

# 荒漠草原地面节肢动物功能群对草地封育的响应\*

刘任涛\*\* 李学斌 辛明 马琳 刘凯

(宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021)

**摘要** 以宁夏盐池国家级草原资源生态监测站为依托,选择荒漠草原典型植被类型的封育与未封育样地调查了地面节肢动物、植被及土壤特征,同时根据动物食性对节肢动物功能群进行了划分.结果表明:荒漠草原地面节肢动物可划分为捕食性、植食性、腐食性和杂食性4种营养功能群.其中,植食性和捕食性节肢动物在数量上占优势,植食性和腐食性节肢动物生物量所占比例较大,表明荒漠草原地面节肢动物区系以植食性动物分布为其主要特征.围栏封育增加了捕食性、植食性和杂食性节肢动物个体数量和类群数,增加了捕食性和杂食性节肢动物的生物量,提高了捕食性和植食性节肢动物的物种多样性,这与植被恢复和土壤环境改善密切相关,说明荒漠草原围栏封育增加了地面节肢动物功能群的多样性和复杂性.但是围栏封育后,腐食性节肢动物个体数量减少,生物量降低,反映了腐食性节肢动物对放牧草地生境的依赖性.

**关键词** 荒漠草原 地面节肢动物 功能群 封育 放牧

**文章编号** 1001-9332(2011)08-2153-07 **中图分类号** S154.5 **文献标识码** A

**Responses of ground arthropod functional groups to the enclosure of grazing grassland in desert steppe.** LIU Ren-tao, LI Xue-bin, XIN Ming, MA Lin, LIU Kai (*Ministry of Education Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(8): 2153-2159.

**Abstract:** With the support of the National Resources Monitoring Station in Yanchi County of Ningxia, an investigation was conducted on the ground arthropods, vegetations, and soil properties in the enclosed and un-enclosed grazing grassland in desert steppe. In the meantime, the functional groups of ground arthropods were classified according to their feeding habits. The ground arthropods in the desert steppe could be classified into four functional groups, *i. e.*, predatory, phytophagous, saprophagous, and omnivorous, among which, predatory and phytophagous groups were dominant in quantity, and phytophagous and saprophagous groups were predominant in biomass, implying that the ground arthropod in desert steppe was mainly characterized by phytophagous arthropods. Enclosure increased the individual and group number of predatory, phytophagous, and omnivorous arthropods as well as the biomass of predatory and omnivorous arthropods, and enhanced the biodiversity of predatory and phytophagous arthropods, which was closely correlated with the vegetation recovery and soil environment improvement, and demonstrated that the enclosure of grazing grassland increased the diversity and complexity of ground arthropod functional groups in desert steppe. Nevertheless, the individual number and biomass of saprophagous arthropods decreased after the enclosure, reflecting the dependence of these arthropods on grazing grassland.

**Key words:** desert steppe; ground arthropod; functional group; enclosure; grazing.

地面节肢动物是荒漠草原生态系统的重要组成部分之一,在维持荒漠草原生态系统的生态服务功能、生物多样性和食物网络结构等方面起着十分关键的作用

用<sup>[1-2]</sup>,并且对环境变化敏感<sup>[3-4]</sup>.利用地面节肢动物功能群可以大大简化荒漠草原生态系统的食物网及其营养动力学过程研究,有利于对生物群落中发挥关键作用的功能群及其主要种类的选择<sup>[5-6]</sup>,所以,开展荒漠草原生态系统恢复过程中地面节肢动物功能群研究,对于深入理解生态系统结构及其功

\* 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421303)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: nmcasnw@126.com

2011-01-04 收稿,2011-04-22 接受.

能变化具有重要的科学意义<sup>[1-4]</sup>.

