

DOI: 10.5846/stxb201911162476

常虹, 孙海莲, 刘亚红, 晔霁罕, 单玉梅, 张璞进. 放牧强度对短花针茅荒漠草原甲虫群落分布格局的影响. 生态学报, 2020, 40(13): 4546-4554.

Chang H, Sun H L, Liu Y H, Ye R H, Shan Y M, Zhang P J. Effects of different grazing intensities on the community structure of beetle community in *Stipa breviflora* desert steppe. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4546-4554.

## 放牧强度对短花针茅荒漠草原甲虫群落分布格局的影响

常虹<sup>1,2,3</sup>, 孙海莲<sup>1,2,3,\*</sup>, 刘亚红<sup>1,2,3</sup>, 晔霁罕<sup>1,2,3</sup>, 单玉梅<sup>1,2,3</sup>, 张璞进<sup>1,2,3</sup>

1 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031

2 中国科学院内蒙古草业研究中心, 呼和浩特 010031

3 生态草业可持续发展内蒙古自治区工程研究中心, 呼和浩特 010031

**摘要:**放牧对脆弱的荒漠草原生态系统有着重要影响,且随放牧强度及持续时间不同而变化。鞘翅目昆虫是环境监测与生物多样性变化的指示生物。利用巴氏罐诱法对短花针茅荒漠草原不同放牧强度草地的甲虫群落组成和多样性进行调查,探究放牧对荒漠草原甲虫群落的影响。结果表明:(1)步甲科、金龟科为短花针茅荒漠草原甲虫群落优势类群,埋葬甲科、芫菁科、拟步甲科和花金龟科为常见类群。(2)放牧强度增加不利于维持更多的捕食性甲虫;对照和轻度放牧样地可维持更多的腐食性甲虫。(3)甲虫数量随放牧强度增加而递减;群落多样性以重度放牧草地最大,轻度放牧草地最小;群落优势度为对照、中度、重度显著高于轻度放牧草地。各甲虫类群在不同放牧强度草地出现时间、高峰期均不同。(4)对照、轻度、重度放牧样地的甲虫优势类群群落结构不同于其他生境,但均与中度放牧样地存在相似性。轻度、中度、重度放牧样地的甲虫稀有类群群落结构不同于其他生境,但均与对照样地存在相似性。(5)甲虫群落个体数与植物群落物种丰富度、盖度、植物平均高度、生物量呈显著正相关。Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数均与植物群落物种丰富度、生物量显著负相关。研究结果为荒漠草原甲虫多样性保护提供参考依据。

**关键词:**放牧强度;荒漠草原;甲虫群落;分布格局

## Effects of different grazing intensities on the community structure of beetle community in *Stipa breviflora* desert steppe

CHANG Hong<sup>1,2,3</sup>, SUN Hailian<sup>1,2,3,\*</sup>, LIU Yahong<sup>1,2,3</sup>, YE Ruhan<sup>1,2,3</sup>, SHAN Yumei<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Pujin<sup>1,2,3</sup>

1 Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China

2 Inner Mongolia Prataculture Research Center Chinese Academy of Sciences, Hohhot 010031, China

3 Inner Mongolia engineering research center of ecological grass industry Sustainable development, Hohhot 010031, China

**Abstract:** Grazing has an important effect on grassland ecosystem, and the effect varies with the grazing intensity and duration. The desert steppe ecosystem is fragile and sensitive to natural and human disturbance. Coleoptera is an indicator of environmental monitoring and biodiversity change. This study investigated the composition and diversity of beetle community in steppe at different grazing intensities using baited pitfall traps. The results showed that (1) the dominant groups were pegasidae, dionychidae and scarabaeidae. The common groups were silphidae, meloidae, enebriionidae and cetoniidae. (2) The increased grazing intensity was not conducive to maintaining more predatory insects. Control and lightly grazed plots maintained more carrion beetles. (3) The number of beetles decreased with the increase of grazing intensity. However, the

**基金项目:**内蒙古科技创新引导项目(KCBJ2018061);2020年中科院内蒙古草业研究中心运行经费补助;国家重点研发计划项目(2016YFC0503404)

**收稿日期:**2019-11-16; **修订日期:**2020-05-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1056286714@qq.com

community diversity was the largest in heavily grazed grassland and the smallest in lightly grazed grassland. Community dominance was significantly higher than that of lightly grazed grassland. The occurrence time and the peak quantity of each beetle group were different in different grazing intensity grasslands, and the dominance degree of the same habitat also changed with time. (4) The dominant groups of beetles in control, light and heavy grazing plots were different from other habitats, but all of them were similar to moderate grazing plots. The community structure of rare beetle groups in the lightly, moderately and heavily grazed areas was different from that of other habitats, but all of them were similar to that of the other habitats. (5) The number of individuals in beetle community was significantly positive correlation with species richness, coverage, average plant height, biomass. Shannon-wiener diversity index and Margalef richness index were significantly negative correlated with plant community species richness and biomass. The results can provide a reference for the protection of coleoptera diversity in the desert steppe.

