

DOI: 10.5846/stxb201807301618

邵珍珍, 吴鹏飞. 小型表栖节肢动物群落对高寒湿地退化的响应. 生态学报, 2019, 39(19): - .

Shao Z Z, Wu P F. Responses of epigeic microarthropods to alpine wetland degradation. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(19): - .

小型表栖节肢动物群落对高寒湿地退化的响应

邵珍珍, 吴鹏飞*

西南民族大学青藏高原研究院, 成都 610041

摘要:为查明小型表栖节肢动物群落对高寒湿地退化的响应, 2014 年 7 月和 9 月利用吸虫器法对若尔盖高寒湿地的沼泽草甸、草原草甸、中度退化草甸 3 种生境的小型表栖节肢动物群落进行调查。结果为: 共采集到小型表栖节肢动物 18661 只, 隶属于 3 纲 15 目 85 类(科或属), 优势类群为球圆跳属(*Sphaeridia*)、长跳属(*Entomobrya*)和蓼蛾科(*Rhagidiidae*), 其中长跳属仅出现在草原草甸。小型表栖节肢动物群落结构在不同生境间差异明显, 主成分分析(PCA)结果表明影响群落结构的主要类群是长跳属(*Entomobrya*)、球圆跳属(*Sphaeridia*)、齿步甲属(*Odontocephus*)、瘤蚜科(*Pemphigidae*)和叶蝉科(*Jassidae*), 但不同月份间存在差异。小型表栖节肢动物的群落密度及类群数均以草原草甸最高, 中度退化草甸最低, 三种生境间有显著差异($P < 0.01$)。三种生境的小型表栖节肢动物群落密度均是 7 月显著低于 9 月($P < 0.01$), Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度指数则是 7 月显著高于 9 月($P < 0.01$); 类群数在沼泽草甸中 7 月显著低于 9 月($P < 0.05$), 在草原草甸和中度退化草甸则是 7 月显著高于 9 月($P < 0.05$)。典范对应分析(CCA)及多元回归分析结果表明植物种类、生物量、土壤有机质含量是影响小型表栖节肢动物群落组成结构、密度及多样性的主要因子。研究结果表明高寒湿地退化能够显著影响小型表栖节肢动物群落的组成结构、密度和多样性及其季节动态。

关键词:小型表栖节肢动物; 高寒湿地; 吸虫器法; 若尔盖

Responses of epigeic microarthropods to alpine wetland degradation

SHAO Zhenzhen, WU Pengfei*

Institute of Qinghai-Tibetan Plateau, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China

Abstract: Three typical habitat types, swampy meadow, grassland meadow, and moderately degraded meadow, were selected in Zoigê wetland and epigeic microarthropods were investigated using motor-sucking machine in July and September 2014. The aim of this study was to reveal the responses of epigeic microarthropods to the degradation of alpine wetland. A total of 18661 epigeic microarthropod specimens were collected during the research periods and classified into 3 classes, 15 orders, and 85 taxonomic groups (families or genus). The results showed that *Sphaeridia*, *Entomobrya*, and *Rhagidiidae* were the dominant taxonomic groups, and that *Entomobrya* were only present in grassland meadow. The structural composition of epigeic microarthropod communities differed markedly among the three different degradation stages. Principal component analysis results showed that the community structure was determined by *Entomobrya*, *Sphaeridia*, *Odontocephus*, *Pemphigidae* and *Jassidae*. Maximum values of abundances and taxonomic richness were obtained for the grassland meadow, and minimum values were recorded in the moderately degraded meadow. Significant differences were detected among the abundances and taxonomic richness of the three habitats ($P < 0.01$). The monthly dynamics in taxonomic richness of the epigeic microarthropod communities also differed among the three habitats ($P < 0.01$). For all three habitats, microarthropods were significantly more abundant in July than in September. Shannon-Wiener and Simpson dominant indices

基金项目:国家自然科学基金项目(41371270); 四川省应用基础研究重点项目(2018JY0556); 四川省重点研发项目(2018SZ0333); 西南民族大学研究生创新项目(CX2018SZ112)联合资助

收稿日期: 2018-07-30; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wupf@swun.edu.cn

were higher in July than in September, although the differences were not significant ($P < 0.01$). The number of taxonomic groups of epigeic microarthropods was significantly lower in July than in September in the swampy meadow ($P < 0.05$), whereas it was significantly higher in July for the grassland and moderately degraded meadows ($P < 0.05$). The results of canonical correspondence and multiple regression analyses showed that the composition, abundances, and diversity of epigeic microarthropod communities were affected by the factors of species richness, biomass of plant communities, and contents of soil organic matter. The results indicated that in addition to changes in seasonal patterns, the degradation of alpine wetland has had significant effects on the composition, abundance, and diversity of the epigeic microarthropod communities.

Key Words: epigeic microarthropod; alpine wetland; motor-sucking method; Zoigê

湿地是陆地生态系统重要组成部分,具有调节气候、涵养水源、维系生态平衡等功能。青藏高原东缘的若尔盖湿地是世界上最典型的高原湿地,该区域不仅是黄河和长江的重要水源区,也是高原生物多样性维持基地和世界山地生物物种的一个重要起源和分化中心^[1]。近年来,在全球气候变化及人类干扰的影响下,若尔盖出现了湿地面积缩减、沼泽旱化、草地退化等现象^[2-3]。在湿地退化过程中,植物种类及数量发生变化,地上植物群落退化,凋落物输入减少,有机质矿化速率上升^[4-5]。已有研究发现土壤动物的种类、数量和生物量与土壤理化性质有密切的关系^[6-7],而植物群落的变化能够改变土壤动物的食物质量和数量,从而影响节肢动物的群落组成和多样性^[8-9]。

表栖节肢动物是草地生态系统的消费者和分解者,在维持草地生态系统结构、生态服务功能、群落稳定性和食物网结构等方面发挥着重要作用^[10],且每个物种在凋落物分解和营养物质循环过程中都是必不可少的^[11]。因此,对表栖节肢动物的监测可作为评价草地生态系统及其环境质量的一种有效手段^[12]。目前国内关于高寒草甸退化对土壤动物影响的报道较多^[13-14],也有少量利用陷阱法研究高寒湿地表栖节肢动物的报道^[4],但未见利用吸虫器法研究高寒湿地小型表栖节肢动物群落多样性的报道。而陷阱法和吸虫器法所获取的表栖节肢动物在个体大小和类群组成上存在较大差异,因此有必要利用吸虫器法研究高寒湿地小型表栖节肢动物群落组成及其多样性。本文利用吸虫器法对若尔盖高寒湿地范围内不同生境小型表栖节肢动物进行调查,旨在了解若尔盖高寒湿地小型表栖节肢动物群落组成、时空分布特征,以及对高寒湿地退化的响应和主要影响因子,揭示高寒湿地生态系统退化过程中结构与功能的变化机制。