目前,国内外对土壤节肢动物功能群的研究主要集中于森林<sup>[7]</sup>、草地<sup>[8]</sup>、农田<sup>[9]</sup>、农林<sup>[10]</sup>、荒漠<sup>[4,11]</sup>、城市<sup>[12]</sup>生态系统以及微生态系统(microcosms)<sup>[13]</sup>和中型生态系统(mesocosms)<sup>[14]</sup>模拟试验中,内容涉及小型、中型和大型节肢动物.研究表明,不同节肢动物功能群及其与微生物的相互作用均在生态系统土壤形成过程中扮演着重要的角色,直接影响土壤营养的矿化,进而影响土壤营养的获取和植物的生长<sup>[13-14]</sup>.但是,对于荒漠草原地面节肢动物功能群的研究比较少.在中国宁夏中北部典型荒漠草原,通过实施严格的禁牧封育等措施,封育区内草原荒漠化得到了有效遏制,草原植被得到了显著恢复<sup>[15-16]</sup>,生态环境逐步走向良性发展的轨道.以地面节肢动物功能群为研究对象分析该区草地恢复过程中地面节肢动物群落结构变化,对于深入理解荒漠草原生态系统恢复过程及其功能变化具有重要作用.

鉴于此,本文以宁夏盐池县国家级草原资源生态监测站为依托,通过调查对比封育围栏内外地面节肢动物功能群数量结构、多样性及生物量变化,并分析其与土壤及植被特征间的关系,旨在探讨荒漠草原采取封育措施后植被恢复对地面节肢动物功能群的影响,以及地面节肢动物功能群对封育的响应特征,为该区荒漠草原生态系统结构与功能研究提供土壤动物学依据.

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县境内东南部(37°05'—38°10' N, 106°33'—107°47' E). 该区属于中温带半干旱区,年平均气温 3.5 °C,最热月(7月)平均气温 22.4 °C,最冷月(1月)平均气温 -8.7 °C, ≥10 °C 的年积温 2751.7 °C. 年降水量为 280 mm,主要集中在 7—9 月,占全年降水量的 60% 以上,且年际变率大. 年蒸发量 2710 mm,年无霜期为 120 d. 年平均风速 2.8 m·s<sup>-1</sup>,冬春风沙天气较多,每年 5 m·s<sup>-1</sup> 以上的扬沙达 323 次. 本区属鄂尔多斯台地向黄土高原过渡地带,地势南高北低. 地带性土壤主要有黄绵土与灰钙土(淡灰钙土);非地带性土壤主要有风沙土、盐碱土和草甸土等,其中风沙土在中北部分布广泛. 土壤质地多为轻壤土、沙壤土和沙土,结构松散,肥力较低.

该区植被类型有灌丛、草原、草甸、沙地植被和

荒漠植被<sup>[15-16]</sup>,其中灌丛、草原、沙地植被数量较大,分布广泛. 典型灌木林有北沙柳灌丛(*Salix psammophila*)和小叶锦鸡儿灌丛(*Caragana microphylla*)等. 草原分干草原和荒漠草原,主要植被类型有大针茅(*Stipa grandis*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、冰草(*Agropyron crisatum*)、川青锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)和盐爪爪(*Kalidiu foliatum*)等.

### 1.2 研究方法

在宁夏盐池县国家级草原资源生态监测站附近,选择典型冰草植被类型荒漠草原观测场为试验地. 宁夏盐池县自 2006 年以来在全县建立围栏用于荒漠植被恢复,但还是经常受到一些人为干扰和放牧的影响,实际调查中可以发现大量的家畜排泄物. 为此,同年在围栏内用刺线铁丝网建立观测封育样地,以便完全排除野生动物和家畜的采食,从而进行恢复试验定量观测.

在观测试验场,随机建立 3 个 100 m×100 m 的试验区,采样区间距 500 m 左右. 在每个试验区,选择刺线围栏封育草地(WN)和围栏外未封育草地(WW)为研究样地,采用陷阱诱捕法采集土壤动物. 分别在每个研究样地随机选择 5 个采样点布设陷阱收集器,共布设 10 个收集器,3 个采样区共计 30 个收集器. 具体方法为:在每个采样点,将塑料小桶(上表面直径 25 cm,下表面直径 17 cm,高 22 cm)埋入土中,桶口与地面齐平,同时在其内加入浓度为 3% 的福尔马林溶液和少量甘油,增加诱捕的有效性. 为了防止沙蜥等大型动物落入桶中,在桶口上覆盖网孔为 2 cm 的金属网.