**Key Words:** grazing intensity; desert steppe; beetle community; distribution patterns

鞘翅目昆虫,又称甲虫,是昆虫纲乃至动物界中种类最多、分布最广的一个优势类群,全世界已知 360000 多种<sup>[1]</sup>,其食性复杂、栖息地多样,在生态系统中占有重要地位,且群落物种组成和数量对周围环境变化响应明显,如生境的破碎化程度、植被组成、土壤理化性质、农业活动及其他人为干扰等因素都可能对甲虫群落组成及分布产生影响,因此可作为环境监测与生物多样性变化的指示生物<sup>[2-6]</sup>。在草原和森林生态研究中,甲虫群落多样性已作为衡量草场退化和森林片段化的重要生态指标<sup>[7]</sup>。甲虫多样性研究较多,但针对不同生境的研究很不平衡,大多研究集中在农业景观、半自然生境、自然保护区中农田<sup>[8-14]</sup>、草原<sup>[15-17]</sup>、森林<sup>[18-20]</sup>、湿地<sup>[21-22]</sup>等生态系统,对生境条件严酷的荒漠草原研究甚少。

放牧是草地的主要利用方式之一,对草地生态系统有重要影响。放牧条件下由于长期牲畜的啃食、践踏以及排泄等行为导致草地植被组成、结构和土壤环境发生改变<sup>[23-24]</sup>,且影响程度随放牧强度及放牧持续时间不同而改变<sup>[25]</sup>。近数十年来,由于过度放牧,放牧对草地生态系统的干扰越来越大,使得大面积的草地由于超载过牧导致退化,放牧对草地生态系统的影响引起了广泛关注。荒漠草原是我国的主要草地类型之一,气候极端干旱,植物种类组成贫乏,结构简单,生态系统十分脆弱,对自然和人为干扰较敏感<sup>[26]</sup>。荒漠草原甲虫群落组成及分布状况如何,放牧程度加剧对荒漠草原甲虫群落结构影响如何,亟需进一步探讨。

本研究对不同放牧强度短花针茅荒漠草原甲虫群落展开调查,旨在:(1)对短花针茅荒漠草原鞘翅目昆虫种类及分布状况进行系统摸底调查;(2)以鞘翅目昆虫为指示生物,揭示放牧对短花针茅荒漠草原生物多样性的影响,以为短花针茅荒漠草原甲虫多样性保护和放牧条件下荒漠草原的生态环境监测和评价提供科学依据。

## 1 实验方法

### 1.1 试验区概况与试验设计

试验区位于内蒙古乌兰察布市四子王旗王府一队,内蒙古农牧业科学院基地内(N 41°47'17", E 111°53'46", asl 1450 m),为典型的温带大陆性气候,春季干旱多风,夏季炎热,≥10°C 的年积温为 2200—2500°C,年均降雨量 280 mm,主要集中在 5—8 月,无霜期 175 d。土壤为淡栗钙土。土壤有机碳含量为 1.3%,全氮含量为 0.13%。草地类型为短花针茅+冷蒿+无芒隐子草荒漠草原,植被草层底矮、稀疏,植物群落种类组成较贫乏,由 20 多种植物组成,一般高度为 8 cm,盖度为 17%—20%。建群种为短花针茅(*Stipa breviflora*),优势种为冷蒿(*Artemisia frigida*)、无芒隐子草(*Cleistogones songorica*),主要伴生种有银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、蓖齿蒿(*Neopallasia pectinata*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、羊草(*Leymus chinensis*)等。

试验地设在短花针茅荒漠草原地势相对平坦的地方,围封约 50 hm<sup>2</sup>的天然草地,采用完全随机区组设

计,将围栏放牧区划分为3个区组,即3次重复,在每个区组中设4个处理,即4个不同的载畜率水平,分别为0(对照)、0.91(轻度放牧)、1.82(中度放牧)和2.71(重度放牧)羊单位  $\text{hm}^{-2}(1/2\text{a})^{-1}$ ,不同重复小区内的4个处理完全随机排列。各个试验小区面积基本相等,为  $4.4 \text{ hm}^2$ 。试验地自2002年7月开始围栏放牧。供试羊只均为当地成年蒙古羯羊,每年放牧期为5个月,从5月初开始放牧,9月末结束放牧。每天从6:00将家畜赶入放牧区让其自由采食,到18:00赶回畜圈。放牧绵羊固定于最初指定的小区放牧。并在每个试验小区随机设置5个  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  样方调查植被植物种类及数量、盖度、植物平均高度、生物量干重及枯落物干重。

