比分别为 44:8:1 和 3:3:1(表 2, 图 1c、d)。

### 2.3 多样性指数

围栏内的物种丰富度和多样性指数分别为 ( $14.40 \pm 0.51$ ) 和 ( $3.14 \pm 0.29$ ), 高于围栏外的 ( $11.50 \pm 2.36$ ) 种和 ( $2.81 \pm 0.27$ ), 但均匀性指数在围栏内 ( $0.82 \pm 0.07$ )、外 ( $0.84 \pm 0.05$ ) 接近。

### 2.4 物种数-样点数量关系

围栏内土壤螨物种数随样点数的增加而快速增加, 到第 25 个样点已累计达 41 个种且曲线有继续上升的趋势, 该关系曲线很好地拟合了“物种数-样点数量双曲线关系方程”, 其  $a/b$  值为 44(图 2)。围栏外则不同, 物种数起初亦随样点数增加而增加, 当样点增到 6 个时, 种数增至 18 种, 但之后种数随样点数增加的速度极为缓慢, 该关系曲线未能较好地拟合上述“双曲线关系方程”, 拟合效果明显较低, 其  $a/b$  值为 12(图 2)。

### 2.5 中气门雄性密度和性比

围栏内土壤螨中气门目和优势种棘下盾螨的雄性个体密度分别为 ( $220 \pm 71$ ) 和 ( $160 \pm 63$ ) 个/ $m^2$ , 比围栏外分别高 25.7% 和 6.7%, 而其雄性与雌性个体数之比则刚好相反, 围栏内分别为 ( $0.07 \pm 0.03$ ) 和 ( $0.06 \pm 0.03$ ), 分别比围栏外低 50% 和 30%(表 3)。

## 3 讨论

本研究中, 红松洼草原作为自然生态系统其土壤螨出现的种数偏低, 仅相当于华东区农田生态系统(Liu et al., 2013), 密度亦较低, 与其他高山草甸的小节肢类土壤动物密度相近(刘国华等, 2013; 肖红艳等, 2012), 可能是由于高原气候温度较低、无霜期短造成生境单调, 且自然环境较恶劣。捕食螨(中气门目)所占比例较大, 其密度近甲螨的 50%, 且 3 个优势种中, 捕食螨种占据第一位。在普通生态系统中, 捕食螨所占比例要比甲螨低得多(通常不到甲螨的 1/3), 且优势种大多是甲螨的种类(刘漫萍等, 2007; Liu et al., 2013)。捕食螨比例大, 说明研究区的生态环境受外界干扰较少, 保持了较自然的状态。围栏封育使土壤螨总种数比自由放牧大幅升高, 在土壤螨中, 无气门、前气门、中气门和甲螨以及甲螨中的原始类、无翼类和有翼类各类群的种数亦呈现围栏封育比自由放牧多的

表1 围栏内(封育)、外(放牧)土壤螨种类和密度(个体数/m<sup>2</sup>)及各种类个体数占总个体数百分比  
Table 1 Species and groups, their densities (ind./m<sup>2</sup>) and percentage of each species or group to total density of soil mites inside (enclosure) and outside (grazing) the fencing