收集器于 2010 年 9 月布设,在 9 月 15 日和 10 月 1 日各采样 1 次,每次布设陷阱的持续时间均为 14 d<sup>[17]</sup>,将收集到的动物标本带回实验室进行鉴定统计. 同时,在每个采样点附近用土钻取 30 cm 深度的混合土样,带回实验室采用烘干称量法(105 °C, 24 h)测定土壤含水量(%);用环刀取相同土层的土样,采用体积法进行土壤容重测定. 另外,在每个研究样地随机设置 1 m×1 m 的样方 5 个,调查植被特征,包括物种数、个体数和盖度等指标,同时收集样方内植物地上部分带回实验室称取生物量.

### 1.3 标本鉴定与数据分析

动物标本分类鉴定主要依据《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[18]</sup>、《昆虫分类》<sup>[19]</sup>和《宁夏贺兰山昆虫》<sup>[20]</sup>等,其中对拟步甲科动物的鉴定主要依据《中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫》<sup>[21]</sup>等. 在本研究中,

大多数土壤动物样品鉴定到科,拟步甲科和蚁科动物鉴定到属.将已鉴定出的地面节肢动物样品用万分之一的微量天平称量湿质量.将9月与10月采集的动物数据合并(10月是9月数据的补充),进行数据统计.

依据有关文献将收集到的地面节肢动物依据取食类型不同划分为植食性(Ph)、捕食性(Pr)、腐食性(Sa)和杂食性(Om)4个营养功能群<sup>[18-23]</sup>.由于幼虫和成虫在土壤中的作用不同,因此分开统计.其中,功能群多样性采用以下几个参数来描述,包括个体数、类群数、Shannon多样性指数( $H'$ )、Pielou均匀度指数( $E$ ),计算公式如下:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, S)$$

$$E = H' / \ln S$$

式中: $S$ 为动物类群数; $P_i$ 为第*i*类群节肢动物的相对多度(即该节肢动物类群个体数占群落总个体数的比例).

所有数据采用SPSS 15.0软件进行统计分析.采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和非参数检验比较不同处理数据组间的差异.采取回归分析和Pearson相关系数分析动物群落与环境间的关系.

## 2 结果与分析

### 2.1 封育围栏内外环境特征

从表1可以看出,经过5年封育后,封育围栏内外植物个体数、高度、盖度和生物量差异显著( $P < 0.05$ ),但土壤含水量及土壤容重均无显著差异( $P > 0.05$ ).封育围栏内植物个体数和盖度是围栏外的3倍左右,而植物高度则是围栏外的6倍左右,植物生物量约是围栏外的7倍.虽然5年封育对土壤含水量和容重影响较小,但在封育5年后土壤含水量有所升高,土壤容重也开始下降.

### 2.2 封育围栏内外节肢动物功能群密度和类群数

本研究中,围栏内外地面节肢动物可划分为4种不同营养功能群:捕食性、植食性、腐食性和杂食

性(表2),其个体数分别占总个体数的28.3%、46.0%、18.6%和7.1%,其类群数分别占总类群数的35.7%、50.0%、10.7%和3.6%.在围栏外,节肢动物平均个体数量和类群数均表现为植食性>捕食性>腐食性>杂食性;植食性显著高于腐食性和杂食性( $P < 0.05$ ),而捕食性居中.在围栏内,节肢动物平均个体数量表现为植食性>捕食性>杂食性>腐食性,节肢动物平均类群数表现为植食性>捕食性>腐食性>杂食性;节肢动物个体数量和类群数均表现为植食性显著高于腐食性和杂食性( $P < 0.05$ ),而捕食性居中(图1).