## 1.2 甲虫鉴定

甲虫取样采用巴氏罐诱法。在12个小区内每个小区下设2个  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  样方,共设定24个样方。在样方中心及对角线的四个顶点上分别放置1个陷阱,共计5个陷阱。样方之间的间隔距离至少20 m以上。利用塑料杯(上口口径7.2 cm,下口径5.2 cm,高10 cm,容积300 ml)作为采集昆虫的陷阱,将塑料杯埋入土中,杯口与地面平齐,杯壁上方1/4处(杯口下方约2.5 cm)打一小孔(直径约0.5 cm),以免由于雨水过多使标本流失。杯内引诱剂为醋、糖、医用酒精和水的混合物,质量比为2:1:6:16,每个杯内放引诱剂约60 ml<sup>[19-21]</sup>。

采集时间为2015年5月到8月中旬,每月采集1次,放置诱杯时间为5 d,采集到的标本放在75%的酒精中,带回实验室,制成针插标本,进行种类鉴定和统计分析。

## 1.3 数据处理分析

甲虫群落的物种多样性选取 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数计算,公式如下<sup>[21]</sup>:

Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ ):

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Margalef 丰富度指数( $Ma$ ):

$$Ma = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Pielou 均匀度指数( $E$ ):

$$E = \frac{H}{\ln S}$$

Simpson 优势度指数( $D$ ):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中, $S$ :群落物种数目; $N$ :总个体数; $P_i$ 为第*i*种个体数占总个体数的比率。

采用 PAST、SPSS17.0 统计软件分别进行多样性指数分析、单因素方差(One-way ANOVA)分析。

物种周转率采用基于相异指数(Chord-normalized expected species shared, CNESS)的非度量多维标度法(non-metric multi-dimensional scaling, NMDS)进行分析。CNESS 相异指数是最适合于进行定量数据分析的指数之一<sup>[27]</sup>,能够计算具有不同样方大小的样点间基于概率的相似性。CNESS 相异矩阵由 COMPAH<sup>[28]</sup> 计算得出,计算过程中取样的大小(参数  $m$ )可以变化,但必须大于最小取样值且小于最大取样值。 $m$  取值较大时,强调稀有物种,反之强调优势物种。压力指数(stress)是衡量 NMDS 的拟合效果或者说使用这种方法可行性的一个指标,当  $\text{stress} \leq 5\%$  时,拟合效果最好,5%—10%时,次之;一般  $\leq 20\%$  时,模型的拟合结果都是可以接受的,可以用来进行数据的解释<sup>[29]</sup>。NMDS 使用 STATISTICA 6.0 软件进行计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同放牧强度荒漠草原甲虫群落组成与分布格局

试验共获得甲虫标本 5256 号,分属于 14 科。其中步甲、金龟 2 科个体数较多,分别占总个体数的 59.

25% 和 26.50%, 合计占该地区甲虫总数的 85.75%, 为优势类群。埋葬甲、拟步甲、芫菁和金龟 4 科的个体数分别占总个体数的 6.94%、1.92%、1.22% 和 1.03%, 为常见类群。阎甲、象甲、天牛、虎甲、棘胫小蠹、叩甲、鳃金龟、吉丁甲等 8 科个体数少于 1%, 为不常见类群(表 1)。不同放牧强度荒漠草原甲虫群落的类群数、优势类群和常见类群组成不同。不同放牧强度样地的甲虫类群数呈现中度>重度>对照>轻度放牧样地的趋势, 但没有显著差异。甲虫群落个体数随放牧强度增加而递减, 呈现对照>轻度>中度>重度放牧样地的趋势, 其中对照和轻度放牧样地甲虫个体数显著高于中度和重度放牧样地( $P<0.01$ )。对照、轻度、重度放牧样地的优势类群均为步甲、埋葬甲和金龟 3 科, 中度放牧样地为步甲和金龟 2 科。对照样地的常见类群为阎甲、花金龟和拟步甲 3 科, 轻度放牧样地为拟步甲 1 科, 中度放牧样地为埋葬甲、花金龟、拟步甲和芫菁 4 科, 重度放牧样地为象甲、花金龟、拟步甲、芫菁和虎甲 5 科。

表 1 不同放牧强度荒漠草原甲虫群落组成特征

Table 1 The composition of beetle assemblages in desert steppe at different stocking rates

类群 Taxa	对照 Control	轻度放牧草地 Lightly grazed meadow	中度放牧草地 Moderately grazed meadow	重度放牧草地 Heavily grazed meadow	个体数合计 Total individual number	%
步甲科 Carabidae	1048	1190	465	411	3114	59.25
埋葬甲科 Silphidae	146	107	43	69	365	6.94
象甲科 Curculionidae	8	9	9	14	40	0.76
叩甲科 Elateridae	1	1	4	1	7	0.13
吉丁甲科 Buprestidae	0	0	1	0	1	0.02
阎甲科 Histeridae	24	13	9	5	51	0.97
花金龟科 Cetoniidae	26	4	14	10	54	1.03
金龟科 Scarabaeidae	476	357	339	221	1393	26.50
鳃金龟科 Elolonthidae	2	0	0	0	2	0.04
拟步甲科 Enebrionidae	52	25	16	8	101	1.92
芫菁科 Meloidae	16	10	20	18	64	1.22
天牛科 Cerambycidae	5	14	8	7	34	0.65
虎甲科 Cicindelidae	1	3	7	10	21	0.40
棘胫小蠹科 Scolytidae	2	1	2	4	9	0.17
个体数 Individuals	602.33±6.36a	578.00±15.18a	312.33±14.31b	259.33±11.35b	—	—
个体数合计 Total individual number	1807	1734	937	778	5256	—
%	34.38	32.99	17.83	14.80	—	—
类群数 Group number	10±1.73a	9.67±2.08a	11±1a	10.67±1.15a	—	—

