应用生态学报 2017年6月 第28卷 第6期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, Jun. 2017, **28**(6): 1869-1878 DOI: 10.13287/j.1001-9332.201706.025

放牧和刈割对内蒙古典型草原大型土壤动物的影响

刘 霞[1] 赵 东[1] 程建伟[2] 陈海燕[1] 刘新民[1*] 宝音陶格涛[2] 李永宏[2]
([1]内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022; [2]内蒙古大学生态与环境学院, 呼和浩特 010021)

摘 要 采用连续3年全季节放牧、3种季节性轮牧、秋季刈割和不利用对照6种处理, 研究了内蒙古典型草原大型土壤动物群落特征.调查在春、夏和秋3个季节进行,共捕获大型土壤动物597只,隶属于2门4纲11目,49个类群.结果表明: 全季节放牧导致土壤动物的个体密度、生物量和多样性降低;而刈割的影响相对较轻,土壤动物的个体密度、生物量和多样性甚至有提高趋势.3种季节性轮牧处理中,夏季和秋季放牧2次处理对土壤动物群落个体密度、生物量和多样性等指标的负面影响较轻.刈割管理对退化典型草原大型土壤动物群落的恢复较为有利;夏季和秋季放牧2次处理对大型土壤动物群落的负面影响较轻,是较理想的草地可持续管理措施.

关键词 温带草原; 放牧制度; 刈割; 大型土壤动物; 多样性; 功能群

Effects of grazing and mowing on macrofauna communities in a typical steppe of Inner Mongolia, China.

LIU Xia[1], ZHAO Dong[1], CHENG Jian-wei[2], CHEN Hai-yan[1], LIU Xin-min[1*], BAOYIN Taogetao[2], LI Frank Yonghong[2] ([1]*College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot* 010022, *China*; [2]*School of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Huhhot* 010021, *China*).

Abstract: The dynamic features of the ecosystem components under different human activities are fundamental for understanding the ecosystem change mechanisms and developing sustainable management system. For the vast temperate steppe ecosystems in northern China, there existed many studies on the effects of animal grazing and mowing on plant and soil microbial communities, but not the soil fauna communities. We investigated the soil macrofauna communities of a typical Inner Mongolia steppe grassland under 6 utilization treatments (1 full season grazing, 3 different seasonal grazing, 1 autumn mowing and 1 control of no grazing or mowing). The investigation was conducted in spring, summer and autumn after 3-year's grazing or mowing treatments. We collected 597 soil animals, which belonged to 2 phyla, 4 orders, 11 classes, and 49 groups. The individual density, biomass and diversity indices of soil macrofauna community significantly decreased under the full season grazing, whereas the effects of mowing on soil macrofauna were relatively mild, with the individual density, biomass and diversity indices of soil macrofauna community even showing an increasing trend. The seasonal grazing in summer and autumn had the least negative effects on the individual density, biomass and diversity indices of soil macrofauna community among three seasonal grazing treatments. The results suggested that mowing might facilitate the restoration of soil macrofauna community for degraded steppe grassland, and the seasonal grazing in summer and autumn had the least negative effects on soil macrofauna communities, which was possibly the best grazing practice for a sustainable grassland use.

Key words: temperate grassland; grazing system; mowing; soil macrofauna; diversity; functional group.

本文由国家自然科学基金项目(41561055)、内蒙古自然科学基金项目(2015MS0307)、内蒙古大学引智项目和内蒙古师范大学研究生创新基金项目(CXJJS16107)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (41561055), the Natural Science Foundation of Inner Mongolia, China (2015MS0307), the Engineering Project of Inner Mongolia University and the Graduate Innovation Fund of Inner Mongolia Normal University (CXJJS16107).
2016-11-10 Received, 2017-03-24 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuxm6596671@163.com

放牧和刈割是草原最主要的利用方式[1-3].放牧是草畜互作的主要调控手段,是草原植物生产力向动物生产转化的根本性措施,也是草原生物生产转化为经济效益的过程[4].放牧对草原生态系统的影响途径包括选择性采食、践踏和粪尿归还,受放牧动物类型、放牧强度和方式,以及草原植物和环境状况的制约[5-6].刈割对草地凋落物积累的影响最显著,并使植物群落地上生物量下降,杂类草增加,引起生境条件恶化[3,7-8].刈割与放牧一样,移除部分或全部地上植物生物量,但刈割移除对植物没有选择性,也缺乏动物的践踏,更为重要的是刈割移除了养分,但没有类似放牧草地的养分归还.因而放牧和刈割对草原生态系统及其组分(植物、动物、微生物和土壤等)有着不同的影响.过度放牧和刈割都会导致草原的退化[3,9].研究不同利用方式对草地生态系统各组分的影响,是认识管理条件下生态系统的动态规律和机制,以及制定草原可持续利用体系的基础.

土壤动物是陆地生态系统中种类最为丰富的生物组分[10].土壤动物之间、土壤动物与微生物[11]以及植物之间存在着复杂的互作关系,所构成的土壤食物网在维持陆地生态系统稳定、物质循环等方面具有重要作用[12].在生态系统中,不同体型和生活习性的土壤动物具有不同生态功能[11],多数土壤动物可以作为指示生物来评价生态系统的土壤生物学效应、土壤健康水平、生态系统演替或受干扰程度[13-15].放牧对草原土壤动物的影响与放牧强度和方式,以及草原的类型有关,也与不同土壤动物类群的生物学和生态学特征相关[16-19].从土壤动物角度评价放牧对草地生态系统的影响时,选取合适的动物类群非常关键[20].

内蒙古典型草原是我国重要的生态安全屏障和畜牧业发展基地.联产承包责任制背景下草原畜牧业的特征是草原分割到户、围栏放牧,以及刈割储草量显著增加.典型草原放牧和刈割对草原植物群落物种多样性和牧草生产[21-23]以及土壤理化特性[24]的影响已有较多研究,但关于草地利用制度对土壤动物群落影响的研究相对较少,尤其缺乏放牧和刈割对草原土壤动物影响的比较研究.本文以内蒙古典型草原放牧生态系统为对象,研究了放牧和刈割对大型土壤动物群落的影响,为典型草原适合放牧制度的确定和综合评价提供土壤动物方面的依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究地区位于内蒙古自治区锡林郭勒盟中部(43°26′—44°08′ N,116°07′—117°05′ E),海拔1000~1500 m,地势从东南向西北逐渐降低.在植被区划上属于温带草原区的内蒙古典型草原,温带半干旱温凉气候,大陆性特点明显,年均温-1.1~0.2 ℃,夏季温热湿润,冬季寒冷干燥,年降水量280~345 mm,集中于6—8月,植物群落组成以克氏针茅(*Stipa krylovii*)、羊草(*Leymus chinensis*)和糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)为优势种.土壤为厚层栗钙土和典型栗钙土,质地多砂壤或壤砂.