种类 Species	围栏内 Inside	标准误 SE	围栏外 Outside	标准误 SE	百分比/ %	种类 Species	围栏内 Inside	标准误 SE	围栏外 Outside	标准误 SE	百分比/ %
螨亚纲 Acari	4 840	940	4 325	1 051	100	22. <i>Allonothrus</i> sp.	40	24	-	-	0.48
一、无气门目 Astigmata	220	102	300	191	5.54	23. <i>Archeogozetes</i> sp.	20	20	-	-	0.24
1. <i>Acarus siro</i> 粗脚粉螨	60	24	100	100	+1.69	24. <i>Epilohmannoides</i> sp.	140	75	50	29	+2.17
2. <i>Aleuroglyphus ovatus</i> 椭圆食粉螨	20	20	175	103	+1.93	25. <i>Epilohmannoides</i> sp.2	20	20	325	236	+3.37
3. <i>Histiostoma</i> sp. 薄口螨属 1 种	80	80	-	-	0.96	26. <i>Haplochthonius</i> sp.	20	20	-	-	0.24
4. <i>Pandalura</i> sp.	20	20	-	-	0.24	27. <i>Heterochth oniusgibbus</i>	20	20	-	-	0.24
5. <i>Tortonia</i> sp.	-	-	25	25	0.24	28. <i>Nothrus</i> sp.	20	20	-	-	0.24
6. <i>Tyrophagus putrescentiae</i> 腐食酪螨	20	20	-	-	0.24	29. <i>Nothrus bieiliatus</i> 双毛懒甲螨	60	40	-	-	0.72
7. <i>Tyrophagus</i> sp. 粉螨科 1 种	20	20	-	-	0.24	30. <i>Platynothrus</i> sp.	20	20	75	25	0.96
二、前气门目 Prostigmata	340	68	200	135	6.02	31. <i>Pseudocryptacarus</i> sp.	20	20	-	-	0.24
8. <i>Alicorhagiidae</i> sp. 无爪螨科 1 种	120	37	100	100	+2.41	32. <i>Rhysotritia ardua</i> 姬三皱甲螨	-	-	25	25	0.24
9. <i>Cheyletus malaccensis</i> 马六甲肉食螨	20	20	-	-	0.24	33. <i>Trhypochthonius</i> sp.	-	-	25	25	0.24
10. <i>Cheyletidae</i> sp. 肉食螨科 1 种	20	20	-	-	0.24	34. <i>Zeanothrus</i> sp.	20	20	-	-	0.24
11. <i>Eustigmaeus</i> sp. 真长须螨属 1 种	120	97	100	41	+2.41	无翼类 Gynmonota	1 940	1 007	1 050	377	33.5
12. <i>Mahunlania</i> sp. 麦氏螨属 1 种	40	40	-	-	0.48	35. <i>Hypogeoippia</i> sp.	40	40	-	-	0.48
13. <i>Scutacaridae</i> sp. 盾螨科 1 种	20	20	-	-	0.24	36. <i>Microppia minus</i> 微小奥甲螨	1 240	816	-	-	++14.9
三、中气门目 Mesostigmata	1 560	501	975	239	28.2	37. <i>Microppia</i> sp. 微奥甲螨属 1 种	280	97	725	317	++10.4
14. <i>Asca</i> sp. 囊螨属 1 种	20	20	-	-	0.24	38. <i>Oppiella nova</i> 新小奥甲螨	60	60	75	48	+1.45
15. <i>Cheiroseius nepalensis</i> 尼泊尔手绥螨	20	20	-	-	0.24	39. <i>Oppia</i> sp 奥甲螨属 1 种	300	138	125	48	+4.82
16. <i>Cheiroseius</i> sp. 手绥螨属 1 种	20	20	-	-	0.24	40. <i>Suctobelbella</i> sp.	-	-	25	25	0.24
17. <i>Dendrolaelaps</i> sp. 枝厉螨属 1 种	180	66	375	165	+5.78	41. <i>Tectocephus velatus</i> 覆盖头甲螨	20	20	100	41	+1.21
18. <i>Gamasellus</i> sp. 小革螨属 1 种	180	92	-	-	2.17	有翼类 Poronata	380	124	1 300	258	17.1
19. <i>Heatherella</i> sp.	-	-	75	75	0.72	42. <i>Anachipteria</i> sp.	100	77	525	85	+6.27
20. <i>Hypoaspis queerlandicus</i> 棘下盾螨	1 060	401	525	202	++17.8	43. <i>Heminothrus</i> sp.	20	20	-	-	0.24
21. <i>Neparholaspis</i> sp. 新派盾螨属 1 种	80	80	-	-	0.96	44. <i>Schelorbates latipes</i> 棒菌甲螨	20	20	-	-	0.24
四、隐气门目 Oribatida	2 720	1 033	2 850	665	60.2	45. <i>Trichogalumna nipponica</i> 日本毛大翼甲螨	100	63	125	95	+2.41
原始类 Macropylina	400	32	500	265	9.64	46. <i>Xylobates</i> sp. 木单翼甲螨属	140	93	650	312	+7.95