1 研究区概况

研究区位于四川省阿坝藏族羌族自治州北部的若尔盖县境内,地处青藏高原的东北缘,属于黄河上游地区。地理坐标为东经 $102^{\circ}08' - 103^{\circ}39'$,北纬 $32^{\circ}56' - 34^{\circ}19'$ 之间,区域总面积 $1.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$,由湿地、湖泊、河流、草地和山谷等组成。平均海拔为 3500 m。若尔盖属高原寒带湿润季风气候,年平均气温为 0.96°C ,年间气温波动幅度达 0.6°C 。最热月为 7 月,极端最高气温为 24.6°C ;最冷月为 1 月,极端最低气温为 -33.6°C 。年降水量主要集中在 5 至 8 月份,由南向北逐渐减少,年均降水量 656.8 mm,年均蒸发量为 1233.2 mm。若尔盖县内植被以高原草甸和沼泽为主,主要土壤类型为草甸土、沼泽土和泥炭土。

2 研究方法

2.1 样地设置

在若尔盖县境内根据植物群落的盖度、组成和土壤类型选取沼泽草甸、草原草甸、中度退化草甸 3 种生境。沼泽草甸的主要植物种类有:西藏苔草(*Carex thibetica*),木里苔草(*Carex muliensis*),垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、蒲公英(*Taraxacum maurocarpum*)、高原毛茛(*Ranunculus tanguticus*)、火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、紫菀(*Aster tataricus*)、老鹳草(*Herba erodii*)、毛茛状金莲花

(*Trollius ranunculoides*)、报春花(*Primula malacoides*)等,高度 10—30 cm,盖度 90% 以上。土壤为泥炭土。草原草甸的主要植物种类有:藏羊茅(*Festuca wallichanica*)、葛缕子(*Carum carvi*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)、四川嵩草(*Kobresia setchwanensis*)、乳白香青(*Anaphalis lactea*)、条叶银莲花(*Anemone trullifolia*)、棘豆(*Oxytropis kansuensis*)矮金莲花(*Trollius farreri*)、高原毛茛、垂穗披碱草、草地早熟禾(*Poa pratensis*)等,高度 20—40 cm,盖度 90% 以上。土壤类型为壤土。中度退化草甸主要植物种类有:黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla ansrinea*)、嵩草(*Kobresia bellardii*)、高原毛茛、蒲公英、棘豆等,高度 0—5 cm,盖度 50%—70% 以上。土壤类型为沙壤土。

2.2 小型表栖节肢动物采集

在沼泽草甸、草原草甸、中度退化草甸 3 种生境内各选两个 50 m×50 m 样地,每个样地内按对角线法选取 3 个 5 m×5 m 样方。2014 年 7、9 月,分别在每个样方内用口径为 16 cm(采样面积为 0.11 m²)的便携式吸虫器采集小型表栖节肢动物。每个样方内随机吸取 3 次,间隔 2 m 以上,作为一个样品。共采集小型表栖节肢动物样品 36 份。采集到的小型表栖节肢动物用 75% 的酒精保存,带回实验室内清理、分类鉴定。根据《昆虫分类检索》^[15]、《中国土壤动物检索图鉴》^[16]、《昆虫形态分类学》^[17]等书籍,在体视显微镜(Olympus SZX16)、光学显微镜(Leica DM4000B)等观察仪器下对小型表栖节肢动物进行鉴定,一般鉴定到属,少数到科,并统计个体数量。

2.3 植物群落和土壤理化性质调查

在每个样地中按照对角线法设置 3 个 50 cm×50 cm 的固定样方,每个样方之间距离 5 m 以上,测量每个样方内植物群落高度。用剪刀刈割地上部分植物,测定总鲜草重后称取 200 g 装入纸袋。将取完后的地上部分对应的地下部分取出并装入布袋中带回实验室后用清水洗净,称取 200 g 装入纸袋。实验室内,在 75 ℃ 条件下把植物地上和地下部分烘干至恒重,分别计算生物量。采用环刀法测定土壤容重和含水量。土壤理化性质测定的土样直接装入自封袋带回实验室分析。不同阶段的植物种类、地上生物量、地下生物量、土壤容重、pH、含水率、有机质、全氮、全磷、全钾、有效氮、有效磷和有效钾共 13 个环境因子的基本情况见文献^[4]。

2.4 数据分析处理

个体数占总捕获量 10% 以上的为优势类群,1%—10% 之间的为常见类群,1% 以下的为稀有类群。

采用丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数 H' 和 Simpson 优势度指数 C 来分析多样性。其中,丰富度以小型表栖节肢动物的类群数表示,并计算 Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ 和 Simpson 优势度指数 $C = \sum (P_i)^2$ 。式中: S 代表总类群数, P_i 为每个生境中第 i 个类群的个体密度占该生境小型表栖节肢动物总数的比例。

利用主成分分析法(Principal Component Analysis,PCA)分别对 7、9 月份不同退化阶段小型表栖节肢动物群落进行排序,分析过程中对各类群的数量进行 $\log(x+1)$ 转换。为减少变量和图形复杂性,仅标出在第一、二排序轴综合得分最高的前 12 个类群。

利用重复测量方差分析(Repeated-measure ANOVA)对不同生境间小型表栖节肢动物群落密度及多样性的差异性进行检验。另用独立样本 t -检验分析同一生境月份间的差异。对不符合正态分布的数据,利用 $\log(x+1)$ 转换,如仍不符合正态分布,则采用 Mann-Whitney U 法进行检验。

按照生境把两个月份的小型表栖节肢动物群落调查数据综合,然后用典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis,CCA)对三种生境的小型表栖节肢动物群落与环境因子的关系进行排序,以分析环境因子对小型表栖节肢动物群落的影响。用多元回归分析(Multiple Regression Analysis)检测两个月份小型表栖节肢动物群落密度和多样性的平均值与环境因子间的关系,分析环境因子对小型表栖节肢动物群落密度和多样性的影响。

数据处理采用 IBM SPSS 20.0 和 Canoco for Windows 4.5 软件。

3 结果与分析

3.1 小型表栖节肢动物群落组成

2014 年 7、9 月份在若尔盖高寒湿地共采集到小型表栖节肢动物 18661 只,隶属于 3 纲 15 目 69 科 85 类(表 1)。优势类群为球圆跳属(*Sphaeridia*)、长跳属(*Entomobrya*)和莓螨科(*Rhagidiidae*),分别占总捕获量的 15.49%、17.22%和 27.81%;常见类群有德跳属(*Desoria*),齿步甲螨属(*Odontocephus*)等 10 类,占总捕获量的 28.85%;稀有类群有小圆跳属(*Sminthurinus*),梁甲螨属(*Lamellobates*)等 75 类,占总捕获量的 10.59%。在纲水平上,弹尾纲(*Collembola*)包含 3 目 8 个类群,个体数占总捕获量的 42.79%;蛛形纲(*Arachnida*)包含 4 目 15 个类群,占总捕获量的 42.53%;昆虫纲(*Insecta*)包含 8 目 66 个类群,占总捕获量的 14.68%。从类群组成与个体数量来看,弹尾纲是高寒湿地小型表栖节肢动物的主要组成部分。