1.2 试验设计

研究地点位于内蒙古锡林浩特市毛登牧场内蒙古大学草地生态学研究基地(44° 10′ 02.4″ N,116°28′56.8″ E),海拔 1160 m.基地所属草场于2011年围封用于草地生态学研究,包括草原放牧和刈草利用实验样地平台.该样地平台包括3个1 hm^2的试验区组,每个区组内随机设置9种放牧和刈割处理,每种处理面积为33.3 m×33.3 m,即每处理有3个重复.小区之间留宽约2 m通道,小区之间以及处理之间以网围栏分隔.

试验开始于2012年春季.2015年,即在连续放牧和刈草处理3年后,选择其中6种处理,研究不同放牧方式和刈割对大型土壤动物的影响.T_1:全季节放牧,即5—9月每月放牧;T_2:早春(5月)和夏季(7月)放牧2次;T_3:夏季(6月)和秋季(8月)放牧2次;T_4:夏季(7月)和晚秋(9月)放牧2次;T_5:秋季(8月)刈割1次.以排除放牧和刈割的小区为对照(CK).

各个季节放牧开始时间为每月的21日,放牧率为每处理6只羊,放牧处理样地以羊草留茬高度为6 cm时确定为终牧期.刈割管理在每年秋季进行,以剪草机刈割牧草地上部分,并移出草地[25].

连续试验3年后,不同处理下的草原已有显著差异.CK由于排除了人为扰动,生长季草群和覆盖度较高,有较多牧草立枯体,地表凋落物较厚;高强度持续放牧导致T_1地表处于裸露状态,草极低,基本无地表凋落物,有较多羊粪残留;3种季节性轮牧处理(T_2、T_3和T_4)的阶段性放牧导致牧草在放牧时期长势较差,终止放牧后有恢复趋势,但植物群落的高度和盖度显著低于CK,地表有放牧羊践踏痕迹和羊粪残留;刈割处理(T_5)中牧草长势较好,生长季草高和盖度均显著高于几种放牧处理,由于刈割的影响,地表植物立枯体和凋落物均较少.

1.3 土壤动物采集和鉴定

2015年6月初、8月初和10月初,用样方法采

集大型土壤动物标本,样方面积为 25 cm×25 cm,深度 30 cm,分 3 层采集土样,手拣收集其中的大型土壤动物.每个处理小区采集 2 个样方,3 个重复,共采集 6 个样方.每次采样工作在 1 周内完成.

标本称鲜质量后,于 75%酒精中保存,在实验室内依据有关文献[26-27]进行分类和统计.除少数难鉴定标本外,大部分标本鉴定到科.因为多数完全变态昆虫的成虫和幼虫食性有区别,因而分别统计.

1.4　数据分析

以重要值表示不同动物类群在群落中的重要性,计算公式为:

重要值(%)=(相对多度+相对生物量)/2

式中:相对多度(生物量)为某动物类群的个体数(生物量)占群落总个体数(生物量)的百分比.重要值>10%为优势类群,1%~10%为常见类群,<1%为稀有类群.

以食性划分大型土壤动物为捕食性、植食性、腐食性和杂食性等 4 个功能群.

采用 Shannon 多样性指数(H)、Pielou 均匀度指数(J)、Margalef 丰富度指数(D_{Ma})和 Simpson 优势度指数(D)计算大型土壤动物群落多样性.计算公式如下[28]:

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

$$J = H/\ln S$$

$$D_{Ma} = (S-1)/\ln N$$

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

式中:S 为土壤动物群落的类群数;P_i 为类群 i 的个体数占群落总个体数的比例;N 为群落总个体数.文中数据以平均值±标准差表示.

以土壤动物群落中不同土壤动物类群的个体数为指标,用系统聚类方法分析各处理大型土壤动物群落之间的相似性.

使用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 进行数据统计与处理.采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差法(LSD)做不同数据组间的差异显著性检验.文中图表采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 完成.

2　结果与分析

2.1　大型土壤动物群落组成

共捕获大型土壤动物 597 只,隶属于 2 门 4 纲 11 目,49 个类群(表 1).其中采集到的螨类为寄生于甲虫上的个体.

在 CK 中捕获大型土壤动物 121 只,26 个类群.优势类群为鳃金龟科幼虫和线蚓科,重要值分别为 35.5%和 11.8%;常见类群有 10 类,稀有类群 14 类.与 CK 比较,放牧和刈割导致大型土壤动物群落优势类群组成和数量的明显变化,T_2、T_3 和 T_4 处理的优势类群均明显增多;不同处理常见类群和稀有类群组成和数量的变化更为明显.

从图 1 可以看出,4 种放牧处理均有降低大型土壤动物群落个体密度、类群数和生物量的趋势.其中,T_2 处理下降低最多,但大多与 CK 间差异不显著($P>0.05$),仅类群数显著较低($P<0.05$).刈割管理(T_5)有使大型土壤动物群落个体密度、类群数和生物量提高的趋势,但与 CK 也无显著差异($P>0.05$).4 种放牧处理间比较,T_3 处理下大型土壤动物群落个体密度、类群数和生物量值相对较高.

鳃金龟科幼虫、蜘蛛、隐翅甲科幼虫和步甲成虫 4 个动物类群的个体密度在不同处理之间有显著差异(图2).共同特征是,放牧处理下个体密度较低,

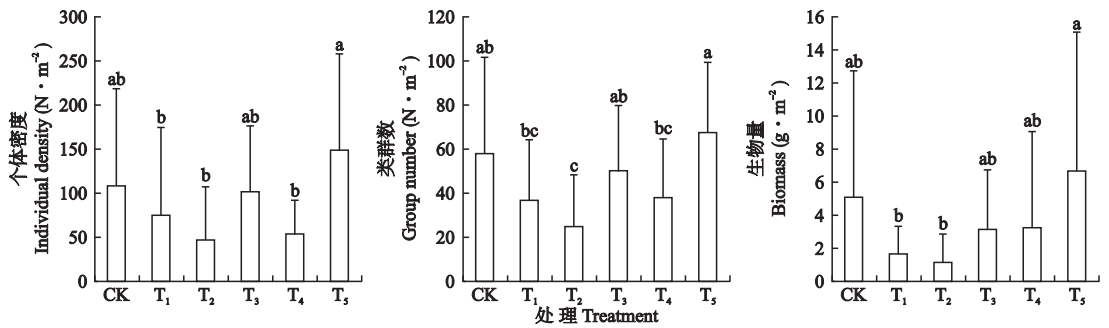


图 1　放牧和刈割对大型土壤动物群落个体密度、类群数和生物量的影响

Fig.1　Influences of grazing and mowing on the individual density, group number and biomass of soil macrofauna community.