++优势种: 密度占总密度百分比>10%, +常见种: 1% <密度占总密度百分比<10%

++Dominant species: density percentage to total density > 10%, + common species: 1% < density percentage to total density < 10%

样品重复数(样品量) n=25(25)(围栏内)、24(24)(围栏外), 下同

Replicate (sample) number n=25 (25) (inside) and 24 (24) (outside the fencing), the same below

特点。这说明土壤螨物种丰度对地表植被的啃食和恢复变化敏感, 土壤螨总种数及各类群种数可作为土壤环境评价和监测指标特征。但土壤螨密度在围栏内外总体上无显著性差异。以往的研究表明放牧降低土壤动物的类群数, 但对土壤动物密度的影响则表现为轻牧区或中牧区密度不变或上升, 而重牧区下降(刘任涛等, 2010; 刘国华等, 2013; Parfitt

et al., 2010; 肖红艳等, 2012; 刘新民等, 1994; 殷秀琴等, 1997)。这些研究在“放牧降低土壤动物的类群数”上与本研究结果一致, 在密度结果上可能说明本研究区属于轻牧区或中牧区。在草原地区, 植物群落不仅可为土壤动物提供充足的食物来源, 满足其生长发育需要, 还能为土壤动物提供适宜的栖息环境, 而放牧活动减少植被地上牧草生物

表2 土壤螨4目和3优势种密度的围栏处理与土壤层双因子方差分析

Table 2 Two-way ANOVA of the Fencing and soil Layer for the 4 orders and 3 dominant species of soil mites

土壤螨 Soil mites	围栏	土壤层	围栏×土壤层
	Fencing	Layer	Fencing × Layer
	$F_{1,21}$	$F_{2,21}$	$F_{2,21}$
无气门目 Astigmata	0.18	1.22	1.39
前气门目 Prostigmata	0.89	4.86*	0.01
中气门目 Mesostigmata	1.23	9.52**	1.39
隐气门目 Oribatida	0.02	0.27	0.25
棘下盾螨 <i>Hypoaspis queerlandicus</i>	1.77	5.03*	3.17*
微小奥甲螨 <i>Micropoppia minus</i>	3.26	0.33	0.33
微奥甲螨属一种 <i>Micropoppia</i> sp.	3.26	1.82	0.21

\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$

量,使放牧草地中的土壤有机质年积累量处于较低状态,对土壤动物造成了影响(刘国华等,2013; Battigelli et al., 2003)。但另一方面,放牧会产生牛粪堆积,导致土壤有机质和含水率增加,从而使土壤动物某些种类密度增加(肖红艳等,2012)。

“物种数-样点数量双曲线关系方程”是用于推测自然环境区域或生态系统某生物类群可能具有的种数的模型(Soberón et al., 1993),在推测植物(Williams et al., 2007)、鸟类和昆虫(Dorazio et al., 2006)种类中都有所应用,但以蝴蝶等昆虫的准确性最高,推测的种类数与实际存在的种类数