表 1 小型表栖节肢动物群落组成

Table 1 The taxonomic composition and abundance of epigeic microarthropods

类群 Groups	SM		GM		MDM		总计 Total	
	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%
弹尾纲 <i>Collembola</i>	1739	36.9	5629	54.06	617	17.45	7985	42.79
愈腹跳目 <i>Symphyleona</i>	1339	28.41	1343	12.9	507	14.34	3189	17.09
钩圆跳属 <i>Sminthurus</i>	112	2.38	88	0.85	52	1.47	252	1.35
球圆跳属 <i>Sphaeridia</i>	1207	25.61	1229	11.8	455	12.87	2891	15.49
小圆跳属 <i>Sminthurinus</i>	20	0.42	26	0.25			46	0.25
原跳目 <i>Poduromorpha</i>	74	1.57	75	0.72	22	0.62	171	0.92
球角跳属 <i>Hypogastruridae</i>	74	1.57	75	0.72	22	0.62	171	0.92
长角跳目 <i>Entomobryomorpha</i>	326	6.92	4211	40.44	88	2.49	4625	24.78
德跳属 <i>Desoria</i>	223	4.73	348	3.34	64	1.81	635	3.4
等节跳属 <i>Isotoma</i>	61	1.29	176	1.69	24	0.68	261	1.4
陷等跳属 <i>Isotomurus</i>	42	0.89	473	4.54			515	2.76
长跳属 <i>Entomobrya</i>			3214	30.87			3214	17.22
昆虫纲 <i>Insecta</i>	851	18.06	1154	11.08	734	20.76	2739	14.68
半翅目 <i>Hemiptera</i>	6	0.13	37	0.36	4	0.11	47	0.25
叉胸花蝽属 <i>Amphiareus</i>			5	0.05			5	0.03
点刻花蝽属 <i>Almeida</i>			1	0.01			1	0.01
苔驼蝽属 <i>Myrmedobia</i>	6	0.13	31	0.3	4	0.11	41	0.22
鳞翅目 <i>Lepidoptera</i>			8	0.08	16	0.45	24	0.13
尺蛾科 <i>Geometridae</i>					2	0.06	2	0.01
鞘蛾科 <i>Coleophoridae</i>					14	0.4	14	0.08
羽蛾科 <i>Pterophoridae</i>			8	0.08			8	0.04
膜翅目 <i>Hymenoptera</i>	50	1.06	95	0.91	58	1.64	203	1.09
柄翅小蜂科 <i>Mymaridae</i>	5	0.11	16	0.15	4	0.11	25	0.13
柄腹细蜂科 <i>Heloridae</i>	2	0.04	10	0.1	3	0.08	15	0.08
锤腹姬蜂科 <i>Stephanidae</i>	2	0.04					2	0.01
锤角细蜂科 <i>Diapriidae</i>	5	0.11					5	0.03
短猛蚁属 <i>Brachyponera</i>	2	0.04	2	0.02	16	0.45	20	0.11
钩腹姬蜂科 <i>Trigonalidae</i>					2	0.06	2	0.01
广腹细蜂科 <i>Platygasteridae</i>	3	0.06	3	0.03			6	0.03
姬蜂科 <i>Ichneumonidae</i>			5	0.05	1	0.03	6	0.03
茧蜂科 <i>Braconidae</i>	4	0.08	5	0.05			9	0.05
举腹细蜂科 <i>Aulacidae</i>			3	0.03	1	0.03	4	0.02

续表

类群 Groups	SM		GM		MDM		总计 Total	
	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%
路舍蚁属 <i>Tetramorium</i>			3	0.03			3	0.02
泥蜂科 Sphecidae			2	0.02			2	0.01
蚜小蜂科 Aphelinidae	15	0.32	21	0.2	10	0.28	46	0.25
叶蜂科 Tenthredinidae					3	0.08	3	0.02
蚁属 <i>Formica</i>	2	0.04	2	0.02	6	0.17	10	0.05
蚁小蜂科 Eucharitidae	3	0.06	3	0.03	4	0.11	10	0.05
瘦蜂科 Cynipidae	3	0.06	4	0.04			7	0.04
缘腹细蜂科 Scelionidae	4	0.08	16	0.15	8	0.23	28	0.15
鞘翅目 Coleoptera	6	0.13	76	0.73	15	0.42	97	0.52
扁甲科 Cucujidae					3	0.08	3	0.02
虎甲科 Cicindelidae			1	0.01			1	0.01
花萤科 Cantharidae			5	0.05			5	0.03
婪步甲属 <i>Harpalus</i>	2	0.04					2	0.01
木蠹象属 <i>Pissodes</i>			5	0.05	6	0.17	11	0.06
瓢甲科 Coccinellidae			1	0.01	3	0.08	4	0.02
叶甲科 Chrysomelidae			6	0.06			6	0.03
隐翅甲科 Staphylinidae	1	0.02	43	0.41	3	0.08	47	0.25
芫菁科 Meloidae	2	0.04					2	0.01
锥须步甲科 Bembidion	1	0.02	15	0.14			16	0.09
双翅目 Diptera	169	3.59	397	3.81	188	5.32	754	4.04
斑蝇科 Otitidae			1	0.01	2	0.06	3	0.02
扁足蝇科 Platypezidae	6	0.13	2	0.02			8	0.04
大蚊科 Tipulidae	1	0.02			1	0.03	2	0.01
蜂虻科 Bombyliidae					1	0.03	1	0.01
鼓翅蝇科 Sepsidae			6	0.06	1	0.03	7	0.04
花蝇科 Anthomyiidae			4	0.04	1	0.03	5	0.03
黄潜蝇科 Chloropidae			3	0.03	11	0.31	14	0.08
尖尾蝇科 Lonchaeidae	15	0.32	6	0.06	16	0.45	37	0.2
尖眼蕈蚊科 Sciaridae	37	0.79	112	1.08	32	0.91	181	0.97
毛蠓科 Psychodidae			20	0.19			20	0.11
毛蚊科 Bibionidae			5	0.05			5	0.03
虻科 Tabanidae					2	0.06	2	0.01
潜蝇科 Agromyzidae	12	0.25	6	0.06	12	0.34	30	0.16
蛭蝇科 Pyrgotidae	8	0.17	11	0.11	2	0.06	21	0.11
实蝇科 Trypetidae					6	0.17	6	0.03
食虫虻科 Asilidae	4	0.08	6	0.06	9	0.25	19	0.1
水虻科 Stratiomyidae					1	0.03	1	0.01
水蝇科 Ephydriidae	10	0.21					10	0.05
舞虻科 Empididae			1	0.01			1	0.01
蕈蚊科 Mycetophilidae	7	0.15	27	0.26			34	0.18
摇蚊科 Chironomidae	12	0.25	31	0.3	33	0.93	76	0.41
蝇科 Muscidae	15	0.32	10	0.1	11	0.31	36	0.19
瘦蚊科 Cecidomyiidae	30	0.64	136	1.31	34	0.96	200	1.07
蚤蝇科 Phoridae					4	0.11	4	0.02
长足虻科 Dolichopodidae	12	0.25	10	0.1	9	0.25	31	0.17