T_1: 全季节放牧 Full season grazing; T_2: 春季和夏季放牧 2 次 Grazing 2 times in spring and summer respectively; T_3: 夏季和秋季放牧 2 次 Grazing 2 times in summer and autumn respectively; T_4: 夏季和晚秋放牧 2 次 Grazing 2 times in summer and late autumn respectively; T_5: 秋季刈割 1 次 Mowing 1 time in autumn. 不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Different letters indicated significant differences among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

表 1 放牧和刈割对内蒙古典型草原大型土壤动物群落组成的影响

Table 1 Influences of grazing and mowing on the composition of soil macrofaunal community in a typical steppe of Inner Mongolia

类群 Group	CK		T_1		T_2		T_3		T_4		T_5		功能群 Functional group
	个体数 Individual number (*N*)	重要值 Importance value (%)	个体数 Individual number (*N*)	重要值 Importance value (%)	个体数 Individual number (*N*)	重要值 Importance value (%)	个体数 Individual number (*N*)	重要值 Importance value (%)	个体数 Individual number (*N*)	重要值 Importance value (%)	个体数 Individual number (*N*)	重要值 Importance value (%)	
线蚓科 Enchytraeidae	13	11.83	22	20.10	2	4.05	5	3.22	4	4.63	13	5.44	Sa
奥甲螨科 Oppiidae	0	0.00	2	1.18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Sa
步甲螨科 Carabodidae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.30	Sa
赤螨科 Erythraeidae	1	0.43	2	1.23	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Pr
盾螨科 Scutacaridae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.83	0	0.00	Pr
绒螨科 Trombidiidae	0	0.00	0	0.00	1	0.96	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Pr
其他甲螨 other Oribatida	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.83	0	0.00	Sa
光盔蛛科 Liocranidae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.97	1	0.36	Pr
逍遥蛛科 Philodromidae	5	2.27	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Pr
蟹蛛科 Thomisidae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.32	Pr
平腹蛛科 Gnaphosidae	1	0.47	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.35	Pr
球蛛科 Theridiidae	2	1.16	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Pr
狼蛛科 Lycosidae	0	0.00	1	1.13	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	1.70	Pr
跳蛛科 Salticidae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.39	Pr
地蜈蚣科 Geophilidae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.42	Pr
蝗科 Acrididae	1	0.70	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Ph
盲蝽科 Miridae	2	0.88	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	0.99	Ph
长蝽科 Lygaeidae	1	0.48	1	0.62	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Ph
蜡蝉科 Fulgoridae	2	0.85	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.32	Ph
叶蝉科 Cicadellidae	2	0.85	2	1.23	0	0.00	3	1.37	0	0.00	1	0.40	Ph
蚧科 Coccidae	0	0.00	5	3.54	5	5.29	1	0.47	0	0.00	0	0.00	Ph
其他同翅目 other Homoptera	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.74	0	0.00	0	0.00	Ph
三锥象科成虫 Brentidae adult	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.97	0	0.00	Ph
天牛科幼虫 Cerambycidae larvae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.61	0	0.00	0	0.00	Ph
蚁形甲科成虫 Anthicidae adult	1	0.80	0	0.00	0	0.00	3	2.25	3	3.89	4	1.69	Pr
叩甲科幼虫 Elateridae larvae	0	0.00	0	0.00	2	2.47	1	0.77	0	0.00	0	0.00	Ph
丽金龟科幼虫 Rutelidae larvae	6	4.70	6	22.34	10	41.91	13	18.53	6	25.85	5	5.72	Ph
步甲科成虫 Carabidae adult	11	7.70	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.83	Ph
步甲科幼虫 Carabidae larvae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	1.03	0	0.00	1	0.34	Pr
拟步甲科成虫 Tenebrionidae adult	1	0.45	0	0.00	0	0.00	1	0.76	0	0.00	2	1.07	Pr
拟步甲科幼虫 Tenebrionidae larvae	3	2.05	2	5.96	1	1.00	3	1.89	2	2.21	10	4.71	Sa
瓢甲科成虫 Coccinellidae adult	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.96	0	0.00	2	0.96	Sa
瓢甲科幼虫 Coccinellidae larvae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.49	Pr
象甲科幼虫 Curculionidae larvae	1	0.70	4	3.27	0	0.00	0	0.00	1	1.03	0	0.00	Pr
鳃金龟科成虫 Melolonthidae adult	0	0.00	2	5.34	0	0.00	1	2.18	0	0.00	4	4.90	Ph
鳃金龟科幼虫 Melolonthidae larvae	22	35.45	6	12.28	5	17.34	16	35.04	8	27.49	26	30.76	Ph
隐翅甲科成虫 Staphylinidae adult	1	0.74	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.22	1	1.17	Ph
隐翅甲科幼虫 Staphylinidae larvae	18	8.50	9	6.24	12	12.93	17	8.45	16	14.87	49	24.26	Pr
叶甲科成虫 Chrysomelidae adult	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.46	Pr
叶甲科幼虫 Chrysomelidae larvae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.39	Ph
芫菁科幼虫 Meloidae larvae	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.59	0	0.00	0	0.00	Ph
夜蛾科幼虫 Noctuidae larvae	2	1.19	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.16	1	0.46	Pr
螟蛾科幼虫 Pyralidae larvae	1	0.57	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	2.79	1	0.39	Ph
长足虻科成虫 Dolichopodidae adult	0	0.00	2	2.03	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.41	Ph
盗虻科幼虫 Mydaidae larvae	2	1.08	5	3.89	0	0.00	6	3.86	1	1.01	5	3.04	Pr
虻科幼虫 Tabanidae larvae	1	0.62	0	0.00	0	0.00	1	0.72	0	0.00	0	0.00	Pr
蚁科成虫 Formicidae adult	12	5.62	13	8.40	14	14.05	36	16.56	12	10.48	22	6.98	Pr
蚁科幼虫 Formicidae larvae	7	7.41	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Om
肿腿蜂科成虫 Cleonymidae adult	1	0.55	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	Om

T_1：全季节放牧 Full season grazing；T_2：春季和夏季放牧 2 次 Grazing 2 times in spring and summer respectively；T_3：夏季和秋季放牧 2 次 Grazing 2 times in summer and autumn respectively；T_4：夏季和晚秋放牧 2 次 Grazing 2 times in summer and late autumn respectively；T_5：秋季刈割 1 次 Mowing 1 time in autumn. Pr：捕食性 Predatory；Ph：植食性 Phytophagous；Om：杂食性 Omnivorous；Sa：腐食性 Saprophagy.

