

## 半干旱区草地土壤动物多样性的 季节变化及其与温湿度的关系\*

刘任涛<sup>1</sup>, 赵哈林<sup>2</sup>, 赵学勇<sup>2</sup>

(1. 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; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

**提 要:** 在中国科学院奈曼沙漠化研究站附近选择不同程度封育草地为研究样地, 通过调查不同季节降雨、温度、土壤温度和水分以及土壤动物特征, 分析了土壤动物季节变化及其对降雨和温度的响应特征。结果表明: 研究样地共获得土壤动物 11 目 13 个类群, 螨类和鞘翅目幼虫为优势类群, 存在于 3 个季节中; 常见类群随季节变化发生更替。夏季大型土壤动物个体数多, 种类丰富, 多样性较高, 而春季和秋季均较低。中小型土壤动物密度表现为春季 > 夏季 > 秋季, Shannon 指数和均匀度指数表现为夏季较高, 而春季和秋季均较低。相关分析表明, 土壤含水量季节变化是影响大型土壤动物群落个体数季节分布的主要因素, 而中小型土壤动物个体数、类群数、Shannon 指数和均匀度指数与土壤含水量和温度间均无显著相关关系 ( $P > 0.05$ )。说明夏季“雨热同季”对大型土壤动物多样性影响较大, 而对中小型土壤动物多样性影响相对较小。

**关键词:** 土壤动物; 多样性; 半干旱区草地; 季节变化; 气象因子

**中图分类号:** S154.5

**文献标识码:** A

土壤动物及其多样性是陆地生态系统中物种最为丰富的成分, 它们在全球生物多样性中具有重要价值, 直接影响着陆地生态系统的稳定性<sup>[8]</sup>。气候因素对土壤动物的影响主要包括土壤动物对温带和水分响应两个方面<sup>[1]</sup>。降雨除了造成对土壤动物的机械冲刷外<sup>[2]</sup>, 还通过影响空气湿度和土壤含水量作用于土壤动物的生长、发育、存活和生殖等<sup>[3]</sup>。温度也影响土壤动物生命中的许多方面<sup>[4-5]</sup>。季节性温度变化常常引导土壤动物向土壤下层移动<sup>[6]</sup>。这些结果均说明了伴随水分和温度改变的季节性气候变化将很可能影响土壤动物个体、种群及其群落结构<sup>[1, 4, 7]</sup>。因此, 研究温带半干旱区草地土壤动物多样性季节性变化及其与气候因子间的关系, 对于深入理解该区土壤动物群落及其生态系统结构与功能作用过程具有重要科学意义, 同时也是探讨干旱区草地生态系统对全球变化响应过程及其机制的实践需求。

近年来, 关于伴随季节变化而产生的降雨和温度变化对土壤动物影响的研究, 已经引起了国内外许多学者的关注<sup>[1, 8-9]</sup>。昆虫是地上土居动物的重要组成部分, 占据数量较多。目前关于昆虫与气候变化之间的关系有许多研究<sup>[10-13]</sup>, 主要集中于温度变化对昆虫存活率<sup>[10]</sup>、生长和繁殖率及其分布的影响<sup>[11-13]</sup>。在内蒙古草原的研究结果发现, 蝗虫的滞育期和增加降雨量可以缓冲气温升高对卵发育的影响<sup>[13]</sup>。地面土居动物也受到干旱半干旱地区温湿度变化的影响, 尤其是该区降雨少而波动频繁, 结果直接影响到生态系统中物质分解和以碳氮等元素为核心的生物地球化学循环过程<sup>[14]</sup>。地下土居动物与温湿度关系的研究, 开展的比较多。近年来, 一些学者在温带地区设置了可控制性试验研究了气候变化如干旱和降雨量增加对土居性土壤动物潜在影响。如在温带森林生态系统中, Taylor 等发现在云杉林中, 螨类和跳虫类总个体数并不受到水分状况的影响, 而线虫在较低的温度下具有较少的个体数量<sup>[15]</sup>。在南极洲这样一个极易受到气候变化影响的地区, 研究发现土壤温度升高和灌溉能够增加两个螨种和两个跳虫种的多度<sup>[16]</sup>。综合分析, 发现在中国北方温带干旱半干旱区草地, 关于降雨与温度和土壤动物多样性关系的研究成果相对较少<sup>[17]</sup>, 关于地下土壤动物对降雨和温度的响应规律还不清楚。