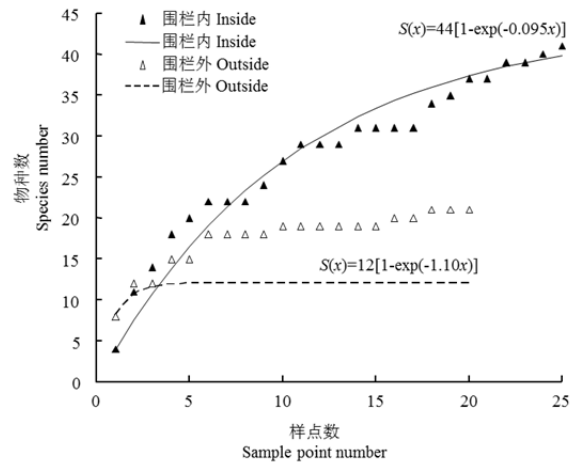
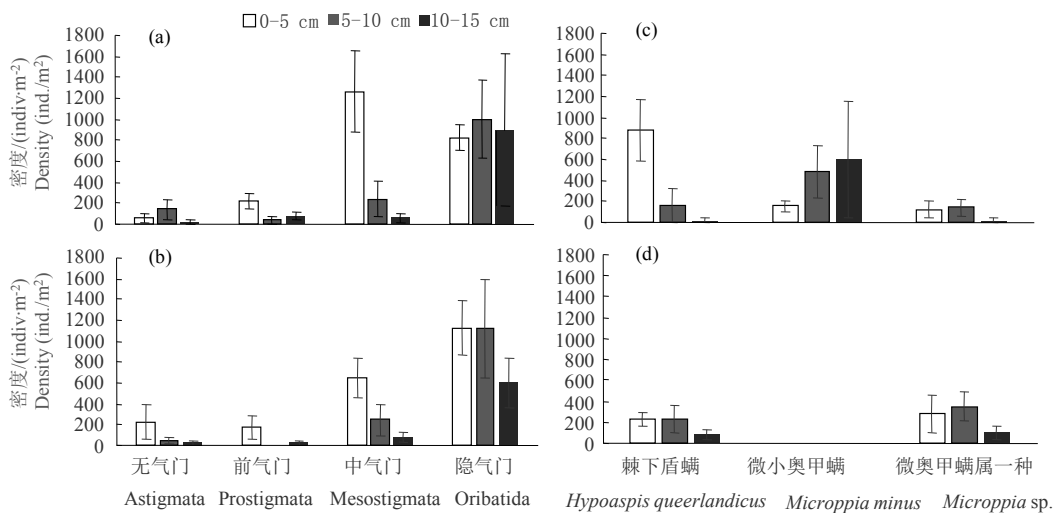


图2 围栏内(封育)、外(放牧)土壤螨物种数-样点数量关系曲线(散点图)及其“物种数-样点数量双曲线关系方程”拟合曲线(线性图)  
Fig. 2 Accumulative curves of species number - sample point number of soil mites (scatter diagrams) and their fit curves (linear diagrams) with the “species number-sample point number function” inside (enclosure) and outside (grazing) the fencing

几乎相等(Dorazio et al., 2006)。但该模型只适用于自然状态生态系统,而对于受干扰的生态系统,偏差较大。因此,本研究采用这一模型,将围栏内、外分别作为自然状态和受干扰生态系统,通过比较“物种数-样点数量关系曲线”与该模型的拟合度及



样品重复数(样品量)  $n=25$  (75)(围栏内)和  $24$  (72)(围栏外),下同

Replicate (sample) number  $n=25$  (75) (inside) and  $24$  (72) (outside) the fencing, the same below

图1 土壤螨4个目在围栏内(a)、外(b)和3个优势种在围栏内(c)、外(d)及3个不同土壤层的密度

Fig. 1 Soil mite density of the 4 orders inside (a) and outside (b) and density of the 3 dominant species inside (c) and outside (d) the fencing and in the 3 different soil layers

表3 围栏内外土壤螨中气门目及中气门目2优势种的雄性个体数密度和雄性/雌性比

Table 3 Male density and male to female sex ratio of Mesostigmata and 2 dominant species in Mesostigmata of soil mites inside and outside the fencing

土壤螨 Soil mites	雄性密度(个体数/m <sup>2</sup> ) Male density (ind./m <sup>2</sup> )				雄性/雌性比 Male to female ratio			
	围栏 Inside	标准误 SE	放牧 Outside	标准误 SE	围栏 Inside	标准误 SE	放牧 Outside	标准误 SE
中气门目 Mesostigmata	220	71	175	104	0.07	0.03	0.14	0.08
棘下盾螨 <i>Hypoaspis queerlandicus</i>	160	63	150	103	0.06	0.03	0.14	0.08
枝厉螨属1种 <i>Dendrolaelaps</i> sp.	20	20	25	25	0.02	0.02	0.01	0.01

物种数量增加的趋势, 判别围栏外受干扰的状况。模型中, 代表双曲线形状的“ $a/b$ ”常数是反映该拟合度及物种增加趋势的 1 个主要参数。本研究结果表明, 围栏内“物种数-样点数量关系曲线”比围栏外更具物种继续增加趋势, 且围栏内该关系曲线与上述模型“物种数-样点数量关系双曲线方程”拟合度远较围栏外高, 说明围栏内更接近自然生态系统, 而围栏外受较大干扰。因而, 土壤螨“物种数-样点数量关系曲线”可用于评价土壤生态系统受干扰的状况。