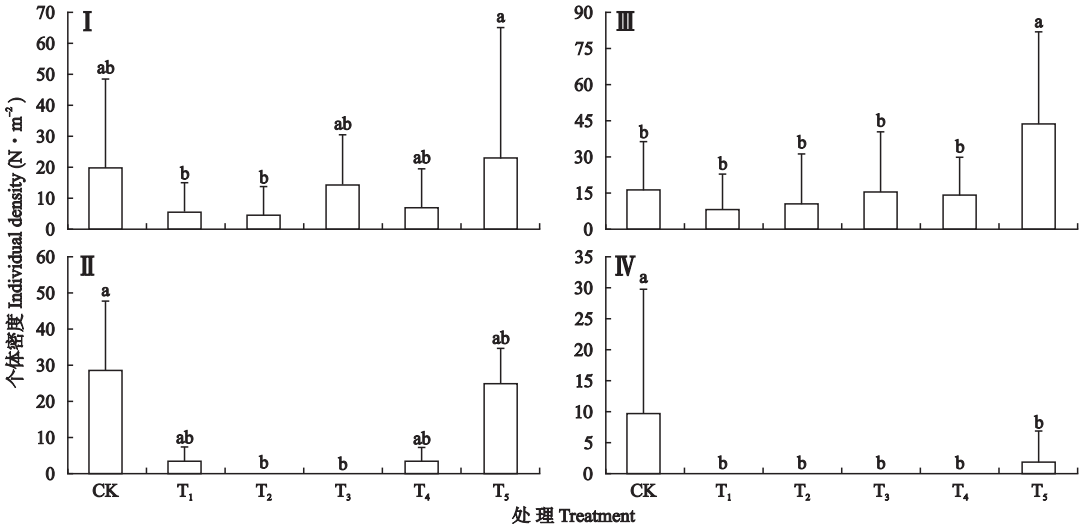


图 2　放牧和刈割对大型土壤动物主要类群个体密度的影响

Fig.2　Influences of grazing and mowing on the individual density of major soil macrofauna.

Ⅰ：鳃金龟幼虫 Melolonthidae larvae；Ⅱ：蜘蛛 Spider；Ⅲ：隐翅甲幼虫 Staphylinidae larvae；Ⅳ：步甲成虫 Carabidae adult.

刈割管理下相对较高，蜘蛛和步甲这种特征表现更加突出.鳃金龟幼虫和隐翅甲幼虫个体密度均值在 T_3 处理下相对较高.

2.2　大型土壤动物垂直分布

大型土壤动物在土壤中的垂直分布具有表聚性，这在 CK 中表现的极为典型(图 3).综合全年采样数据，放牧和刈割对大型土壤动物的垂直分布形式影响不明显，各处理下都保持表聚性特征.8 月土壤动物的垂直分布与全年数据综合计算的结果类似.

不同季节采样的结果略有不同，放牧和刈割对 6 月和 10 月大型土壤动物垂直分布形式的影响较为明显(图 3).6 月，T_2、T_3 和 T_5 处理土壤动物分布的表聚性减弱.10 月，T_1、T_2 和 T_4 处理的表聚性提高，T_3 和 T_5 相反.

2.3　放牧和刈割对大型土壤动物群落季节动态的影响

从图 4 可以看出，CK 中大型土壤动物群落个体密度和类群数均呈低-高-低的季节动态特征，生物量在季节间的变化幅度较小.刈割(T_5)和全季节放牧(T_1)处理，土壤动物群落个体密度的动态与CK

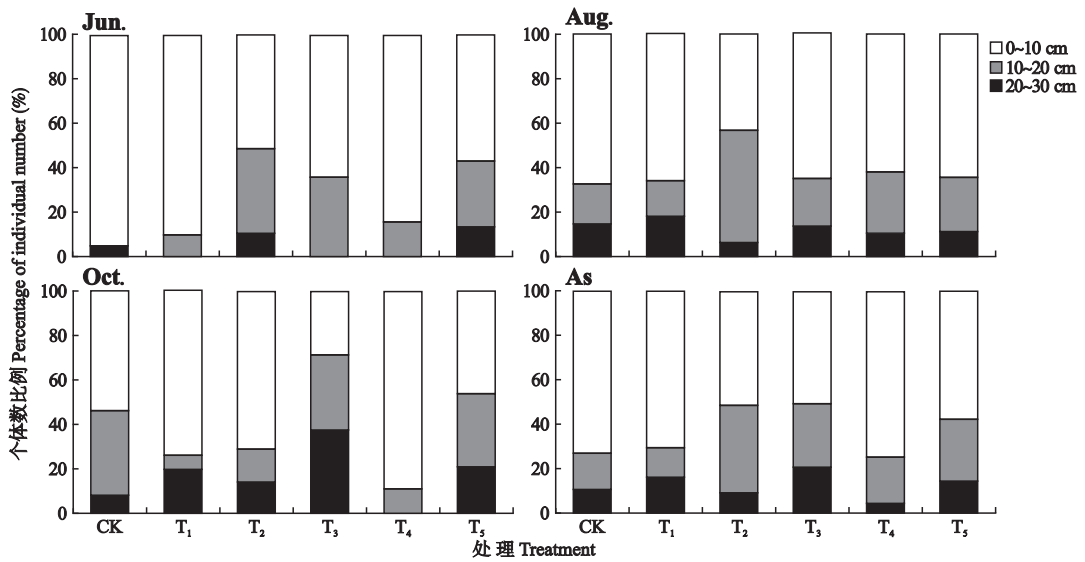


图 3　放牧和刈割对大型土壤动物垂直分布的影响

Fig.3　Effects of grazing and mowing on the vertical distribution of soil macrofauna.

As：全年 All seasons. 下同 The same below.

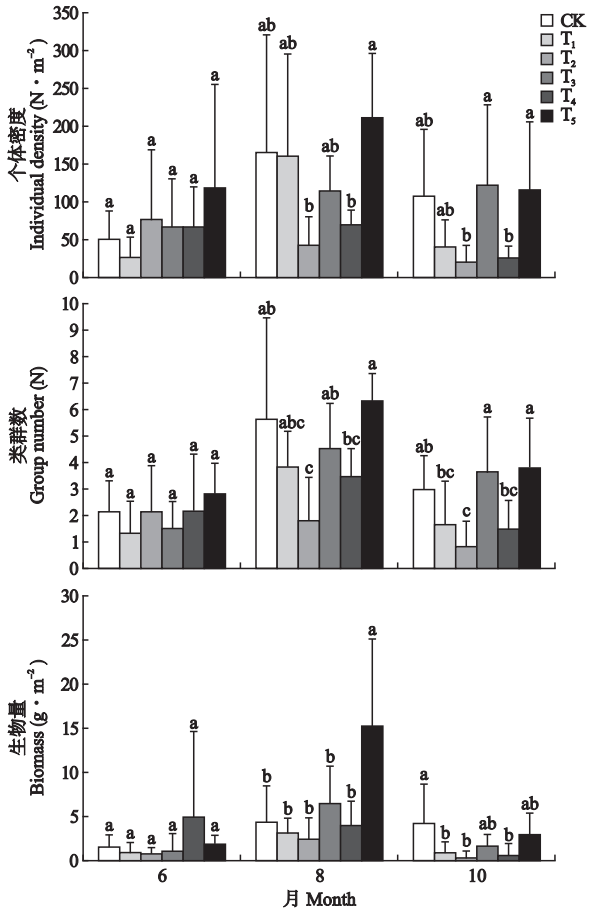


图 4 放牧和刈割对大型土壤动物群落季节动态的影响

Fig.4 Influences of grazing and mowing on seasonal dynamics of soil macrofauna communities.