\* 收稿日期: 2011-9-24; 修回日期: 2011-10-6。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101050)和国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421303)资助。

作者简介: 刘任涛(1980-)男, 博士, 主要从事干旱区土壤生态与恢复生态学研究。E-mail: nmcasnw@126.com。

鉴于此,在科尔沁沙地以中国科学院奈曼沙漠化研究站为依托,选择不同程度封育草地为研究样地,通过调查温度和水分(降雨量)、以及土壤性质、植被和土壤动物特征,分析半干旱区草地地下土壤动物多样性季节变化与气候因子(温度和水分)间的关系,以期为该区草地生态系统应对气候变化研究提供土壤动物学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于内蒙古东部科尔沁沙地腹地的奈曼旗境内( $42^{\circ}55' - 42^{\circ}57'N$ ,  $120^{\circ}41' - 120^{\circ}45'E$ , 海拔340–370m)。该区属温带半干旱大陆性气候,年均温  $6.4^{\circ}C$ ,  $\geq 10^{\circ}C$  年积温  $3190^{\circ}C$ ; 年均降水量 364.6mm, 年均蒸发量 1900mm, 无霜期 151d; 年均风速  $3.4m \cdot s^{-1}$ , 年均扬沙天气 20–30d。地貌以高低起伏的沙丘地、平缓草甸和沙质农田交错分布为特征,土壤多为风沙土或沙质草甸土。

研究区的植被类型为杂草群落,主要植物种有白草(*Pennisetum centrasaticum*)、芦苇(*Phragmites communis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、扁蓿豆(*Melilotus ruthenicus*)和一些灌木和半灌木如小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、差不嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等<sup>[10]</sup>。

选择2008年夏季(8月)、秋季(10月)和2009年春季(5月)3个月份进行温度和降雨变化测定,月平均温度依次为  $22.1$ 、 $10.24$ 、 $15.13^{\circ}C$ , 月降雨量依次为  $38.3$ 、 $9.4$ 、 $28.5mm$ 。其中5月为植物萌动期,7–8月为生长期,10月为衰落期。夏季温度、降雨与植物生长期相一致。

## 2 研究方法

以中国科学院奈曼沙漠化研究站为依托,在其放牧试验场选择封育17a草地为研究样地,以其附近地势相对较为平坦、土壤基质相同的放牧草地为对照。每个样地设置3个取样区,每个取样区设置5个随机样方,样方间距离10m左右。大型土壤动物采用面积为  $25cm \times 25cm$  样方采样,土壤深度为30cm,手捡收集大型土壤动物。中小型土壤动物以100ml土壤环刀取土样,以Tullgren干漏斗法分离中小型土壤动物。在每个样方附近用土钻取30cm深度的土样,用于土壤重量含水量测定。另外利用便携式地温计测定采样期间连续3天土壤温度日变化,得到平均土壤温度。于2008年8月、10月和2009年5月分别进行采样与调查。

根据《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[18]</sup>、《昆虫分类》<sup>[19]</sup>和《内蒙古昆虫》<sup>[20]</sup>等工具书,在解剖镜( $40\times$ )下对动物标本进行鉴定和分类统计。由于幼虫和成虫在土壤中的作用不同,因此分开统计。另外,优势类群为个体数占总捕获量的10%以上;常见类群为个体数占总捕获量的1%–10%;稀有类群为个体数占总捕获量的1%以下。

土壤动物群落多样性采用以下几个参数来描述,主要包括密度( $Individuals\ m^{-2}$ )、类群数、Shannon多样性指数( $H'$ )和Pielou均匀度指数( $E$ )。计算公式如下:

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

式中: $S$ 为动物类群数; $P_i$ 为第*i*类群土壤动物的相对多度(即该动物类群个体数占群落总个体数的比例); $n_i$ 为第*i*类群土壤动物的个体数量; $N$ 为土壤动物总个体数量。