续表

类群 Groups	SM		GM		MDM		总计 Total	
	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%
同翅目 Homoptera	577	12.24	426	4.09	419	11.85	1422	7.62
瘤蚜科 Pemphigidae	161	3.42					161	0.86
棉蚜科 Aphis gossypii Glover	9	0.19	20	0.19	14	0.4	43	0.23
木虱科 Chermidae	13	0.28	5	0.05	1	0.03	19	0.1
蚜科 Aphididae	333	7.07	127	1.22	200	5.66	660	3.54
叶蝉科 Jassidae	61	1.29	274	2.63	204	5.77	539	2.89
缨翅目 Thysanoptera	41	0.87	115	1.1	29	0.82	185	0.99
蓟马科 Thripidae	41	0.87	115	1.1	29	0.82	185	0.99
直翅目 Orthoptera	2	0.04			5	0.14	7	0.04
蝗科 Acrididae	2	0.04			5	0.14	7	0.04
蛛形纲 Arachnida	2123	45.05	3630	34.86	2184	61.78	7937	42.53
前气门亚目 Prostigmata	1658	35.18	1784	17.13	1907	53.95	5349	28.66
赤螨科 Erythraeidae	15	0.32	10	0.1	9	0.25	34	0.18
跗线螨属 Tarsonemus					89	2.52	89	0.48
巨须螨科 Cunaxidae			30	0.29			30	0.16
莓螨科 Rhagidiidae	1643	34.86	1744	16.75	1803	51	5190	27.81
绒螨科 Trombididae					6	0.17	6	0.03
甲螨亚目 Oribatida	296	6.28	1576	15.13	213	6.03	2085	11.17
齿步甲螨属 Odontocephus	207	4.39			77	2.18	284	1.52
梁甲螨属 Lamellobates	35	0.74	96	0.92	18	0.51	149	0.8
原大翼甲螨属 Protokalumna	54	1.15	1480	14.21	118	3.34	1652	8.85
中气门亚目 Mesostigmata	164	3.48	167	1.6	55	1.56	386	2.07
植绥螨科 Phytoseiidae	164	3.48	167	1.6	55	1.56	386	2.07
蜘蛛目 Araneae	5	0.11	103	0.99	9	0.25	117	0.63
管巢蛛科 Clubionidae	3	0.06	38	0.36	2	0.06	43	0.23
狼栉蛛科 Zoridae			8	0.08	1	0.03	9	0.05
漏斗蛛科 Agelenidae			3	0.03			3	0.02
卵形蛛科 Oonopidae	2	0.04	52	0.5	5	0.14	59	0.32
球体蛛科 Theridiosomatidae			2	0.02			2	0.01
跳蛛科 Salticidae					1	0.03	1	0.01
总计	4713		10413		3535		18661	

SM: 沼泽草甸 Swampy meadow; GM: 草原草甸 Grassland meadow; MDM: 中度退化草甸 Moderately degraded meadow

3.2 小型表栖节肢动物群落组成结构动态

各生境小型表栖节肢动物的群落组成结构有一定差异(表1)。沼泽草甸共有52个类群,优势类群为球圆跳属(*Sphaeridia*)和莓螨科(Rhagidiidae),分别占总捕获量的25.61%和34.86%;常见类群有德跳属(*Desoria*),蚜科(*Aphididae*)等10类,占总捕获量的30.77%;稀有类群有陷等跳属(*Isotomurus*),短猛蚁属(*Brachyponera*)等41类,占总捕获量的8.81%。草原草甸共67种类群,优势类群为球圆跳属(*Sphaeridia*)、长跳属(*Entomobrya*)、原大翼甲螨属(*Protokalumna*)和莓螨科(Rhagidiidae),分别占总捕获量的11.80%、30.87%、14.21%和16.75%;常见类群有德跳属(*Desoria*),陷等跳属(*Isotomurus*)等9类,占总捕获量的18.52%;稀有类群有球圆跳属(*Sphaeridia*),小圆跳属(*Sminthurinus*)等54类,占总捕获量的7.86%。中度退化草甸共60种类群,优势类群为球圆跳属(*Sphaeridia*)和莓螨科(Rhagidiidae),占总捕获量的12.87%和51%;常见类群有钩圆跳属(*Sminthurus*),德跳属(*Desoria*)等8类,占总捕获量的24.30%;稀有类群有等节跳属(*Isotoma*),苔驼螨属(*Myrmedobia*)等50类,占总捕获量的11.82%。三种生境中,草原草甸的小型表栖节肢

动物类群最为丰富,中度退化草甸和沼泽草甸次之。

主成分分析结果表明不同生境间小型表栖节肢动物群落结构存在明显差异,且3个生境间小型表栖节肢动物群落结构在9月份差异最明显(图1)。此外,不同月份影响小型表栖节肢动物群落结构的主要类群不同。7月份,在PC1轴上影响群落结构的主要类群是长跳属(*Entomobrya*),在PC2上主要影响类群是球圆跳属(*Sphaeridia*);9月份影响PC1的主要是长跳属(*Entomobrya*)和齿步甲螨属(*Odontocepheus*),影响PC2的主要是瘤蚜科(*Pemphigidae*)和叶蝉科(*Jassidae*)。