前气门和中气门的垂直分布总体与在普通生态系统中相似, 呈表聚性, 但甲螨和无气门目未呈表聚性, 这与它们在其他生态系统中通常呈典型表聚性不同。优势种棘下盾螨的垂直分布在围栏内、外出现了显著性差异, 其在围栏内呈典型表聚性垂直分布, 表土层中的密度为中层的 5.5 倍; 而在围栏外, 表土层中的密度显著下降, 与中层的几乎相等, 不呈表聚性; 围栏内表土层中的密度显著高于围栏外。因此, 棘下盾螨密度的垂直分布对地表植被的啃食和恢复变化敏感, 可作为评价和监测指标特征。土壤螨表聚性的呈现通常是因为植物凋落物和根分泌物使得土壤表层含有较丰富的有机物和有机物分解真菌, 为以凋落物碎屑和真菌为食物的土壤螨和其他无脊椎土壤动物提供了食物和栖息地, 同时, 也为取食这些土壤螨或其他土壤动物的捕食性土壤螨提供了丰富的食物(刘漫萍等, 2007; Liu et al., 2013; Bedano et al., 2007)。棘下盾螨是一种捕食性螨, 对环境变化敏感, 在未受干扰的生态系统中, 如在围栏内, 通常与其食物源一致呈表聚性垂直分布(刘漫萍等, 2007; Bedano et al., 2007), 而在围栏外, 由于地表环境被啃食, 棘下盾螨的食物源和生境均会受到不利影响, 使种群个体向下方土内移动, 导致表土层密度下降, 表聚性消失。

雄/雌性比例特征主要用于中气门目, 该目大多为捕食性种类, 个体较大, 很多种类可区分出雌雄性。以往研究表明, 雄性个体通常对环境变化较为敏感, 因此, 雄性密度及雄/雌性比例常作为评价指标特征(刘漫萍等, 2007; Liu et al., 2013)。本研究中, 围栏内土壤螨中气门目和棘下盾螨的雄性个体密度高于围栏外, 说明中气门和棘下盾螨的雄性个体密度对地表植被变化敏感, 可作为评价指标特征。但雄/雌性比例没有表现为围栏内高于围栏外, 可能是对于该地区的这类干扰类型雌雄性的敏感性是相似的。

在群落多样性指数上, 物种丰富度和香农多样性指数亦是围栏内高于围栏外, 与土壤螨总种数的

结果基本一致, 但均匀性指数变化不大, 说明物种丰富度和香农多样性指数较均匀性指数敏感。

#### 4 结论

围栏封育 2 年, 红松洼草原土壤螨群落结构和多样性特征对地表植物的放牧啃食和恢复变化具有不同的敏感性响应, 可用于草原生态系统退化和恢复状况的评价与监测: (1) 物种多样性最为敏感, 包括土壤螨总种数, 土壤螨中的无气门、前气门、中气门和甲螨, 以及甲螨中的原始类、无翼类和有翼类各类群; (2) “物种数-样点数量关系曲线”及“ $a/b$ ”常数可很好地反映过度放牧的影响; (3) 棘下盾螨是当地的优势物种, 其在表土层的密度及密度的垂直分布对过度放牧的影响亦较为敏感; (4) 捕食螨雄性个体密度对过度放牧有一定的响应, 亦可作为评价指标特征。同时, 通过本研究, 基本摸清了红松洼草原土壤螨种类组成, 为该地区进一步开展有关土壤螨的工作奠定了基础。