表中数据为平均值±标准误, 同行数据后不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

对不同食性甲虫进行分析, 步甲科、阎甲科、虎甲科成虫为捕食性天敌昆虫, 象甲科、叩甲科、吉丁甲科、花金龟科、金龟科、鳃金龟科、拟步甲科、芫菁科、天牛科、棘胫小蠹科成虫为植食性害虫, 埋葬甲科为腐食性昆虫(表 2)。不同放牧强度样地中共获得捕食性天敌昆虫 3186 号, 占甲虫总个体数的 60.62%, 其中轻度放牧样地显著高于其他放牧强度样地, 对照样地显著高于中度和重度放牧样地; 共获得植食性害虫 1705 号, 占甲虫总个体数的 32.44%, 其中对照样地显著高于其他放牧强度样地, 轻度和中度放牧样地显著高于重度放牧样地; 共获得腐食性甲虫 365 号, 占甲虫总个体数的 6.94%, 其中对照和轻度放牧样地显著高于中度和重度放牧强度样地。

## 2.2 不同放牧强度荒漠草原甲虫群落多样性分布格局

在不同放牧强度荒漠草原, 甲虫群落科丰富度呈现中度>重度>对照>轻度放牧样地, 不同放牧强度样地之间没有显著差异( $P>0.05$ )。Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数均呈现重度>中度>对照>轻度放牧样地的态势, 不同的是在显著性分析上, Shannon-Wiener 多样性指数呈现重度和

中度放牧样地显著高于对照样地,对照样地显著高于轻度放牧样地 ( $P < 0.01$ ); Margalef 丰富度指数在不同放牧强度样地之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ ); Simpson 优势度指数呈现中度、重度和对照样地显著高于轻度放牧样地 ( $P < 0.01$ )。E 均匀度指数呈现重度 > 对照 > 中度 > 轻度放牧样地,不同放牧强度样地之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 3)。

表 2 不同放牧强度荒漠草原不同食性甲虫群落组成特征

Table 2 The composition of different feeding beetle assemblage in desert steppe at different stocking rates

类群 Taxa	对照 Control	轻度放牧草地 Lightly grazed meadow	中度放牧草地 Moderately grazed meadow	重度放牧草地 Heavily grazed meadow	个体数合计 Total individual number	%
捕食性天敌昆虫 Predatory beetles	357.67±17.24b	402.00±30.79a	160.33±10.69c	142.00±6.24c	3186	60.62
植食性害虫 Plant-eating beetles	196.00±23.07a	140.33±10.60b	137.67±14.43b	94.33±10.26c	1705	32.44
腐食性甲虫 Carrion beetles	48.67±11.02a	35.67±6.43ab	14.33±5.77b	23.00±7.81b	365	6.94

表中数据为平均值±标准误,同行数据后不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

表 3 不同放牧强度荒漠草原甲虫群落多样性指数

Table 3 Diversity index of beetle assemblages in desert steppe at different stocking rates

多样性指数 Diversity index	对照 Control	轻度放牧草地 Lightly grazed meadow	中度放牧草地 Moderately grazed meadow	重度放牧草地 Heavily grazed meadow
科丰富度 Family richness	10.00±1a	9.67±1.20a	11.00±0.58a	10.67±0.67a
多样性指数 Shannon-Wiener index	1.18±0.03ab	0.97±0.03b	1.25±0.08a	1.32±0.04a
丰富度指数 Margalef index	1.41±0.15a	1.36±0.19a	1.74±0.09a	1.74±0.14a
均匀度指数 Evenness index	0.33±0.04a	0.27±0.02a	0.32±0.01a	0.35±0.03a
优势度指数 Simpson index	0.58±0.01a	0.48±0.01b	0.62±0.02a	0.63±0.02a

表中数据为平均值±标准误,同行数据后不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 2.3 不同放牧强度荒漠草原甲虫优势类群季节变化