围栏封育对4种功能群的个体数量和类群数均没有产生显著影响( $P > 0.05$ ),但在围栏内外仍表现

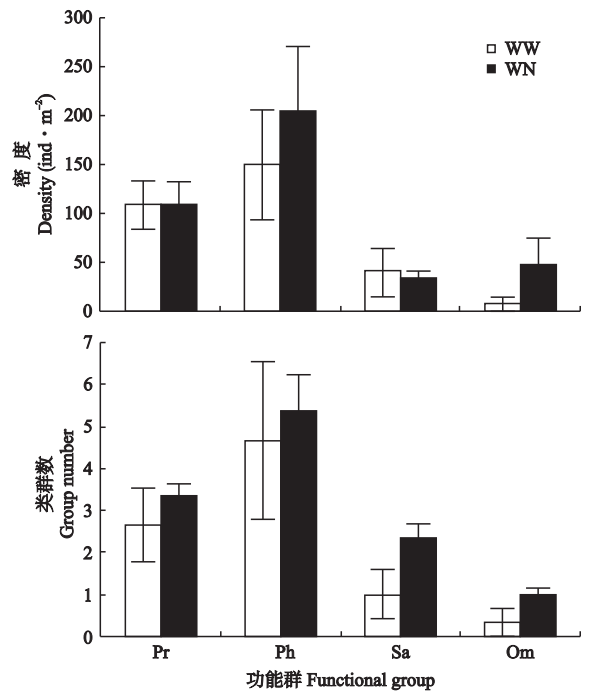


图1 节肢动物功能群密度和类群数

Fig. 1 Density and group richness of arthropod functional groups.

Ph:植食性 Phytophagous group; Pr:捕食性 Predatory group; Sa:腐食性 Saprophagous group; Om:杂食性 Omnivorous group. WW:放牧草地 Grazing grassland; WN:封育草地 Enclosed grassland. 下同 The same below.

表1 封育围栏内外环境特征变化

Table 1 Comparison on environmental parameters between enclosed and un-enclosed grazing grassland

处理 Treatment	植被特征 Vegetation characteristics				土壤性质 Soil property	
	密度 Density (ind · m <sup>-2</sup> )	高度 Height (cm)	盖度 Coverage (%)	生物量 Biomass (g · m <sup>-2</sup> )	土壤水分 Soil moisture (g · g <sup>-1</sup> )	土壤容重 Bulk density (g · cm <sup>-3</sup> )
放牧 Grazing	38.33±3.76b	5.57±0.22b	11.00±2.08b	54.00±3.46b	0.37±0.02a	1.53±0.03a
封育 Enclosure	112.33±15.60a	29.33±2.78a	41.67±3.33a	369.94±66.90a	0.50±0.04a	1.47±0.01a

同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

表2 地面节肢动物的功能群划分

Table 2 Classification of functional groups of ground arthropod

功能群 Functional group	目 Order	科/属/种 Family/Genus/Species			
Ph	半翅目 Hemiptera	红椿科 Pyrrhocoridae			
		直翅目 Orthoptera	剑角蝗科(中华蚱蜢) Acrididae ( <i>Acrida cinerea</i> )		
	同翅目 Homoptera	网翅蝗科 Arcypteridae			
		叶蝉科 Cicadellidae			
		鞘翅目 Coleoptera	吉丁甲科 Buprestidae		
		象甲科 Curculionidae			
		天牛科 Cerambycidae			
		芫菁科幼虫 Meloidae larval			
		拟步甲科(琵琶甲属) Tenebrionidae ( <i>Blaps</i> )			
		膜翅目 Hymenoptera	针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i>		
		鳞翅目 Lepidoptera	隧蜂科 Halictidae		
			胡蜂科 Vespidae		
	夜蛾科幼虫 Noctuidae larval				
	卷蛾科幼虫 Leucitridae larval				
	Pr		蜘蛛目 Araneae	光盗蛛科 Liocranidae	
				蟹蛛科 Thomisidae	
				平腹蛛科 Gnaphosidae	
				跳蛛科 Salticidae	
				狼蛛科 Lycosidae	
				鞘翅目 Coleoptera	步甲科 Carabidae
双翅目 Diptera		食虫虻科 Asilidae			
Sa		鞘翅目 Coleoptera		食蚜蝇科 Syrphidae	
				膜翅目 Hymenoptera	掘穴蚁 <i>Formica linnaeus</i>
				泥蜂科 Sphecidae	
	金龟科(蛴螬属) Scarabaeidae ( <i>Catharsius</i> )				
	埋葬甲科 Silphidae Latreille				
	双翅目 Diptera		蝇科 Muscidae		
	Om		鞘翅目 Coleoptera	拟步甲科(东鳖甲属) Tenebrionidae ( <i>Anatolica</i> )	

Ph: 植食性 Phytophagous group; Pr: 捕食性 Predatory group; Sa: 腐食性 Saprophagous group; Om: 杂食性 Omnivorous group. 下同 The same below.

动物和杂食性动物个体数均为围栏内高于围栏外,而捕食性动物个体数围栏内外节肢动物个体数量无差异,腐食性动物个体数围栏内低于围栏外.对于类群数来说,4种营养功能群的节肢动物类群数均表现为围栏内高于围栏外.