不同字母表示同一季节不同处理间差异显著($P<0.05$) Different letters indicated significant differences among treatments in the same season at 0.05 level. 下同 The same below.

一致;其他 3 种放牧处理发生了明显变化,T_2 和 T_4 处理呈下降趋势,T_3 处理则呈提高趋势;T_2 处理中的土壤动物群落类群数及 T_4 处理中的土壤动物群落生物量呈下降趋势.

进一步分析 6 个主要动物类群个体密度的季节动态,从图 5 可以看出,放牧和刈割对线蚓、隐翅甲幼虫和丽金龟幼虫个体密度的季节动态影响不大.除全季节放牧外,其他处理均导致蚁科成虫春季或秋季捕获数量提高,T_3 处理更加明显;在多数处理中,鳃金龟幼虫夏季数量有提高趋势,并以 T_5 和 T_3 处理最为明显;蜘蛛对放牧和刈割的响应较为特殊,无论哪种放牧处理,均导致其数量的明显减少,刈割下,蜘蛛的数量减少不明显,但动态形式有了变化,即春季和夏季有一定程度的提高,秋季有降低趋势.

2.4 放牧和刈割对大型土壤动物功能群的影响

依据食性特征,将捕获的 49 个大型土壤动物类群分为捕食性、植食性、腐食性和杂食性等 4 个功能群(表 1).

综合分析全年采样数据,CK 的捕食性和植食性功能群比例高于杂食性和腐食性功能群;刈割对各功能群的相对比例影响不明显,全季节放牧导致捕食性功能群比例降低、腐食性功能群比例提高,季节性轮牧则导致捕食性功能群比例降低、杂食性功能群比例提高(图 6).

2.5 大型土壤动物群落的多样性和相似性

从图 7 可以看出,不同放牧和刈割处理之间大型土壤动物群落的均匀度(J)和优势度(D)指数变动范围较小;多样性(H)和丰富度(D_{Ma})指数变化范围较大.

在 6 月(春季),大型土壤动物群落的 4 种多样性指数在不同处理之间均无显著差异.在 8 月(夏季)和 10 月(秋季),各多样性指数在几种放牧处理中大多显示出降低趋势,并以 T_2 处理降低幅度最大,T_3 处理降低幅度最小.刈割(T_5)处理下,各多样性指数则较 CK 有提高趋势.综合全年采样数据计算的结果与上述结果基本相似.

从图 8 可以看出,6 种处理下大型土壤动物群落的相似性为 T_2、T_4 和 T_1 之间的相似性较高,CK、T_3 和 T_5 与它们之间的差异逐渐加大.即,T_3 处理的大型土壤动物群落与 CK 相似性较高,T_2 和 T_4 处理的大型土壤动物群落与全季节放牧处理(T_1)更相似.

3 讨 论

3.1 大型土壤动物对全季节放牧和刈割的响应

典型草原生态系统是中国温带草原地区的一个部分,主要分布于内蒙古[29],是中国传统牧区人口密度最大的一类放牧系统,有刈草过冬传统,以季节性轮牧与刈草相结合的放牧地轮换模式为主[4].由于家畜数量的增加(主要为绵羊、山羊和牛)和土地利用方式的改变(定居放牧代替半游牧放牧系统),典型草原生产力近几十年来大幅度减小[30-31].

单纯放牧或刈割管理是典型草原地区草地的常见管理方式.采用放牧管理的草地多处于过度放牧状态,极度退化,生产力严重降低;采取刈割管理的草地因为排除了放牧影响,状况相对较好,但面临持续收获生物量情况下养分流失的问题[3,23].采样区不同管理条件下草地植被的状况已有报道[25],与笔者的观测结果一致,即在固定放牧强度的情况下,全季节放牧处理会导致草地地表大面积裸露、凋落物积累量降低;刈割处理下尽管草群高度也明显降低,