不同放牧强度荒漠草原中(图 1),步甲科昆虫分布广、出现时间长,5 月份到 7 月份均呈增加趋势,高峰期大多在 7 月份出现,仅在重度放牧样地在 8 月份出现。埋葬甲科昆虫在不同放牧强度样地生境中均有分布,仅在对照样地出现较早,于 5 月份出现,其他 3 种生境均在 6 月份出现;高峰期大多在 7 月份出现,仅在重度放牧样地生境中在 8 月份出现。金龟科昆虫在不同放牧强度样地生境中均有分布,在 4 种生境中均在 6 月份出现,从 5 月份到 7 月份个体数呈上升趋势,高峰期大多出现在 7 月份,从 7 月份到 8 月份,个体数快速下降。5 月份不同放牧强度样地中均为步甲科个体数最多,6 月份金龟科个体数最多,7 月份在对照样地、轻度和重度放牧样地均为步甲科个体数最多,其次为金龟科,在中度放牧样地为金龟科个体数最多,其次是步甲科,8 月份均为步甲科个体数最多,其次为埋葬甲科,金龟科个体数最少。由此可知,甲虫群落不同类群在不同放牧强度生境中季节变化存在显著差异,且不同时间,甲虫群落不同类群在同一生境中优势度也不同。

### 2.4 不同放牧强度荒漠草原生境中甲虫群落结构

对不同放牧强度荒漠草原甲虫群落结构进行分析显示(图 2),对于优势类群( $m = 1$ ),对照、轻度、重度放牧样地各自样点均分别相对聚集,且不同生境间相对分离,显示了 3 种生境相对不同于其他生境的优势类群群落结构。中度放牧样地各样点之间高度分散,说明中度放牧样地间甲虫群落优势类群组成具有高度的异质性,且与其他 3 种样地有不同程度的重叠,表明与其他 3 种样地的优势类群有一定程度的相似性。对于稀有类群( $m = 149$ ),轻度、中度、重度放牧样地各自的样点均分别相对聚集,且不同生境间相对分离,显示了 3 种生境相对不同于其他生境的稀有类群群落结构。对照样地各样点之间高度分散,说明对照样地间稀有类群群落组成具有高度的异质性,且与其他 3 种样地有不同程度的重叠,表明与其他 3 种样地的稀有类群有一定程

度的相似性。

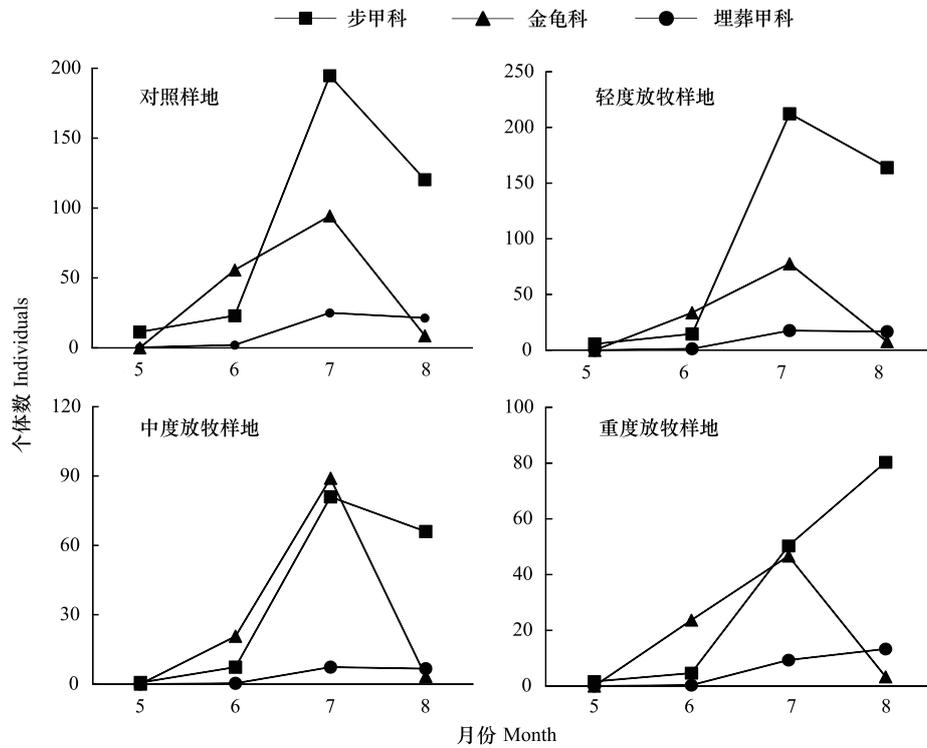


图 1 不同放牧强度荒漠草原甲虫群落主要优势类群季节变化

Fig.1 The seasonal variation of the dominance beetle assemblages in desert steppe at different stocking rates