#### 参考文献:

- BALOGH B. 1992. Keys to Genera of the Brachypylinae Oribatid Mites of North America [M]. New York: Elsevier: 21-41.
- BATTIGELLI J P, MCINTYRE G S, BROERSMA K, et al. 2003. Impact of cattle grazing on prostigmatid mite densities in grassland soils of southern interior British Columbia [J]. Canadian Journal of Soil Science, 83(5): 533-535.
- BEDANO J C, RUF A. 2007. Soil predatory mite communities (Acari: Gamasina) in agroecosystems of Central Argentina [J]. Applied Soil Ecology, 36(1): 22-31.
- BEYER S, KINNEAR A, HUTLEY L B, et al. 2011. Assessing the relationship between fire and grazing on soil characteristics and mite communities in a semi-arid savanna of northern Australia [J]. Pedobiologia, 54(3): 195-200.
- DORAZIO R M, ROYLE J A, SODERSTROM B, et al. 2006. Estimating species richness and accumulation by modeling species occurrence and detectability [J]. Ecology, 87(4): 842-854.
- GILYAROV M C, KRIVOLUTSKII D A. 1975. A Key to the Soil-Inhabiting Mites Sarcopitiformes [M]. Moscow: USSR Academy of Sciences.
- GOLODETS C, KIGEL J, STERNBERG M. 2010. Recovery of plant species composition and ecosystem function after cessation of grazing in a Mediterranean grassland [J]. Plant and Soil, 329(2): 365-378.
- LIU M, YU X, PING L, et al. 2013. Community structure of mites in PAH-contaminated field soils in Eastern China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 22(4): 675-684.
- OSU. 2006. Soil Acarology [M]. Ohio State: Ohio State University.
- PARFITT R L, YEATES G W, ROSS D J, et al. 2010. Effect of fertilizer, herbicide and grazing management of pastures on plant and soil communities [J]. Applied Soil Ecology, 45(3): 175-186.
- RUF A, BECK L, DREHER P, et al. 2003. A biological classification concept for the assessment of soil quality: “biological soil classification scheme” (BBSK) [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 98(1-3): 263-271.
- RUF A, BECK L. 2005. The use of predatory soil mites in ecological soil classification and assessment concepts, with perspectives for oribatidmites [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 62(2): 290-299.
- SMITH H A, MCSORLEY R. 2002. Effect of short-term cattle grazing on soil arthropod communities in a southern Florida pasture [J]. Soil and Crop Sci Soc of Florida Proceedings, 61: 33-36.
- SOBERON J M, LLORENTE J B. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness [J]. Conservation

- Biology, 7(3): 480-488.
- WHITFORD W G, STEINBERGER Y. 2012. Effects of seasonal grazing, drought, fire, and carbon enrichment on soil microarthropods in a desert grassland [J]. *Journal of arid environments*, 83: 10-14.
- WILLIAMS V L, WITKOWSKI E T F, BALKWILL K. 2007. The use of incidence-based species richness estimators, species accumulation curves and similarity measures to appraise ethnobotanical inventories from South Africa [J]. *Biodiversity and Conservation*, 16(9): 2495-2513.
- 曹成有, 邵建飞, 蒋德明, 等. 2011. 围栏封育对重度退化草地土壤养分和生物活性的影响[J]. *东北大学学报: 自然科学版*, 32(3): 427-451.
- 柯欣, 梁文举, 宇万太, 等. 2004. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤小节肢动物群落结构研究[J]. *应用生态学报*, 15(4): 600-604.
- 李连方, 王培, 王警龙, 等. 1999. 红松洼草地自然保护区种子植物区系的研究[J]. *中国草地*, (5): 35-41.
- 李中林, 秦卫华, 周守标, 等. 2015. 短期围栏封育对红松洼自然保护区群落数量特征的影响[J]. *草地学报*, 23 (1): 21-26.
- 刘国华, 沈果, 王振龙, 等. 2013. 放牧对锡林郭勒草原植被生物量和土壤动物群落的影响[J]. *中国草地学报*, 35(3): 72-76.
- 刘漫萍, 匡海源. 1997. 瘦螞亚科二新种记述(蜱螨亚纲: 瘦螞科)[J]. *昆虫学报*, 40(3): 317-319.
- 刘漫萍, 匡海源. 1998a. 叶刺瘦螞亚科四新种记述(蜱螨亚纲: 瘦螞科)[J]. *动物分类学报*, 23(2): 152-157.
- 刘漫萍, 匡海源. 1998b. 羽爪瘦螞科三新种记述(蜱螨亚纲: 瘦螞总科)[J]. *动物分类学报*, 23(1): 25-29.
- 刘漫萍, 刘武惠, 崔志兴, 等. 2007. 上海城市绿化带土壤蜱螨目群落结构与生物指标[J]. *生态学杂志*, 26(10): 1555-1562.
- 刘任涛, 赵哈林, 赵学勇. 2010. 放牧后自然恢复沙质草地土壤节肢动物群落结构与多样性[J]. *应用生态学报*, 21 (11): 2849-2855.
- 刘新民, 乾德门, 乌宁, 等. 1994. 不同牧压梯度上草原土壤动物多样性的初步分析[J]. *内蒙古教育学院学报*, (4): 1-6.
- 培克 E W, 卡明 J H. 1975. 蜱螨分科检索[M]. 上海: 上海人民出版社: 35-36, 70.
- 肖红艳, 刘红, 李波, 等. 2012. 放牧干扰对亚高山草甸土壤动物群落影响的研究[J]. *草业学报*, 21(2): 26-33.
- 殷秀琴, 仲伟彦. 1997. 羊草草地不同放牧强度下土壤动物的研究[J]. *草业学报*, 6(4): 72-76.
- 尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社: 165-242.
- 郑翠玲, 曹子龙, 王贤, 等. 2005. 围栏封育在呼伦贝尔沙化草地植被恢复中的作用[J]. *中国水土保持科学*, 3(3): 78-81.
- 邹声文. 2002. 我国天然草原90%在退化[J]. *草业科学*, 19(4): 76.