### 2.3 封育围栏内外节肢动物功能群生物量

总体来看,捕食性、植食性、腐食性和杂食性等4种营养功能群的生物量分别占总生物量的3.3%、43.1%、40.3%和13.3%.其中,对于同一样地来说,在围栏外,节肢动物生物量均表现为腐食性>植食性>杂食性>捕食性;在围栏内,节肢动物生物量表现为植食性>杂食性>腐食性>捕食性(图2).但围栏内外节肢动物生物量不同功能群间均无显著差异( $P>0.05$ ).

围栏封育对捕食性、腐食性和杂食性节肢动物生物量均产生显著影响( $P<0.05$ ),而对植食性类群生物量无显著影响( $P>0.05$ )(图2).捕食性和杂食性节肢动物生物量均为围栏内显著高于围栏外( $P<0.05$ ),而腐食性节肢动物生物量表现为围栏内显著低于围栏外( $P<0.05$ ).对植食性动物生物量来说,表现为围栏外高于围栏内( $P>0.05$ ).

### 2.4 封育围栏内外节肢动物功能群的物种多样性

由于杂食性节肢动物只获得一个类群,因此只计算捕食性、植食性和腐食性节肢动物物种多样性(图3).对于同一样地来说,围栏内外节肢动物 Shannon 指数均表现为植食性>捕食性>腐食性,均匀度指数均表现为捕食性>植食性>腐食性.围栏内节肢动物的 Shannon 指数和均匀度指数在捕食性、植食性和腐食性类群间均表现出显著差异,而且腐食性类群均显著低于捕食性和植食性类群( $P<0.05$ ).

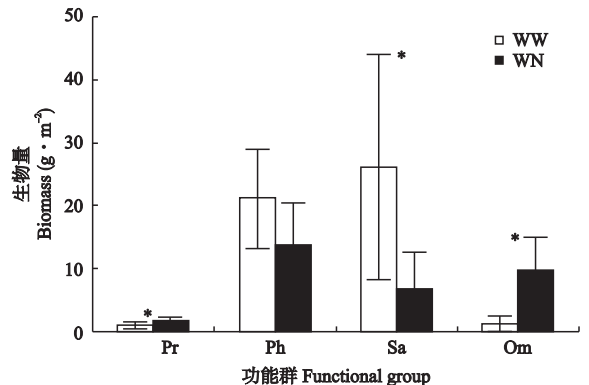


图2 节肢动物功能群生物量

Fig. 2 Biomass of arthropod functional groups.

\*  $P<0.05$ .

出一定的差异性(图1).对于个体数量来说,植食性

结果还表明, 围栏封育对不同功能群物种多样性 (Shannon 指数和均匀度指数) 均产生了一定的影响, 但均没有达到显著水平 ( $P>0.05$ ), 表现为不同营养功能群的 Shannon 指数和均匀度指数围栏内均高于围栏外 (图 3)。

### 2.5 节肢动物功能群与环境因子的相关性

由于杂食性节肢动物个体数较少 (图 1), 本文只考察了捕食性、植食性节肢动物与环境因子间的相关性。从表 3 可以看出, 捕食性节肢动物个体数、类群数、生物量均与围栏内外环境因子间无显著相关性 ( $P>0.05$ ), 而 Shannon 指数和均匀度指数均与土壤容重呈负相关性 ( $P<0.05$ )。植食性节肢动物个体数、类群数、生物量以及 Shannon 指数均与围栏内外环境因子间无显著相关性 ( $P>0.05$ ), 而均匀度指数与土壤容重呈负相关性 ( $P<0.05$ )。