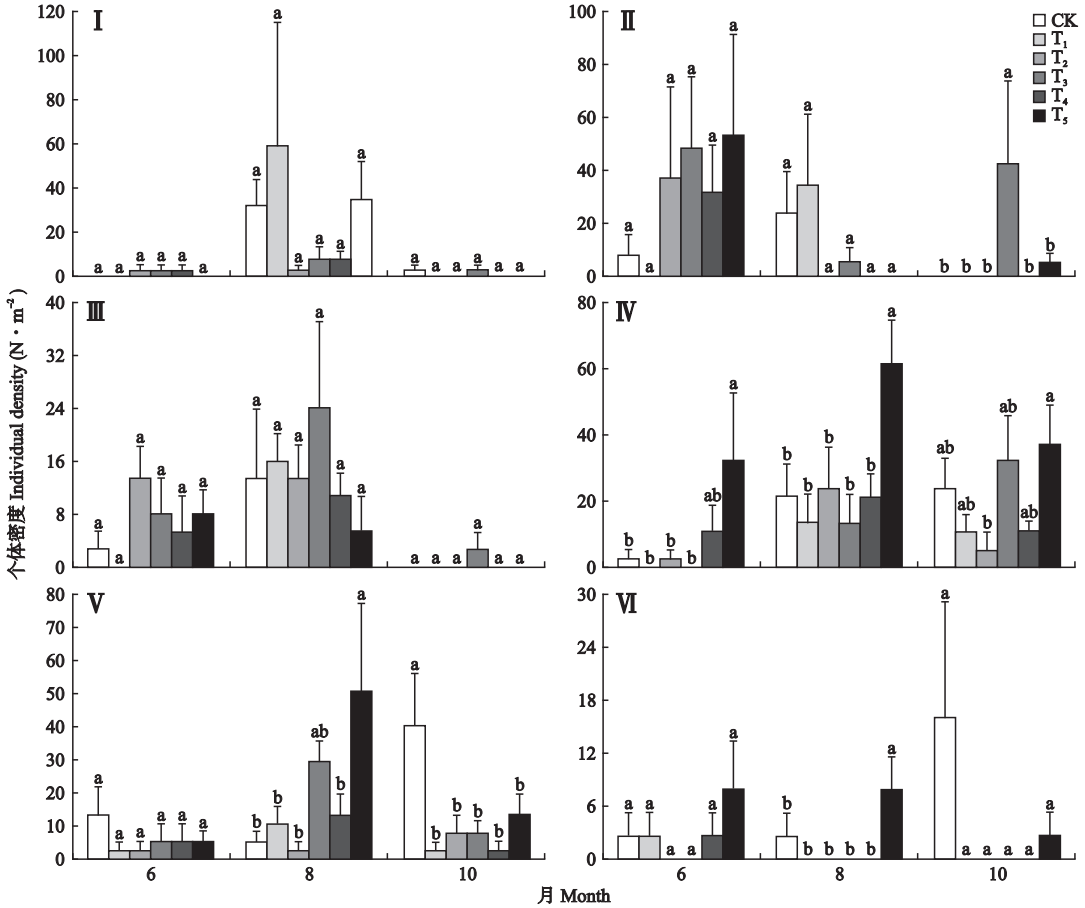


图 5　放牧和刈割对大型土壤动物群落主要类群季节动态的影响

Fig.5　Effects of grazing and mowing on the seasonal dynamic of main soil macrofaunal groups.

Ⅰ：线蚓科 Enchytraeidae；Ⅱ：蚁科成虫 Formicidae adult；Ⅲ：丽金龟科幼虫 Rutelidae larvae；Ⅳ：隐翅甲幼虫 Staphylinidae larvae；Ⅴ：鳃金龟幼虫 Melolonthidea larvae；Ⅵ：蜘蛛 Spider.

但植被覆盖度仍然较高，并不出现裸露地表.本研究结果表明，大型土壤动物群落有类似于植被的响应形式，即在全季节放牧影响下，土壤动物群落各项指标（包括群落个体密度、类群数和生物量，以及主要动物类群的个体密度）均明显降低；刈割的影响则相对较轻，土壤动物群落各项指标甚至有提高的趋势.因此，刈割管理对退化草地土壤动物群落的恢复较为有利.

3.2　季节性轮牧对大型土壤动物的影响

放牧践踏对土壤动物有直接影响，但更主要的影响可以通过践踏导致土壤理化性质（如土壤紧实度和含水量等）变化、以及选择性采食改变植物群落特征而间接体现[15,32-33].这种间接影响会延续至轮牧制度的休牧期.高强度放牧对土壤动物、土壤微生物和土壤原生动物个体数有负面影响[16-17,19]，但对土壤线虫个体数有正效应[18-19].有研究表明，不同土壤动物类群对放牧强度的响应不同，重度放牧有利于地表节肢动物，中度放牧利于土壤节肢动物，轻度放牧利于土壤线虫[20].

本研究表明，3 种季节性轮牧对大型土壤动物群落均有负面影响，即不论哪个季节放牧，均导致土壤动物各项群落指标（如个体密度、类群数、生物量和多样性指数等）明显降低.从影响程度看，3 种季节性轮牧（T_2、T_3和 T_4）对土壤动物群落的负面影响均小于全季节放牧（T_1）.3 种季节性轮牧相互比较，夏季和秋季放牧 2 次处理（T_3）对土壤动物群落个体密度、生物量和多样性等指标的影响较轻.在本文的试验设计中，每种季节性轮牧处理均有 2 次放牧，T_3处理的 2 次放牧分别在 6 月和 8 月下旬，基本处于典型草原大型土壤动物群落发生（图 5 和图 6）和牧草生长的旺盛时期，土壤动物群落对放牧牲畜扰动的抵抗力较强.而 T_2和 T_4处理各有 1 次放牧，分别在早春（5 月下旬）和晚秋（9 月下旬），多数土壤动物处在季节转换中的出眠和入眠状态，对放牧扰

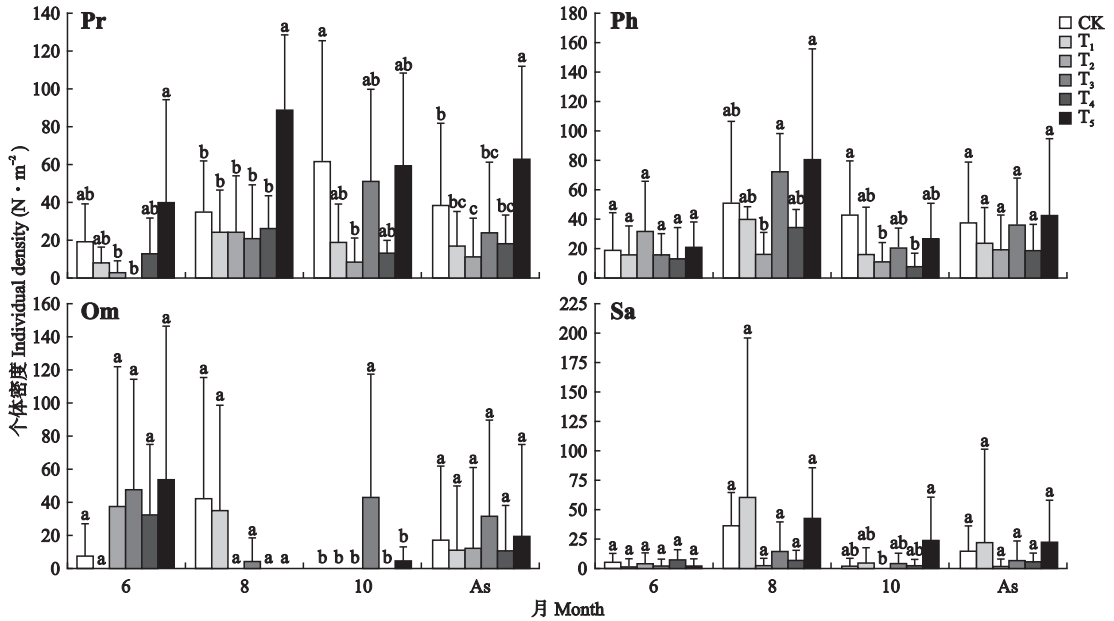


图 6 放牧和刈割对大型土壤动物功能群个体密度的影响

Fig.6 Influence of grazing and mowing on the individual density of different functional groups of soil macrofauna.

Pr: 捕食性 Predatory; Ph: 植食性 Phytophagous; Om: 杂食性 Omnivorous; Sa: 腐食性 Saprophagy.