所有数据采用SPSS软件进行统计分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤动物群落特征

在2008年8月捕获土壤动物共440只,隶属于3纲11目,划分为13个类群。优势类群为蜱螨目、鞘翅目(成虫+幼虫)和膜翅目,分别占15.00%、38.18%和16.14%,共占总数的69.32%。常见类群为弹尾目、啮目、蜘蛛目、同翅目、半翅目和双翅目幼虫及鳞翅目幼虫,共占总数的30.23%。其它为稀有类群。10月捕获土壤动物共118只,隶属于3纲11目,划分为12个类群。优势类群为蜱螨目、鞘翅目幼虫和膜翅目,分别占33.05%、22.03%和13.56%,共占总数的66.58%。常见类群为弹尾目、蜘蛛目、半翅目、鞘

翅目成虫和双翅目幼虫及鳞翅目幼虫,共占总数的 28.81%。其它为稀有类群。2009 年 5 月捕获土壤动物共 239 只,隶属于 3 纲 7 目,划分为 8 个类群。优势类群为蜉蝣目、弹尾目和鞘翅目(成虫+幼虫),分别占 34.73%、15.89 和 29.71%,共占总数的 80.33%。常见类群为蜘蛛目、半翅目和膜翅目,共占总数的 18.83%。其它为稀有类群。

3 个季节中,所捕获的土壤动物中数量最多、分布最广泛的类群均是蜉蝣类和鞘翅目幼虫。蜉蝣类与弹尾目的 A/C 值不同,表现为秋季(6.50) > 夏季(3.00) > 春季(2.18)。蜉蝣类和弹尾类的数量比呈现出季节性变化。常见类群随季节变化亦发生更替,3 个季节均存在的有蜘蛛目和半翅目 2 大类群,以上类群构成了科尔沁沙地草地生境土壤动物群落全年的基本组成(图 1)。

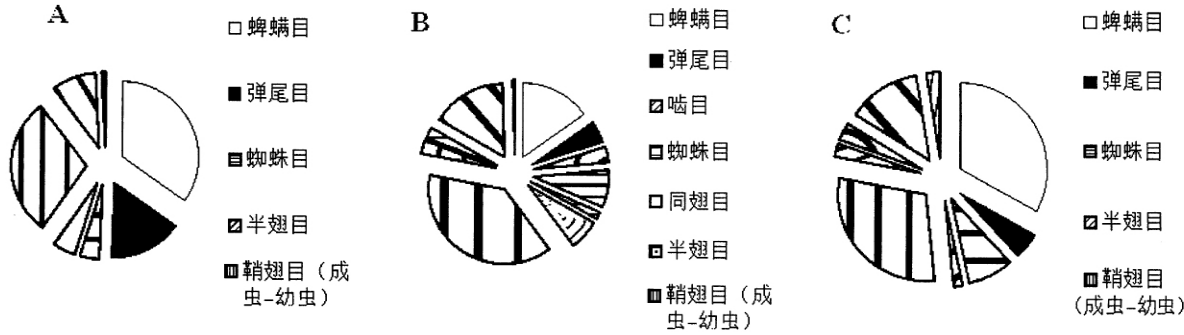


图 1 土壤动物群落组成的季节性变化(A、B、C 分别为 2008 夏季与秋季及 2009 春季)

Fig. 1 Seasonal changes in soil faunal community composition. A, B, C representing summer, autumn and spring

3.2 土壤动物多样性

3.2.1 大型土壤动物多样性

大型土壤动物个体密度和类群数随季节变化的趋势相同,均表现为夏季 > 春季 > 秋季(表 1),而且春季和秋季的类群数相差不大。Shannon 指数和均匀度指数季节分布均差异较小,季节变化趋势相反。夏季大型土壤动物个体数多,种类丰富,多样性较高,而春季和秋季大型土壤动物群落多样性均较低。

表 1 大型土壤动物多样性

Tab. 1 Seasonal changes of soil macro-faunal diversity

	春季	夏季	秋季
密度	23.80	33.90	12.80
类群数	25	39	24
Shannon 指数	2.75	2.82	2.59
均匀度指数	0.86	0.77	0.82

表 2 中小型土壤动物多样性

Tab. 2 Seasonal changes soil meso-faunal diversity

	春季	夏季	秋季
密度	23.80	17.00	10.40
类群数	3	5	5
Shannon 指数	0.67	1.01	0.96
均匀度指数	0.61	0.63	0.59