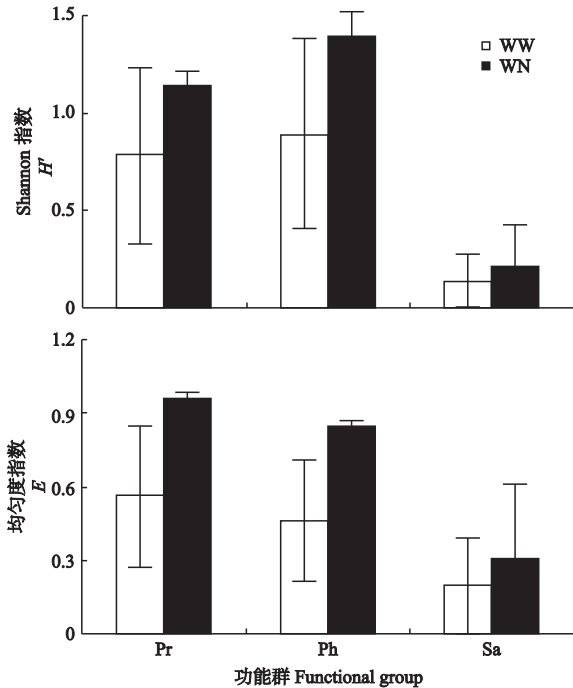


图 3 节肢动物功能群物种多样性

Fig. 3 Biodiversity of arthropod functional groups.

表 3 不同功能群数量特征与与环境因子相关关系

Table 3 Correlation coefficient of each arthropod functional group and environmental variables

项目 Item	Pr		Ph
	$H'$	$E$	$E$
植被盖度 Coverage	0.2929	0.5537	0.6632
植被高度 Height	0.3722	0.5299	0.5832
植物密度 Density	0.2344	0.4233	0.4959
植物生物量 Biomass	0.2758	0.5263	0.5670
土壤含水量 Soil moisture	-0.0039	0.2655	0.4149
土壤容重 Bulk density	-0.8123*	-0.9157*	-0.8139*

$H'$ : Shannon 指数 Shannon index;  $E$ : 均匀度指数 Evenness index.

\*  $P<0.05$ .

## 3 讨 论

地面节肢动物之间、及其与其他生物之间关系非常复杂, 不同种类节肢动物有着不同的食性, 某些节肢动物在生命的不同时期可能还有着不同的活动场所和摄食对象<sup>[24]</sup>. 所以基于地面节肢动物区系种类复杂、系统分类难度大等特点以及研究水平的限制, 目前尚无法将各类群中每种动物的生态习性进行细致划分, 只能按各类群的总体特征将节肢动物划分为几个营养级, 即捕食性、植食性、腐食性和杂食性节肢动物. 虽然这种分类方法从表面上看不够精确, 但对具体的研究过程特别是对物质循环和能量流动的研究提供了方便<sup>[13,24]</sup>. 而且, 由于食源的不同, 生活在地下与地面的土壤动物区系的各功能类群的组成与结构均有较大差异<sup>[24-25]</sup>, 即地上动物区系最初的食物来源是绿色植物, 地下动物区系的最初食物来源是以凋落物为主体的生物残体. 本研究中, 地面节肢动物区系兼有地上和地下动物区系的食性特征, 既有以植食性和捕食性为主的节肢动物, 又富有以腐食性为主的节肢动物. 其中, 在围栏内外, 节肢动物个体数量和类群数在捕食性和植食性占有较高的比重, 节肢动物生物量在植食性和腐食性动物占有较高的比重. 所以, 荒漠草原地面节肢动物植食性和腐食性动物生物量所占比例较大, 植食性和捕食性在数量上占优势, 尤其是植食性动物占绝对优势地位. 从功能群物种多样性的分布来看, 植食性动物的多样性高于捕食性, 也说明了植食性动物的优势地位, 即荒漠草原地面节肢动物区系以植食性动物分布为其主要特征.

家畜放牧活动显著影响草地上植物生长和物种组成, 并通过缩短凋落物回收和土壤循环过程对营养途径产生深刻影响, 因而是荒漠草原主要的干扰形式之一<sup>[14,26]</sup>, 而且放牧增加草地中凋落物输入量<sup>[27]</sup>. 本试验中, 对荒漠草原进行围栏封育, 地表植被迅速恢复, 植物个体数量、高度、盖度和生物量均显著增加. 虽然土壤环境没有发生显著变化, 但土壤条件得到了一定改善, 如土壤含水量增加, 土壤容重降低. 作为地面节肢动物的食物来源和栖居地, 草地植被恢复和土壤环境变化对地面节肢动物的多度、多样性和分布均产生重大影响<sup>[26,28]</sup>, 进而影响生态系统结构与功能<sup>[8]</sup>. 荒漠草原围栏封育后, 植食性和杂食性动物个体数和类群数开始增加, 并且捕食性动物类群数亦有所增加, 而腐食性动物个体数和类群数均出现下降 (图 1). 而且, 节肢动物捕食性和