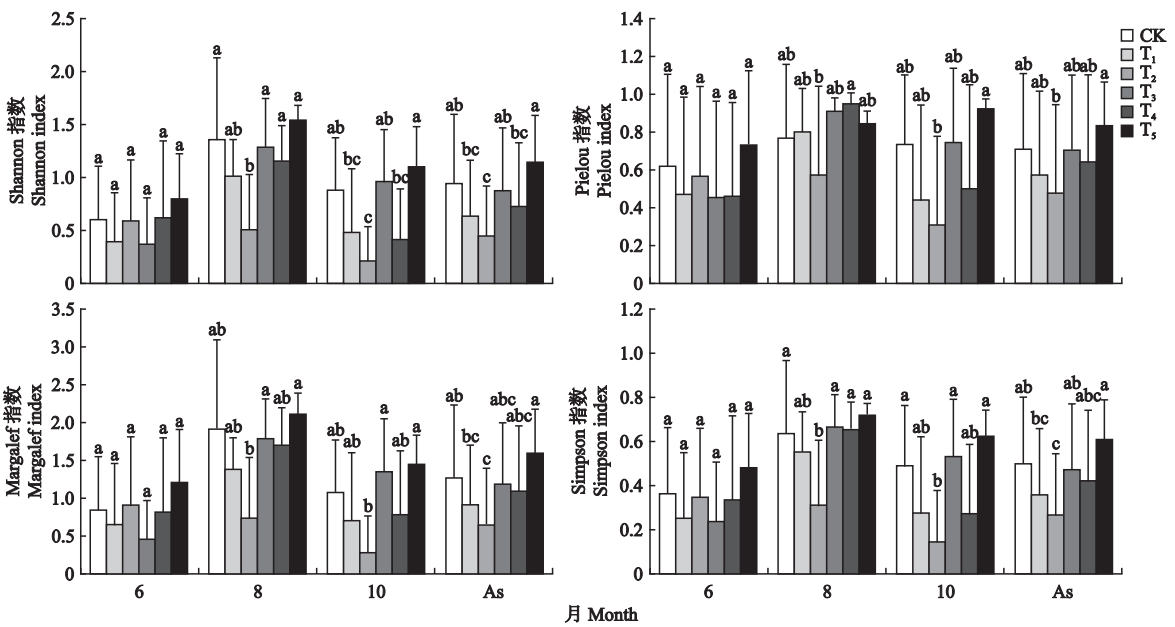


图 7 放牧和刈割对大型土壤动物群落多样性的影响

Fig.7 Influences of grazing and mowing on the diversity of soil macrofauna communities.

动较为敏感.这可能是 T_2 和 T_4 处理对大型土壤动物群落负面影响较重的主要原因.

控制放牧强度的轮牧是草原管理的有效方式,季节性休牧能够使草地牧草生长得以较大程度的恢复,在改良草地和防止草地退化方面有显著作用[34-35].从大型土壤动物角度看,典型草原适合的季节性轮牧形式应该是夏季和秋季放牧 2 次处理(T_3),即在大型土壤动物发生和牧草生长的旺季.

3.3 放牧和刈割对大型土壤动物多样性和功能群的影响

4 种不同的多样性指数分别反映土壤动物群落多样性的不同侧面,H 和 D_{Ma} 指数变化范围较大,说明不同轮牧制度对土壤动物多样性有明显影响;J 和 D 指数变动范围较小则说明对类群之间竞争排斥强度的影响较小.这与李萌等[36]的研究结果类似.几种放牧处理均导致土壤动物群落多样性降低;

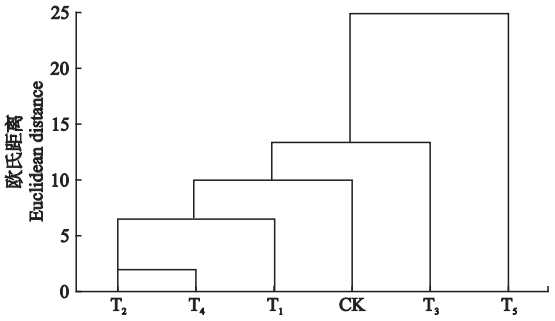


图 8　不同放牧和刈割处理下大型土壤动物群落聚类分析

Fig.8　Cluster analysis of soil macrofauna communities under different grazing and mowing treatments.

3 种季节性轮牧处理比较,T_3处理多样性指数均显著高于 T_2处理($P<0.05$),显然,T_2处理中的早春(5 月下旬)放牧对土壤动物群落多样性负面影响较大,且从 T_2处理 8 月和 10 月的采样结果看,终止放牧干扰后,其大型土壤动物群落也不易恢复.这与多数土壤动物早春以幼体或幼虫为主、对放牧践踏较为敏感有关.

理论上讲,放牧导致牧草产量降低和凋落物积累量减少,改变了植食性土壤动物的食物组成,影响植食性土壤动物的个体数,继而会导致捕食性土壤动物个体数降低.但本研究结果似乎与以上推论不符,在放牧影响下,植食性土壤动物的个体密度并未明显降低(图 7),捕食性土壤动物个体密度在放牧影响下则明显降低.这与土壤动物不同功能群的生物学和生态学特征有关,典型草原大型土壤动物群落的植食性动物类群主要为植食性金龟子幼虫(如鳃金龟和丽金龟幼虫),在土壤中生活;捕食性动物类群主要包括蜘蛛和步甲,在地面活动,两种功能群的多数类群之间不存在严格的取食和被食关系.

本研究表明,放牧并不减低植食性土壤动物功能群的个体密度,意味着植食性功能群对放牧的直接和间接影响均不敏感,捕食性功能群个体密度的降低应该是放牧践踏和地表植物群落覆盖度降低的结果,与捕食性大型土壤动物功能群主要由蜘蛛和步甲等地表活动的动物类群构成有关.

4　结　　论

全季节放牧会导致大型土壤动物群落个体密度、生物量和多样性降低;刈割的影响则相对较轻,土壤动物群落个体密度、生物量和多样性甚至有提高的趋势.说明刈割管理对内蒙古典型草原大型土壤动物群落的恢复较为有利.同时,3 种季节性轮牧处理比较,夏季(6 月)和秋季(8 月) 放牧 2 次处理(T_3)对大型土壤动物群落个体密度、生物量和多样性等指标的负面影响较轻.在内蒙古典型草原管理中,适度刈割可能会促进过度放牧导致的草地退化的恢复;适当强度轮牧管理中,适合的轮牧形式为夏季和秋季放牧 2 次,即轮牧时间应该选择在大型土壤动物的发生旺季.