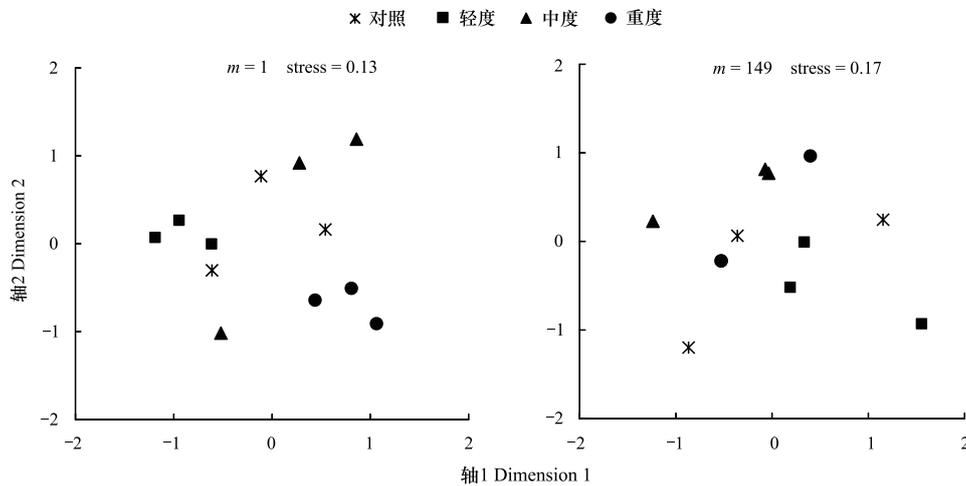


图 2 不同放牧强度生境甲虫群落基于 CNESS 相异指数的 NMDS 分析

Fig.2 Non-linear multidimensional scaling (NMDS) of the CNESS index of dissimilarity for beetle assemblages in desert steppe at different stocking rates

### 2.5 不同放牧强度荒漠草原植物群落特征与甲虫群落多样性的相关性分析

在不同放牧强度荒漠草原中,甲虫群落多样性与植物群落不同特征指标相关关系不同(表 4)。甲虫群落个体数与植物群落物种丰富度显著正相关,与盖度、植物平均高度、生物量极显著正相关。Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数均与植物群落物种丰富度、生物量显著负相关,且 Margalef 丰富度指数与盖度

极显著负相关。甲虫群落科丰富度、E 均匀度、Simpson 优势度与植物群落不同特征指标相关性均不显著。植物群落枯落物干重与甲虫群落多样性相关性不显著。

表 4 甲虫群落多样性与植物群落特征相关系数

Table 4 Related coefficient of beetle assemblages diversity index to plant community parameters

甲虫群落多样性 Diversity index	物种丰富度 Diversity of plant community	盖度 Coverage of plant	平均高度 Height of plant	生物量 Biomass of plant	枯落物干重 Dry weight of litter
个体数 Individuals	0.675 *	0.838 **	0.802 **	0.805 **	0.541
科丰富度 Family richness	-0.504	-0.541	-0.337	-0.405	0.222
Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener index	-0.578 *	-0.503	-0.378	-0.652 *	-0.311
Margalef 丰富度指数 Margalef index	-0.652 *	-0.742 **	-0.563	-0.627 *	-0.022
Evenness 均匀度指数 Evenness index	-0.088	-0.003	-0.06	-0.258	-0.265
Simpson 优势度指数 Simpson index	-0.524	-0.45	-0.38	-0.56	-0.125

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$

### 3 讨论

荒漠草原属于典型草原向荒漠过渡地带,生态环境严酷,物种组成贫乏,与森林、农田、湿地<sup>[19-23]</sup>等生境相比,甲虫群落种类、数量组成及多样性等都有很大差异,表现为群落结构简单,以适应干旱环境物种为主,优势类群明显。

放牧影响草地植被群落结构、土壤理化性质等因素,形成的栖境对环境变化敏感的土壤动物的存活和分布产生影响。本研究结果表明,不同放牧强度荒漠草原生境中甲虫群落种类、数量组成及多样性均有所不同,这与武崎等<sup>[30]</sup>对高寒草地不同放牧强度下土壤节肢动物的群落结构和多样性的研究结果一致,本研究选择荒漠草原甲虫这一类群进一步对研究结果进行了明确。甲虫群落个体数随放牧强度增加而递减,但群落多样性、丰富度、均匀度和优势度指数均表现出中度放牧样地相对较大,轻度放牧样地相对较小。这可能与生境特点以及干扰水平有关,根据中度干扰假说<sup>[31]</sup>,适当干扰可以提高环境的空间异质性,为昆虫提供多样的栖息环境,小规模中等程度的干扰能极大地提高物种多样性。捕食性天敌昆虫在轻度放牧样地显著高于其他放牧强度样地,对对照样地显著高于中度和重度放牧样地,可见放牧强度增加不利于维持更多的捕食性昆虫;植食性害虫在对照样地显著高于其他放牧强度样地,轻度和中度放牧样地显著高于重度放牧样地,这是由于随着放牧强度的增加,地表植被盖度及生物量降低,限制了植食性昆虫的发展;腐食性甲虫在对照和轻度放牧样地显著高于中度和重度放牧样地,这可能由于对照和轻度放牧样地能为腐食性甲虫提供更多的食物。经分析,甲虫群落不同类群在不同放牧强度生境的季节变化存在显著差异,不同放牧强度荒漠草原甲虫群落不同类群出现的时间及高峰期有所不同,可以以昆虫的活动时间为依据,有选择地对害虫的发生及数量进行控制。采用 NMDS 分析对甲虫群落结构分析显示,对照、轻度、重度放牧样地甲虫优势类群群落结构呈现较明显的差异,但均与中度放牧样地存在一定的相似性,这可能与中度放牧样地维持种类较多的优势类群有关,轻度、中度、重度放牧样地甲虫稀有类群群落结构呈现较明显的差异,但均与对照样地存在一定的相似性,说明对照样地维持种类较多的稀有类群。这些问题尚需进一步研究探讨。