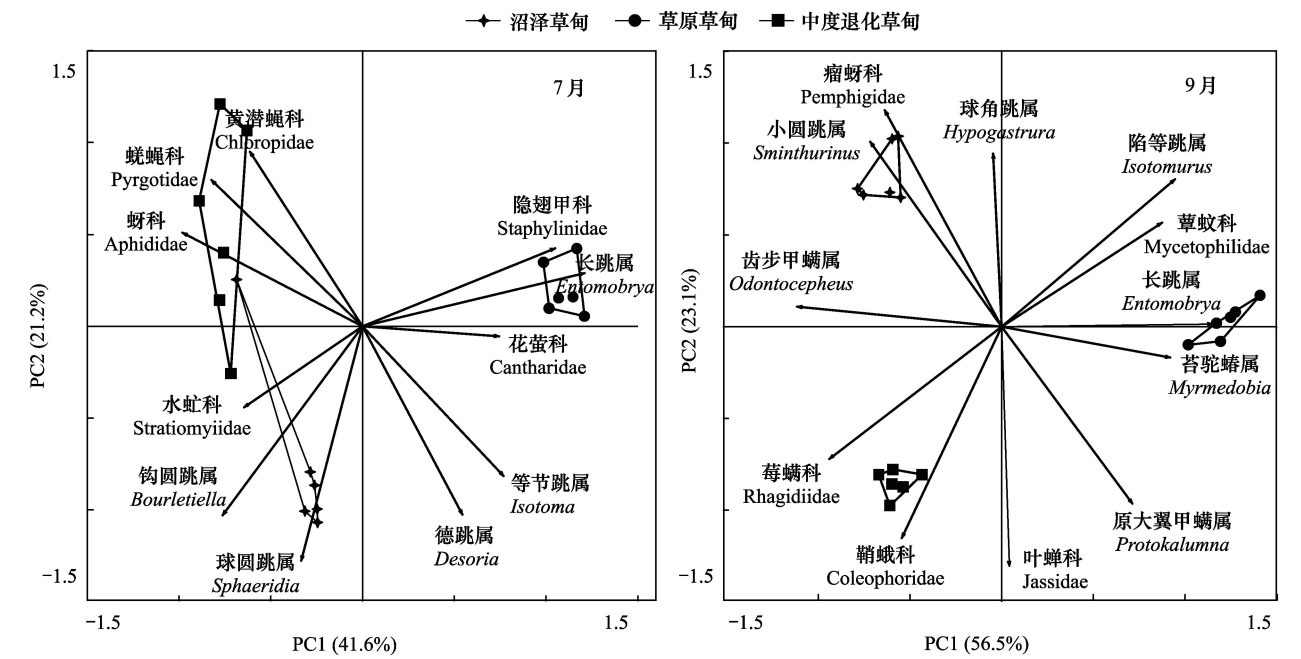


图1 不同生境间小型表栖节肢动物群落结构差异

Fig.1 Spatial distributions of epigeic microarthropod communities among different habitats

SM:沼泽草甸 Swampy meadow;GM:草原草甸 Grassland meadow;MDM:中度退化草甸 Moderately degraded meadow

3.3 小型表栖节肢动物群落密度及多样性动态

从沼泽草甸到中度退化草甸,小型表栖节肢动物密度和类群数均呈先上升后下降趋势,且在草原草甸达到最大值,而 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数无明显变化(图2)。重复测量方差分析结果(表2)表明,生境变化对小型表栖节肢动物的密度、类群数和 Simpson 优势度指数有显著影响($P < 0.05$),对 Shannon-Wiener 指数无显著影响($P > 0.05$);月份变化对密度、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度指数均有显著影响($P < 0.01$);而生境和月份的交互作用对多样性指数有显著影响($P < 0.01$),对密度无显著影响($P > 0.05$)。t-检验结果表明沼泽草甸和草原草甸小型表栖节肢动物仅有密度和类群数在月份间有显著差异,而退化草甸的密度、多样性指数和优势度指数在7、9月份均有显著差异(图2)。以上结果表明,小型表栖节肢动物多样性在各生境间具有差异,且受生境和月份交互作用的影响。

表2 不同生境小型表栖节肢动物密度及多样性的重复测量方差分析(N=6)

密度及多样性 Abundance and diversity index	生境 Habitat		月份 Month		生境×月份 Habitat×Month	
	F	P	F	P	F	P
密度 Density	45.77	<0.001	83.77	<0.001	1.57	0.24
类群数 Group number	43.58	<0.001	2.09	0.169	8.22	0.004
多样性指数(H')Shannon-Wiener index	1.72	0.212	75.44	<0.001	18.46	<0.001
优势度指数(C)Simpson index	4.57	0.028	35.21	<0.001	21.21	<0.001

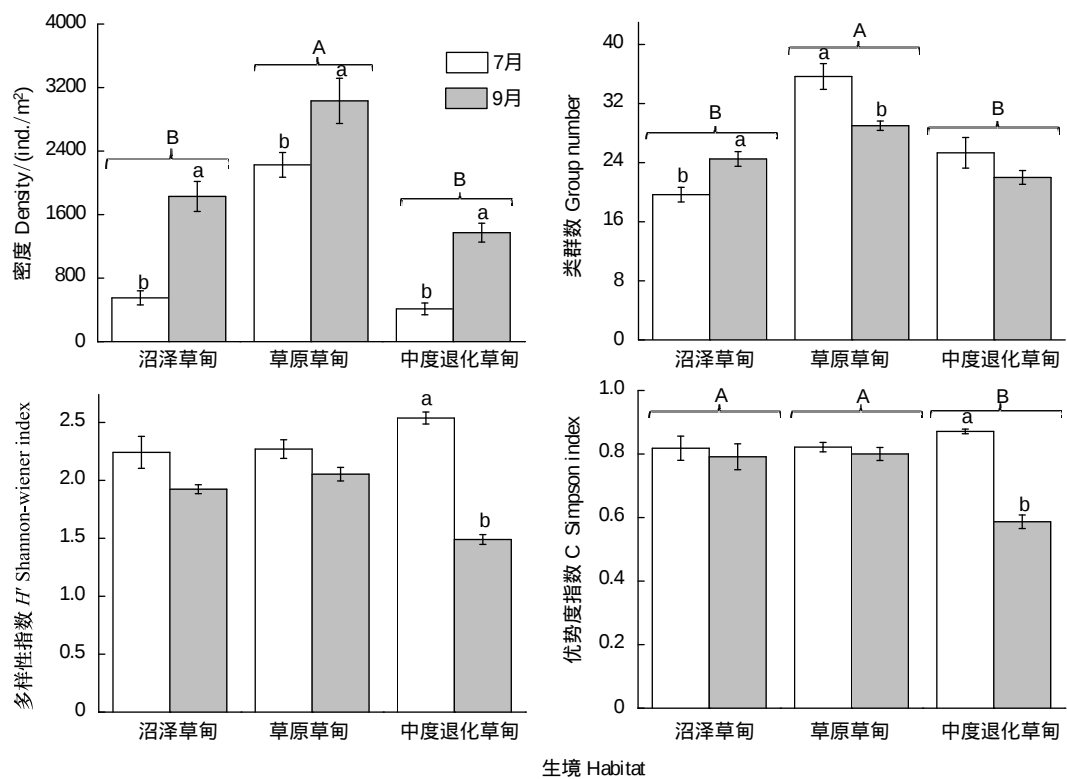


图2 小型表栖节肢动物的密度及多样性动态 (平均值±标准误)

Fig.2 Dynamics in abundance and diversity index of epigeic microarthropod communities

SM:沼泽草甸 Swampy meadow; GM:草原草甸 Grassland meadow; MDM:中度退化草甸 Moderately degraded meadow. 不同大写字母表示不同生境间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母代表同一生境不同月份间差异显著 ($P < 0.05$)