参考文献

[1] Li YH. Impact of grazing on *Aneurolepidium chinense* steppe and *Stipa grandis* steppe. *Acta Oecologica*, 1989, **10**: 31-46

[2] Hou F-J (侯扶江), Yang Z-Y (杨中艺). Effects of grazing of livestock on grassland. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(1): 244-264 (in Chinese)

[3] Baoyin T, Li FY, Minggagud H, *et al*. Effects of mowing regimes and climate variability on hay production of *Leymus chinensis* grassland in northern China. *Rangeland Journal*, 2014, **36**: 245-253

[4] Hou F-J (侯扶江), Ning J (宁　娇), Feng Q-S (冯琦胜). The type and productivity of grassland grazing system. *Pratacultural Science* (草业科学), 2016, **33**(3): 353-367 (in Chinese)

[5] Li Y-H (李永宏), Wang S-P (汪诗平). Response of plant and plant community to different stocking rates. *Grassland of China* (中国草地), 1999, **21**(3): 11-19 (in Chinese)

[6] Wan HW, Bai YF, Schönbach P, *et al*. Effects of grazing management system on plant community structure and functioning in a semiarid steppe: Scaling from species to community. *Plant and Soil*, 2011, **340**: 215-226

[7] Wang R-Z (王仁忠). The effects of grazing and mowing on a *Leymus chinensis* grassland in the Songnen Plain of northeastern China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1998, **18**(2): 210-213 (in Chinese)

[8] Yang S-M (杨尚明), Jing J (金　娟), Wei Z-J (卫智军), *et al*. Effect of cutting on community characteristics in grassland for hay in Hulunbuir. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2015, **37**(1): 90-96 (in Chinese)

[9] Zhou Z, Sun O, Huang J, *et al*. Soil carbon and nitrogen stores and storage potential as affected by land-use in an agro-pastoral ecotone of northern China. *Biogeochemistry*, 2007, **82**: 127-138

[10] Giller PS. The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'. *Biodiversity and Conservation*, 1996, **5**: 135-168

[11] Shao Y-H (邵元虎), Zhang X-W (张卫信), Liu S-J (刘胜杰), *et al*. Diversity and function of soil fauna. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2015, **35**(20): 6614-6625 (in Chinese)

[12] Bardgett RD, Wardle DA. Aboveground-belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change. Oxford: Oxford University Press, 2010

[13] Bongers T, Ferris H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, **14**: 224-228

[14] Shao YH, Zhang WX, Liu ZF, *et al*. Responses of soil microbial and nematode communities to aluminum toxicity in vegetated oil-shale-waste lands. *Ecotoxicology*, 2012, **21**: 2132-2142
[15] Cui L-W (崔丽巍), Liu S-R (刘世荣), Liu X-L (刘兴良), *et al*. Changes of soil faunal communities during the restoration progress of *Abies faxoniana* forests in Northwestern Sichuan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(15): 4772-4783 (in Chinese)
[16] 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): 2849-2855 (in Chinese)
[17] Liu X-M (刘新民), Liu Y-J (刘永江), Guo L (郭砺). The effects of grazing pressures on community dynamic of macrofauna in Inner Mongolia typical steppe. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 1999, **7**(3): 228-235 (in Chinese)
[18] Hai T (海 棠), Bademagaribu (巴德玛嘎日布). Effects of grazing disturbance on the diversities of the meadow grassland *Leymus chinensis* pland and foundation soil pland parasitic nematides. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (内蒙古农业大学学报), 2012, **33**(3): 83-87 (in Chinese)
[19] Sha Qi, Zheng HX, Lin QM, *et al*. Effects of livestock grazing intensity on soil biota in a semiarid steppe of Inner Mongolia. *Plant and Soil*, 2011, **340**: 117-126
[20] Wu Q (武 崎), Wu P-F (吴鹏飞), Wang Q (王群), *et al*. Effects of grazing intensity on the community structure and diversity of different soil fauna in alpine meadow. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2016, **49**(9): 1826-1834 (in Chinese)
[21] Li YH, Wang W, Liu ZL, *et al*. Grazing gradient versus restoration succession of *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. grassland in Inner Mongolia. *Restoration Ecology*, 2008, **16**: 572-583
[22] Meng R (蒙 荣), Hu Q-F (胡秋芳), Wei Z-J (卫智军), *et al*. Study on sexual reproduction of plant population of *Stipa grandis* steppe under different grazing system. *Grassland of China* (中国草地), 2004, **26**(4): 11-15 (in Chinese)
[23] Schönbach P, Wan HW, Gierus M, *et al*. Grassland responses to grazing: Effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem. *Plant and Soil*, 2011, **340**: 103-115
[24] Steffens M, Kölbl A, Totsche KU, *et al*. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P. R. China). *Geoderma*, 2008, **143**: 63-72
[25] Zhao K (赵 康), Baoyin T-G-T (宝音陶格涛). Effect of seasonal grazing use productivity of grassland community. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2014, **36**(1): 109-115 (in Chinese)
[26] Ying W-Y (尹文英). Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese)
[27] Zhong J-M (钟觉民). Larval Taxonomy. Beijing: China Agriculture Press, 1990 (in Chinese)
[28] Qian Y-Q (钱迎倩), Ma K-P (马克平). Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: China Science and Technology Press, 1994 (in Chinese)
[29] Kang L, Han XG, Zhang ZB, *et al*. Grassland ecosystems in China: Review of current knowledge and research advancement. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 2007, **362**: 997-1008
[30] Tong C, Wu J, Yong S, *et al*. A landscape-scale assessment of steppe degradation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 2004, **59**: 133-149
[31] Wang RZ, Ripley EA. Effects of grazing on a *Leymus chinensis* grassland on the Songnen plain of north-eastern China. *Journal of Arid Environments*, 1997, **36**: 307-318
[32] Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, *et al*. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, **304**: 1629-1633
[33] Wu P-F (吴鹏飞), Yang D-X (杨大星). Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2011, **31**(13): 3745-3757 (in Chinese)
[34] Han G-D (韩国栋), Wei Z-J (卫智军), Xu Z-X (许志信). Experiment on rotational grazing system in *Stipa breviflora* desert steppe. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (内蒙古农业大学学报), 2001, **22**(1): 60-67 (in Chinese)
[35] Zhou D-W (周道玮), Zhong R-Z (钟荣珍), Sun H-X (孙海霞), *et al*. Principles for design of rotational grazing systems. *Acta Pratacultural Science* (草业学报), 2015, **24**(2): 176-184 (in Chinese)
[36] Li M (李 萌), Wu P-F (吴鹏飞), Wang Y (王永). Vertical distributions of soil fauna communities on the eastern slope of Gongga Mountain. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2015, **35**(7): 2295-2307 (in Chinese)

作者简介 刘 霞, 女, 1990 年生, 硕士研究生, 主要从事土壤动物生态学研究. E-mail: 840484177@qq.com

责任编辑 肖 红

刘霞, 赵东, 程建伟, 等. 放牧和刈割对内蒙古典型草原大型土壤动物的影响. 应用生态学报, 2017, **28**(6): 1869-1878
Liu X, Zhao D, Chen J-W, *et al*. Effects of grazing and mowing on macrofauna communities in a typical steppe of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(6): 1869-1878 (in Chinese)