## Soil Mite Community Structure in Response to Short-Term Grazing Exclusion and Characteristics as Indicators of Environmental Quality in Hongsongwa Natural Reserve

LIU Manping<sup>1</sup>, QIN Weihua<sup>2\*</sup>, LI Zhonglin<sup>2</sup>, WANG Yunjing<sup>3</sup>, HUANG Jianbo<sup>4</sup>, KE Xin<sup>4\*</sup>

1. Natural History Research Center, Shanghai Natural History Museum, Shanghai Science & Technology Museum, Shanghai 200127, China;

2. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China;

3. Hongsongwa National Reserve, Chengde 068450, China;

4. Institute of Plant Physiology and Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China

**Abstract:** Soil mites are one of the most dominant and diverse soil mesofauna groups in prairie ecosystems and therefore soil mite diversity and community structure at the species level should be fully considered in assessment and monitoring of the soil environment. An experiment was conducted to determine the response of the soil mite community structure and species diversity characteristics to short-term grazing exclusion in Hongsongwa Natural Reserve by comparing the communities inside and outside the exclusion fence, and their characteristics as bioindicators. Both the excluded area and the surrounding area with continuous grazing area were studied with the quadrat method. The results showed that the total species number of soil mites inside the fence (41 species) exceeded that outside the fence (21 species) by ca. 50%, and the accumulative curves of "species number vs. sample point number" indicated that the mite species number continuously increased with increasing number of sample points inside the fence, but this was not the case with grazing; the density of the dominant species *Hypoaspis queerlandicus* in the soil surface layer (0~5 cm) inside the fence exceeded that outside the fence by 2.9 times, and the density ratios of surface/middle (5~10 cm)/bottom (10~15 cm) layer were 44:8:1 and 3:3:1 respectively for inside and outside the fence. These selected bioindicators were the most sensitive to absence of grazing. Shannon-Wiener diversity index and densities of male Mesostigmata were also higher in the exclusions; total density and densities of groups and species, and male to female ratios of Mesostigmata responded to the grazing exclusion, but their sensitivity was less than the above characteristics. During the two years of exclusion, the bioindicator characteristics of soil mite community diversity showed different levels of sensitivity, suggesting that they could be used for assessment or evaluation of soil quality of prairie ecosystem. The present study reports on soil mite species and their composition in the Hongsongwa Natural Reserve, laying the foundation for further scientific research and methodological studies.

**Key words:** soil animal; grazing exclusion; prairie ecosystem; biological indicator; environmental monitoring