3.4 主要类群动态

因球圆跳属、长跳属和莓螨科是小型表栖节肢动物群落的三个优势类群(表1),有必要对优势类群的动态进行分析。从7、9月份的整体情况(图3)可知,球圆跳属密度呈先上升后下降,以草原草甸最高;长跳属仅存在草原草甸中;莓螨科的密度呈逐渐上升趋势。重复测量方差分析结果(表3)表明,球圆跳属的密度受生境、月份及其交互作用的影响($P < 0.01$),长跳属仅受生境变化的影响($P < 0.01$),而莓螨科仅受月份及其与生境交互作用的影响($P < 0.01$)。

表3 主要类群个体数量的重复测量分析结果

Table 3 Results of repeated-measure analysis on the abundance of dominant taxonomic groups

	df	球圆跳属 <i>Sphaeridia</i>		长跳属 <i>Entomobrya</i>		莓螨科 <i>Rhagidiidae</i>	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
生境 Habitat	2, 15	16.38	<0.001	23.68	<0.001	0.19	0.831
月份 Month	1, 15	76.82	<0.001	4.05	0.62	66.13	<0.001
生境 Habitat×月份 Month	2, 15	7.84	0.005	4.05	0.39	8.36	0.004

3.5 小型表栖节肢动物与环境因子的关系

由典型对应分析(CCA)结果(图4)知,第一排序轴与地下生物量(BB)、地上生物量(AB)、全磷(TP)等环境因子有较高的相关性,第二排序轴与植物种类(PS)的相关性较高。由图4还可知,沼泽草甸小型表栖节肢动物群落与有机质(SOM)、全氮(TN)、含水率(WC)呈正相关,与pH、有效磷(AP)呈负相关;草原草甸群落与地上生物量(AB)、地下生物量(BB)、全磷(TP)呈正相关;中度退化草甸群落与pH、有效磷(AP)呈正相关。

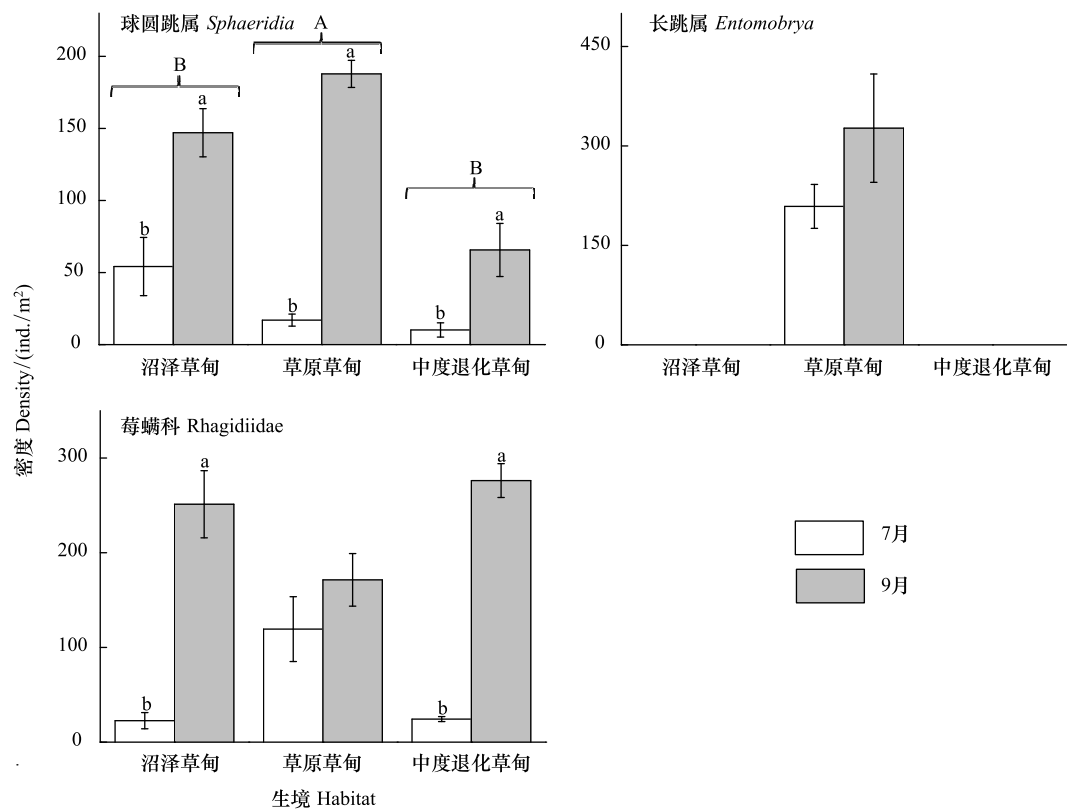


图3 主要类群个体数量动态(平均值±标准误)

Fig.3 Changes in abundances of dominant taxonomic groups of epigeic microarthropods (Mean±S.E.)

小型表栖节肢动物群落各参数与环境因子的多元回归分析结果(表4)表明,13个环境因子中仅有6个因子与小型表栖节肢动物群落有显著相关性。其中,小型表栖节肢动物的密度与地上生物量呈显著正相关($P < 0.01$);类群数与地下生物量呈显著正相关($P < 0.01$),与有机质呈显著负相关($P < 0.01$);Simpson 优势度指数与植物种类呈显著正相关关系($P < 0.05$)。优势类群中球圆跳属与 pH 呈显著负相关;长跳属与地上生物量和全磷呈显著正相关;无环境因子与莓螨科显著相关。

表4 小型表栖节肢动物与环境因子间的回归分析

Table 4 Relationships between epigeic microarthropods and environmental factors						
	密度 Density	类群数 Taxonomic	优势度指数 Simpson index	球圆跳属 <i>Sphaeridia</i>	长跳属 <i>Entomobrya</i>	莓螨科 <i>Rhagidiidae</i>
植物 Vegetation						
PS			0.34 *			
AB	0.76 **				0.77 **	
BB		0.40 **				
土壤 Soil						
SOM		-0.51 **				
TP					0.21 *	
pH				-0.39 *		

PS:植物种类 Plant species;AB:地上生物量 Aboveground biomass;BB:地下生物量 Belowground biomass;SOM:有机质 Soil organic matter;TP:全磷 Total phosphorus; * 表示显著性水平为 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$, 双尾检验