草地生态系统地上植被特征可对甲虫群落产生影响,前人研究提出两种假说,即分类学多样性假说 (taxonomic diversity hypothesis)<sup>[32]</sup>和结构异质性假说 (structural heterogeneity hypothesis)<sup>[33]</sup>,分别强调植物种类组成多样性和群落结构特征对甲虫群落的影响作用,在此基础上 Brose 对步甲群落与植被特征的关系进一步研究,结果显示植被结构异质性解释了步甲物种丰富度方差的 55%,而植物物种丰富度仅解释了 18%,植

被结构可能比植被分类学多样性的影响更加重要<sup>[34]</sup>。还有研究显示湿地植物盖度、生物量对甲虫群落组成有重要影响,土壤动物种类和数量与植物群落盖度、物种数、高度、地上生物量呈显著正相关关系<sup>[35]</sup>,群落多样性指数( $H$ )与植物盖度极显著负相关<sup>[21]</sup>。本文对荒漠草原甲虫群落的研究结果与上述结论一致,甲虫群落个体数与植物群落物种丰富度、盖度、平均高度、生物量显著正相关,Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数均与植物群落物种丰富度、生物量显著负相关。但本研究显示植物群落枯落物干重与甲虫群落多样性相关性不显著,有待进一步研究明确。

本文只考虑了不同放牧强度荒漠草原植物群落特征对甲虫群落的影响,实际上土壤、气候因素也是影响甲虫群落的重要因素。因此,对于放牧强度导致的其他环境因素和气候因素协同作用对荒漠草原甲虫群落的影响还有待进一步研究。

#### 4 结论

本研究选择短花针茅荒漠草原为研究区,对不同放牧强度荒漠草原生境中甲虫群落展开调查研究,结论如下:(1)短花针茅荒漠草原中,甲虫群落结构简单,物种组成贫乏,优势类群明显,步甲科、金龟科为甲虫群落优势类群,埋葬甲科、芫菁科、拟步甲科和花金龟科为常见类群,阎甲科、象甲科、天牛科、虎甲科、棘胫小蠹科、叩甲科、鳃金龟科、吉丁甲科为不常见类群。(2)随放牧强度增加,植被盖度及生物量降低,限制了植食性昆虫的发展;放牧强度增加不利于维持更多的捕食性昆虫;对照和轻度放牧样地能为腐食性甲虫提供更多的食物从而维持更多腐食性甲虫。(3)随放牧强度增加,甲虫数量递减;但群落多样性表现为重度放牧样地最大,轻度放牧样地最小,这可能由于随着干扰程度的增加,达到中等程度干扰,能极大地提高物种多样性。群落优势度表现为对照、中度、重度显著高于轻度放牧样地。各甲虫类群在不同放牧强度样地出现时间、数量高峰期均不同,在同一生境的优势度也随时间发生变化。(4)对照、轻度、重度放牧样地的甲虫优势类群群落结构不同于其他生境,但均与中度放牧样地存在相似性。轻度、中度、重度放牧样地的甲虫稀有类群群落结构不同于其他生境,但均与对照样地存在相似性。(5)植物群落物种丰富度、盖度、平均高度、生物量等因素对甲虫群落个体数产生正相关的影响;而植物群落物种丰富度、生物量对甲虫群落 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数产生负相关的影响。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Beutel R G, Haas F. Phylogenetic relationships of the suborders of Coleoptera (Insecta). *Cladistics*, 2000, 16(1): 103-141.
- [ 2 ] Eyre M D, Lott D A, Garside A. Assessing the potential for environmental monitoring using ground beetles (Coleoptera: Carabidae) with riverside and Scottish data. *Annales Zoologici Fennici*, 1996, 33(1): 157-163.
- [ 3 ] Allegro G, Sciaky R. Assessing the potential role of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators in poplar stands, with a newly proposed ecological index (FAI). *Forest Ecology and Management*, 2003, 175(1/3): 275-284.
- [ 4 ] Rainio J, Niemelä J. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity & Conservation*, 2003, 12(3): 487-506.
- [ 5 ] Döring T F, Hiller A, Wehke S, Schulte G, Broll G. Biotic indicators of carabid species richness on organically and conventionally managed arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 98(1/3): 133-139.
- [ 6 ] Pohl G R, Langor D W, Spence J R. Rove beetles and ground beetles (Coleoptera: Staphylinidae, Carabidae) as indicators of harvest and regeneration practices in western Canadian foothills forests. *Biological Conservation*, 2007, 137(2): 294-307.
- [ 7 ] 易传辉, 和秋菊, 王琳, 陈友, 周远, 陈晓鸣. 粗犷犀金龟生物学特性与人工养殖初步研究. *西北林学院学报*, 2012, 27(1): 116-118.
- [ 8 ] 吴玉红. 四川紫色土丘陵区不同植物篱物种对农田地表甲虫群落结构的影响. *湖北农业科学*, 2013, 52(1): 92-100.
- [ 9 ] Magagula C N. Changes in carabid beetle diversity within a fragmented agricultural landscape. *African Journal of Ecology*, 2003, 41(1): 23-30.
- [ 10 ] Yaacobi G, Ziv Y, Rosenzweig M L. Effects of interactive scale-dependent variables on beetle diversity patterns in a semi-arid agricultural landscape. *Landscape Ecology*, 2007, 22(5): 687-703.
- [ 11 ] 宇振荣, 谷卫彬, 胡敦孝. 江汉平原农业景观格局及生物多样性研究——以两个村为例. *资源科学*, 2000, 22(2): 19-23.
- [ 12 ] Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel F G, Crist T O, Fuller R J, Sirami C, Siriwardena G M, Martin J L. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 2011, 14(2): 101-112.