植食性的物种多样性围栏内均高于围栏外. 植食性和杂食性动物的数量变化与围栏封育后植被恢复及土壤环境的改善密切相关<sup>[4]</sup>. 土壤容重降低(表1), 食物资源与环境条件改善吸引更多的植食性动物定居和生存, 增加其个体数量, 个体数分布更为均匀, 围栏内植食性动物物种多样性高于围栏外, 而且围栏内捕食性动物类群数和多样性亦表现出增加趋势, 这体现了一种“上行效应”<sup>[13-14, 29]</sup>, 即植被会通过改变植食动物而影响捕食者的多样性. 对于腐食性动物而言, 围栏封育排除了家畜放牧活动和排泄物的释放, 直接导致以排泄物为主要食源的埋葬甲科和金贵蛭螂属个体数量的减少, 使围栏内腐食性动物个体数和类群数均低于围栏外, 这与节肢动物的生物生态学特性密切相关<sup>[18-19]</sup>.

荒漠草原围栏封育对节肢动物不同功能群生物量有不同的影响. 捕食性和杂食性节肢动物生物量均为围栏内高于围栏外, 腐食性节肢动物生物量表现为围栏内低于围栏外, 这与捕食性、杂食性和腐食性节肢动物的数量变化趋势一致. 但植食性节肢动物生物量表现为围栏内低于围栏外, 这与围栏外拟步甲科琵甲属动物类群生物量较高有关, 原因可能是围栏外放牧活动增加了地表枯枝落叶数量, 导致以枯枝落叶为主要食源的琵甲属动物类群生物量增加的缘故<sup>[23, 27]</sup>.

地面节肢动物功能群数量和生物量特征是荒漠草原生态系统结构与功能研究的重要内容. 荒漠草原地面节肢动物群落可划分为捕食性、植食性、腐食性和杂食性等4种营养功能群. 其中, 地面节肢动物区系以植食性动物分布为其主要特征. 荒漠草原围栏封育不仅促使植被恢复和土壤环境改善, 而且对不同功能群的数量和生物量均产生了明显的影响. 围栏内捕食性、植食性、杂食性动物个体数量、类群数增加, 而且捕食性和植食性物种多样性亦增加, 体现了生物多样性食物链控制的一种“上行效应”, 说明荒漠草原围栏封育后地面节肢动物功能群的多样性和复杂性增加. 而腐食性动物个体数量和生物量围栏内均低于围栏外, 以拟步甲科琵甲属为代表的植食性节肢动物生物量在围栏内低于围栏外, 反映了某些特殊节肢动物类群对放牧草地生境的选择性和依赖性.

**致谢** 宁夏大学生命科学学院张大治副教授在节肢动物功能群划分方面给予了指导, 谨表谢意.

#### 参考文献

[1] Fu SL, Zou XM, Coleman D. Highlights and perspec-

tives of soil biology and ecology research in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, **41**: 868-876

- [2] Yin X-Q (殷秀琴), Song B (宋博), Dong W-H (董炜华), *et al.* A review on the eco-geography of soil fauna in China. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2010, **65**(1): 91-102 (in Chinese)
- [3] Liu RT, Zhao HL, Zhao XY, *et al.* Soil macrofaunal response to sand dune conversion from mobile dune to fixed dune in Horqin Sandy Land, North China. *European Journal of Soil Biology*, 2009, **45**: 417-422
- [4] Liu J-L (刘继亮), Li F-R (李锋瑞), Liu Q-J (刘七军), *et al.* Seasonal variation of ground dwelling arthropod communities in an arid desert of the middle Heihe River Basin. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2010, **19**(5): 161-169 (in Chinese)
- [5] Garrison PG. Spatial and dietary overlap in the Georgesbank ground fish community. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2000, **57**: 1679-1691
- [6] Zhang B (张波), Tang Q-S (唐启升), Jin X-S (金显仕). Functional groups of communities and their major species at high trophic level in the Yellow Sea ecosystem. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(3): 1009-1011 (in Chinese)
- [7] Chumak V, Duelli P, Rizun V, *et al.* Arthropod biodiversity in virgin and managed forests in Central Europe. *Forest Snow and Landscape Research*, 2005, **79**: 101-109
- [8] Cole L, Bradford MA, Shaw PJA, *et al.* The abundance, richness and functional role of soil meso- and macrofauna in temperate grassland—A case study. *Applied Soil Ecology*, 2006, **33**: 186-198
- [9] Holtkamp R, Kardol P, vander Wal A, *et al.* Soil food web structure during ecosystem development after land abandonment. *Applied Soil Ecology*, 2008, **39**: 23-34
- [10] Pauli N, Barrios E, Conacher AJ, *et al.* Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual Slash-and-Mulch agroforestry system, western Honduras. *Applied Soil Ecology*, 2010, **47**: 119-132
- [11] Doblas-Mirand E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: Composition and temporal changes in the assemblage. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, **39**: 1916-1925
- [12] Sattler T, Duelli P, Obrist MK, *et al.* Response of arthropod species richness and functional groups to urban habitat structure and management. *Landscape Ecology*, 2010, **25**: 941-954
- [13] Brussaard L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 1998, **9**: 123-135
- [14] Bardgetta RD, Cook R. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *Applied Soil Ecology*, 1998, **10**: 263-276
- [15] Bian Z (边振), Zhang K-B (张克斌), Li R (李瑞), *et al.* Effect of enclosure on vegetation restoration in semi-arid sandy land in Yanchi of Ningxia. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究),