4 讨论

4.1 退化对小型表栖节肢动物群落空间分布的影响

不同生境间小型表栖节肢动物群落组成结构的差异表明高寒湿地退化对小型表栖节肢动物群落组成有

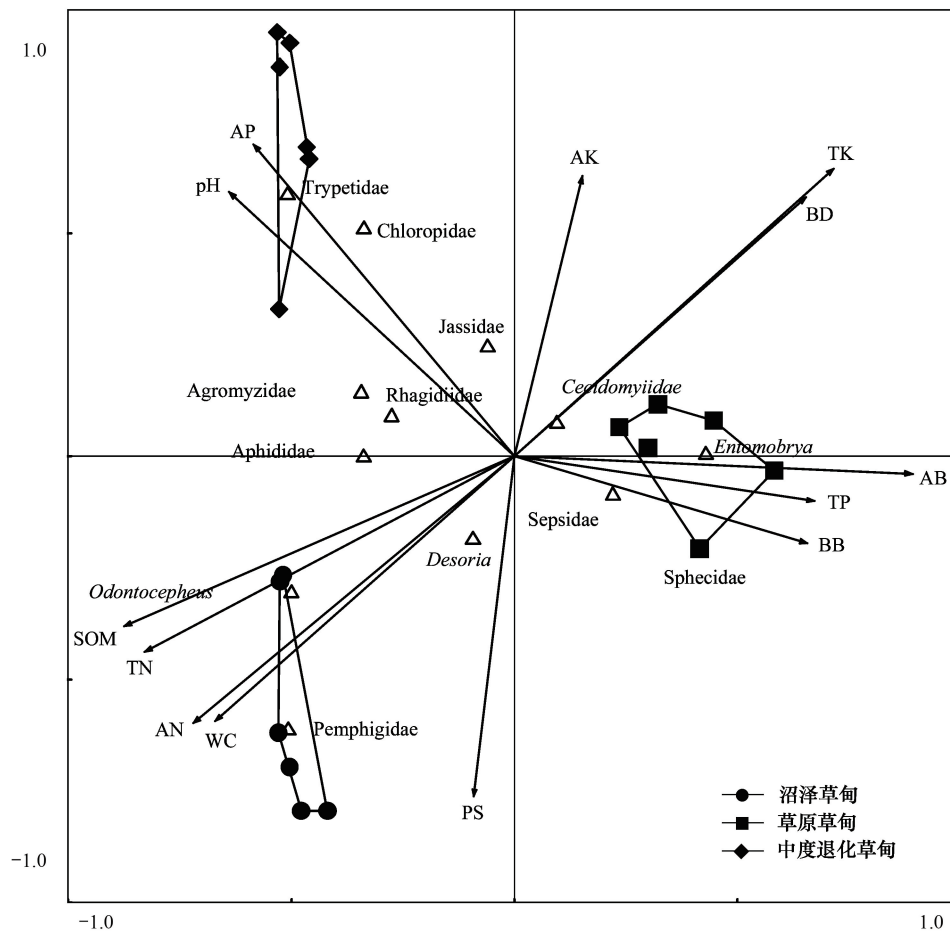


图4 小型表栖节肢动物群落多样性与环境因子的 CCA 排序

Fig.4 CCA ordination of epigeic microarthropod communities and environmental factors

PS:植物种类 Plant species;AB:地上生物量 Aboveground biomass;BB:地下生物量 Belowground biomass;SOM:有机质 Soil organic matter;WC:含水率 Water content;TP:全磷 Total phosphorus;AK:有效钾 Available potassium;AP:有效磷 Available phosphorus;TN:全氮 Total nitrogen;AN:有效氮 Available nitrogen;TK:全钾 Total potassium;BD:容重 Bulk density

明显影响。已有研究表明植物群落^{[4][18]}和土壤因子^[19-20]的综合作用能够影响表栖节肢动物的群落结构。本研究发现不同退化阶段植物群落和土壤因子对小型表栖节肢动物群落的影响不同(图4),如沼泽草甸中的齿步甲螨属、瘤蚜科与植物种类、有机质(SOM)等呈正相关,与pH值、有效磷(AP)等呈负相关;草原草甸的长跳属、鼓翅蝇科、泥蜂科与地上生物量、全磷(TP)等呈正相关;中度退化草甸的实蝇科、黄潜蝇科仅与pH值、有效磷(AP)等呈正相关。由此可知不同退化阶段小型表栖节肢动物各类群所受的环境影响因子不同是导致其群落结构差异的原因。此外,退化草甸的小型表栖节肢动物群落仅受土壤因子的影响,是由于该生境中植物群落退化相对严重,对小型表栖动物群落的影响减弱。

本研究发现不同生境间小型表栖节肢动物的密度和多样性差异显著,且与生物量和植物种类呈显著正相关。已有研究表明植物种类、盖度^[21-22]和生物量^[8]可为表栖土壤节肢动物提供更多的栖息环境和食物来源,而食物资源是影响土壤动物个体数量的主要原因^[23]。在本研究的三个生境中,植物群落密度、盖度及生物量均以草原草甸最高^[4],草原草甸小型表栖节肢动物群落的密度和多样性显著地高于沼泽草甸和中度退化草甸(图2),说明小型表栖节肢动物群落密度及多样性主要受高寒湿地植物群落的影响。而小型表栖节肢动物的类群数与有机质呈显著负相关(表4)。在高寒湿地退化过程中,植物群落多样性降低,地上和地下生物量减少^[4],有机质矿化速率上升^[5]。因此,小型表栖节肢动物群落受到一定影响。其他研究也发现高寒湿地退

化过程中土壤环境恶化可导致表栖节肢动物群落多样性下降^[20]。

优势类群在群落组成中具有重要的作用,其对环境敏感程度^[24],可作为评定环境的指示物种^[25]。本研究发现若尔盖高寒湿地小型表栖节肢动物群落的优势类群有球圆跳属、长跳属和莓螨科三类,长跳属个体数量较高且仅存在草原草甸中,表明长跳属是狭分布类群,对环境变化较为敏感。此外,长跳属密度与地上生物量和全磷呈显著正相关(表 4),是因为草原草甸生境地上生物量较高,适合真菌和细菌生长,为长跳属提供良好食物来源^[26]。因此可将长跳属作为高寒草甸的指示生物。球圆跳属个体数量随高寒湿地退化呈下降趋势,并与 pH 呈显著负相关。由于土壤 pH 值随着高寒湿地退化呈显著增加趋势^[27],对球圆跳属的个体数量产生抑制作用。因此,球圆跳属的数量动态可以用来指示高寒湿地的变化趋势。莓螨科在三种生境间个体数量无显著差异并不受环境因子显著影响,可能是由于莓螨科为捕食性螨类,栖息于土壤表层、枯枝落叶和石块下^[28],对植物群落和土壤环境的依赖性较弱,所以高寒湿地退化对其影响较弱,表明莓螨科在小型表栖节肢动物群落中的地位 and 作用相对稳定。

4.2 退化对小型表栖节肢动物群落季节动态的影响

高寒湿地不同生境小型表栖节肢动物密度和多样性均有显著的季节变化,但各生境间的季节动态不同(图 2)。其他研究也发现不同植物群落下的土壤动物季节动态存在差异^[29-30]。造成这种现象可能是因为该区域 7 月是降水较集中的月份^[31],沼泽草甸地势相对较低,土壤过湿,甚至会出现季节性积水,不利于表栖节肢动物取食和栖息^[32]。本研究中小型表栖节肢动物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数仅在中度退化草甸呈现显著季节变化。这可能是因中度退化草甸的植物群落盖度低,种类少,且多为一年生草本植物,群落内部环境的季节变化相对较大,因此影响小型表栖节肢动物群落多样性。