- [13] Marc P, Canard A. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool in pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 62 (2/3): 229-235.
- [14] 艾尼瓦尔·土米尔, 马合木提·哈力克, Frank T. 农田及生态补偿区甲虫群落结构的差异. *生态学报*, 2005, 25(9): 2284-2290.
- [15] Irmiler U, Hoernes U. Assignment and evaluation of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages to sites on different scales in a grassland landscape. *Biodiversity & Conservation*, 2003, 12(7): 1405-1419.
- [16] 贺奇, 王新谱, 杨贵军. 宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性. *生态学报*, 2011, 31(4): 923-932.
- [17] Monteiro A T, Fava F, Gonçalves J, Huete A, Gusmeroli F, Parolo G, Spano D, Bocchi S. Landscape context determinants to plant diversity in the permanent meadows of Southern European Alps. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22(4): 937-958.
- [18] Molnár T, Magura T, Tóthmérész B, Elek Z. Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest and grassland transects. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37(4): 297-300.
- [19] 张倩, 郑发科, 钟志宇. 江西武夷山自然保护区地表甲虫多样性. *四川动物*, 2008, 27(1): 3-6.
- [20] 于晓东, 罗天宏, 周红章. 东灵山地区地表甲虫群落组成及季节变化. *昆虫学报*, 2002, 45(6): 785-793.
- [21] 王玉, 高光彩, 付必谦, 吴专. 北京野鸭湖湿地地表甲虫群落组成与空间分布格局. *生物多样性*, 2009, 17(1): 30-42.
- [22] 王立龙, 陆林. 旅游干扰对太平湖国家湿地公园土壤酶活性及大型土壤动物分布的影响. *湿地科学*, 2013, 11(2): 212-218.
- [23] 肖红艳, 刘红, 李波, 袁兴中, 孙书存. 放牧干扰对亚高山草甸土壤动物群落影响的研究. *草业学报*, 2012, 21(2): 26-33.
- [24] 汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 陈佐忠. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. *植物学报*, 2001, 43(1): 89-96.
- [25] 张成霞, 南志标. 放牧对草地土壤理化特性影响的研究进展. *草业学报*, 2010, 19(4): 204-211.
- [26] 陈海军. 短花针茅荒漠草原群落现状及山羊和绵羊冬春季牧食行为[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [27] Trueblood D D, Gallagher E D, Gould D M. Three stages of seasonal succession on the Savin Hill Cove mudflat, Boston Harbor. *Limnology and Oceanography*, 1994, 39(6): 1440-1454.
- [28] Gallagher E D, Keay K E. Organism-sediment-contaminant interactions in Boston Harbor//Stolzenbach K D, Adams E, eds. *Contaminated Sediments in Boston Harbor*. Cambridge: MIT Sea Grant Publication, 1998: 87-130.
- [29] 常虹, 张旭珠, 段美春, 宇振荣, 刘云慧. 北京密云农业景观步甲群落空间分布格局. *应用生态学报*, 2012, 23(6): 1545-1550.
- [30] 武崎, 吴鹏飞, 王群, 文勇立, 高艳美, 张荣芝, 龙伟. 放牧强度对高寒草地不同类群土壤动物的群落结构和多样性的影响. *中国农业科学*, 2016, 49(9): 1826-1834.
- [31] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 1978, 199(4335): 1302-1310.
- [32] Siemann E, Tilman D, Haarstad J, Ritchie M. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *The American Naturalist*, 1998, 152(5): 738-750.
- [33] Dennis P, Young M R, Gordon I J. Distribution and abundance of small insects and arachnids in relation to structural heterogeneity of grazed, indigenous grasslands. *Ecological Entomology*, 1998, 23(3): 253-264.
- [34] Brose U. Bottom-up control of carabid beetle communities in early successional wetlands: mediated by vegetation structure or plant diversity? *Oecologia*, 2003, 135(3): 407-413.
- [35] 德海山. 放牧强度对短花针茅荒漠草原土壤动物群落的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.