- 2008, **15**(5): 68–70 (in Chinese)
- [16] Shen Y (沈彦), Feng Q-Y (冯起勇), Zhang K-B (张克斌), *et al.* Effect of enclosure on plant community in semi-arid sandy land in agr-pasture regions. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2008, **22**(6): 156–160 (in Chinese)
- [17] Mazia CN, Chaneton EJ, Kitzberger T. Small-scale habitat use and assemblage structure of ground dwelling beetles in a Patagonian shrub steppe. *Journal of Arid Environments*, 2006, **67**: 177–194
- [18] Yin W-Y (尹文英). Pictorial Keys to Soil Animal of China. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese)
- [19] Zheng L-Y (郑乐怡), Gui H (归鸿). Insect Classification. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999 (in Chinese)
- [20] Wang X-P (王新谱), Yang G-J (杨贵军). Insects of Helan Mountain in Ningxia. Yinchuan: Ningxia People's Press, 2010 (in Chinese)
- [21] Ren G-D (任国栋), Yu Y-Z (于有志). Carabidae Insects in Semi-Desert and Desert in China. Baoding: Hebei University Press, 1999 (in Chinese)
- [22] Coleman DC, Crossley DA, Hendrix JPF. Fundamentals of Soil Ecology. London: Elsevier Academic Press, 2004
- [23] Zhang J-Y (张建英). Biology Characteristics of Twelve Tenebrionidae Insects (Coleoptera). Master Dissertation. Yinchuan: Ningxia University, 2005 (in Chinese)
- [24] Xiao Y-H (肖以华), Tong F-C (佟富春), Yang C-T (杨昌腾), *et al.* Guilds of soil fauna after ice-snow disaster in North Guangdong. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2010, **46**(7): 99–105 (in Chinese)
- [25] Tong F-C (佟富春), Wang Q-L (王庆礼), Liu X-S (刘兴双), *et al.* Dynamics of soil fauna communities during succession process of secondary forests in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(9): 1531–1535 (in Chinese)
- [26] Liu R-T (刘任涛), Zhao H-L (赵哈林), Zhao X-Y (赵学勇). Community structure and diversity of soil arthropods in naturally restored sandy grasslands after grazing. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(11): 2848–2854 (in Chinese)
- [27] King LK, Hutchinson KJ. The effects of sheep grazing on invertebrate numbers and biomass in unfertilized natural pastures of the New England Tablelands (NSW). *Australian Journal of Ecology*, 1983, **8**: 245–255
- [28] Cole L, Buckland SM, Bardgett RD. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, **37**: 1707–1717
- [29] Tong C-F (童春富), Lu J-J (陆健健). Studies on species diversities and functional groups of invertebrate community in an artificial turf. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2002, **10**(2): 149–155 (in Chinese)

---

**作者简介** 刘任涛,男,1980年生,博士,助理研究员。主要从事荒漠土壤动物生态学与恢复生态学研究。E-mail: nmcasnw@126.com

**责任编辑** 肖红

---