本研究中每种生境只设置两个 50 m×50 m 样方,主要是因为每种生境的地形比较平坦,植物群落和土壤的空间异质性较低,并且每个样方内采集的 3 个样品均为混合样,能够代表各生境的真实情况。此外,开展土壤动物多样性研究的最大难点是对土壤动物的分类鉴定全依赖人工完成,效率低^[33]。在研究区内表栖节肢动物的密度大于地下土壤节肢动物^[34]。如果采集的表栖节肢动物样品过多,就无法在有限的时间内完成鉴定。

5 结论

若尔盖高寒湿地小型表栖节肢动物群落组成丰富,多样性较高,球圆跳属、长跳属和莓螨科为群落的优势类群。不同生境间小型表栖节肢动物的群落组成和多样性差异显著,表明高寒湿地退化对小型表栖节肢动物群落有显著影响。湿地植物群落和土壤理化性质对小型表栖节肢动物群落组成、密度及多样性有显著影响,但不同退化阶段影响小型表栖节肢动物的主要环境因子存在差异。小型表栖节肢动物群落的时空动态表明高寒湿地生态系统结构与功能在退化过程中发生显著变化。

参考文献(References):

- [1] 吴鹏飞,张洪芝,崔丽巍,钟红梅,王永.大型土壤动物群落对高寒草甸退化的响应.土壤学报,2013,50(4):786-799.
- [2] 白军红,欧阳华,崔保山,王庆改,陈辉.近40年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化.生态学报,2008,28(5):2245-2252.
- [3] 高洁.四川若尔盖湿地退化成因分析与对策研究.四川环境,2006,25(4):48-53.
- [4] 龙伟,高艳美,吴鹏飞.若尔盖高寒草甸退化对表栖节肢动物群落的影响.生态学杂志,2018,37(1):128-138.
- [5] Wu P F, Zhang H Z, Wang Y. The response of soil macroinvertebrates to alpine meadow degradation in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. Applied Soil Ecology, 2015, 90: 60-67.
- [6] 王移,卫伟,杨兴中,陈利顶,杨磊.我国土壤动物与土壤环境要素相互关系研究进展.应用生态学报,2010,21(9):2441-2448.
- [7] 韩慧莹,殷秀琴,寇新昌.长白山地低山区土壤动物群落特征及其对环境因子变化的响应.生态学报,2017,37(7):2197-2205.
- [8] 董伟华,李金霞,刘继亮.沙丘和丘间低地地面节肢动物群落比较研究.干旱区资源与环境,2016,30(1):157-161.
- [9] Bardgett R D, Freeman C, Ostle N J. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. The ISME Journal, 2008, 2(8): 805-814.

- [10] 刘任涛, 赵哈林. 沙质草地土壤动物的研究进展及建议. 中国沙漠, 2009, 29(4): 656-662.
- [11] Paoletti M G, Hassall M. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1999, 74(1/3): 157-165.
- [12] 王宪礼, 李秀珍. 湿地的国内外研究进展. 生态学杂志, 1997, 16(1): 58-62.
- [13] Wu P F, Zhang H Z, Cui L W, Wickings K, Fu S L, Wang C T. Impacts of alpine wetland degradation on the composition, diversity and trophic structure of soil nematodes on the Qinghai-Tibetan Plateau. Scientific Reports, 2017, 7(1): 837.
- [14] 张洪芝, 吴鹏飞, 杨大星, 崔丽巍, 何先进, 熊远清. 青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化. 生态学报, 2011, 31(15): 4385-4397.
- [15] 李鸿兴, 隋敬之, 周士秀, 周勤, 孙洪国. 昆虫分类检索. 北京: 农业出版社, 1987.
- [16] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [17] 忻介六, 杨庆爽, 胡成业. 昆虫形态分类学. 上海: 复旦大学出版社, 1985.
- [18] Liu R T, Zhao H L, Zhao X Y, Zuo X A, Drake S. Soil macrofaunal response to sand dune conversion from mobile dunes to fixed dunes in Horqin sandy land, northern China. European Journal of Soil Biology, 2009, 45(5/6): 417-422.
- [19] 刘继亮, 殷秀琴, 邱丽丽. 左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子关系研究. 土壤学报, 2008, 45(1): 130-136.
- [20] 吕世海, 卢欣石, 高吉喜. 呼伦贝尔草地风蚀沙化土壤动物对环境退化的响应. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2055-2060.
- [21] Li F R, Liu J L, Liu C A, Liu Q J, Niu R X. Shrubs and species identity effects on the distribution and diversity of ground-dwelling arthropods in a Gobi desert. Journal of Insect Conservation, 2013, 17(2): 319-331.
- [22] Liu J L, Li F R, Liu C A, Liu Q J. Influences of shrub vegetation on distribution and diversity of a ground beetle community in a Gobi desert ecosystem. Biodiversity and Conservation, 2012, 21(10): 2601-2619.
- [23] 赵哈林, 刘任涛, 周瑞莲, 曲浩, 潘成臣, 王燕, 李瑾. 沙漠化对科尔沁沙质草地大型土壤动物群落的影响及其成因分析. 草业学报, 2013, 22(3): 70-77.
- [24] 刘洁, 高梅香, 吴东辉. 基于黑土农田生物多样性监测样地的地表大型节肢动物群落特征. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3965-3975.
- [25] 刘继亮, 赵文智, 李锋瑞, 潘成臣. 人工固沙植被恢复对地表节肢动物群落组成及多样性的影响. 生态学报, 2018, 38(4): 1357-1365.
- [26] 吴东辉, 尹文英, 殷秀琴. 松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤跳虫群落特征比较. 昆虫学报, 2008, 51(5): 509-515.
- [27] 吴鹏飞, 华翠, 魏雪. 若尔盖高寒草甸不同功能群植物数量特征对退化演替的响应. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2014, 40(3): 321-329.
- [28] 忻介六. 农业螨类学. 北京: 农业出版社, 1988.
- [29] 刘长仲, 王万雄, 吴小刚, 尚进文. 苜蓿人工草地节肢动物群落的时间格局. 应用生态学报, 2002, 13(8): 990-992.
- [30] Wu P F, Liu S R, Liu X L. Composition and spatio-temporal changes of soil macroinvertebrates in the biodiversity hotspot of northern Hengduan Mountains, China. Plant and Soil, 2012, 357(1/2): 321-338.
- [31] 郭洁, 李国平. 若尔盖气候变化及其对湿地退化的影响. 高原气象, 2007, 26(2): 422-428.
- [32] 丁伟, 赵志模, 王进军, 朱文柄. 玉米地节肢动物群落优势功能集团的组成与演替. 生态学杂志, 2002, 21(1): 38-41.
- [33] 邵元虎, 张卫信, 刘胜杰, 王晓丽, 傅声雷. 土壤动物多样性及其生态功能. 生态学报, 2015, 35(20): 6614-6625.
- [34] 吴鹏飞, 杨大星. 若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响. 生态学报, 2011, 31(13): 3745-3757.