3.2.2 中小型土壤动物多样性

中小型土壤动物个体密度表现为春季 > 夏季 > 秋季;类群数表现为夏季 = 秋季 > 春季,而且均较少。Shannon 指数和均匀度指数随季节分布变化趋势相似,均表现为夏季较高;而且 Shannon 指数春季较低,秋季居中,而均匀度指数秋季较低,春季居中(表 2)。

3.3 土壤动物分布与温度及水分的关系

土壤含水量随季节更替表现为春季 > 秋季 > 夏季,和降雨量季节性变化不同,夏季降雨量最高(图 2)。土壤温度表现为夏季 > 春季 > 秋季,和大气温度的季节变化保持一致。说明夏季大气温度和土壤温度均较高,虽然降雨量高,但由于土壤水分蒸发量较高,夏季土壤含水量较低。

大型土壤动物多样性和环境因子的相关分析表明(表 3),个体数和土壤含水量呈显著负相关关系( $P < 0.05$ );类群数和土壤含水量及温度无显著相关关系( $P > 0.05$ )。表明土壤含水量季节变化是影响大型土壤动物群落个体数季节分布的主要因素。夏季土壤含水量较低,土壤动物个体数量较多,尽管种类季节分布变化不大,但夏季土壤动物多样性仍较高。

中小型土壤动物群落多样性和环境因子的相关分析表明(表 4),个体数、类群数、Shannon 指数和均匀度指数与土壤含水量和温度间均无显著相关关系( $P > 0.05$ )。表明土壤环境因子季节变化对中小型土壤动物季节分布影响较小。

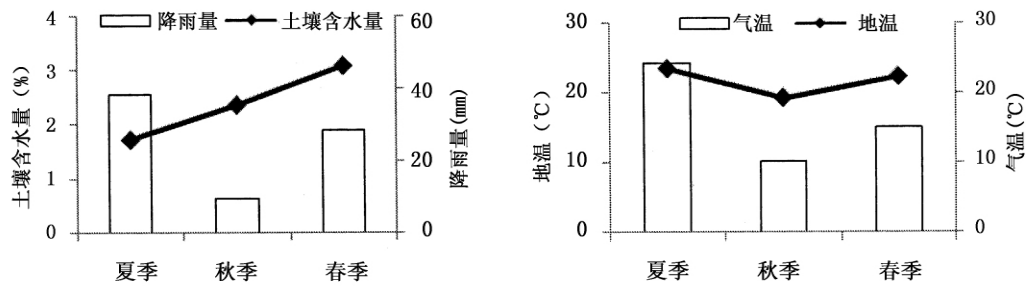


图2 土壤含水量与土壤温度分别和大气降水量及大气温度相关关系

Fig. 2 Correlations between soil water content and rainfall, temperature and soil temperature

## 4 讨论与结论

土壤含水量随季节更替表现为春季 > 秋季 > 夏季, 但夏季降雨量最高。土壤温度表现为夏季 > 春季 > 秋季, 和大气温度的季节变化保持一致。土壤动物群落多样性和环境因子的相关分析表明, 土壤温度是影响土壤动物群落个体数多寡分布的主要因素。夏季土壤温度较高, 而且降雨量较大, 植物处于生长季节, 间接的影响土壤动物分布和存活<sup>[21]</sup>, 土壤动物个体数较多, 远高于春季和秋季。

大型土壤动物群落多样性和环境因子的相关分析表明, 土壤含水量季节变化是影响大型土壤动物群落个体数季节分布的主要因素。夏季降雨量丰富, 促进植被恢复, 从而为大型土壤动物提供食物来源<sup>[22]</sup>。尽管夏季降雨量多对土壤动物生存产生重要影响, 但大型土壤动物具有较强的移动能力而能够避开降雨带来的影响<sup>[23]</sup>, 而且温度较高, 蒸发量大, 土壤含水量较低, 更适于大型土壤动物的存活<sup>[24]</sup>, 因此, 夏季大型土壤动物个体数较多, 多样性较高, 远高于春季和秋季。

中小型土壤动物群落多样性和环境因子的相关分析表明, 土壤环境因子季节变化对中小型土壤动物季节分布影响较小。夏季降雨量丰富, 由于中小型土壤动物移动能力较弱些<sup>[5, 18]</sup>, 对中小型土壤动物可能产生更深刻的影响, 其个体密度表现为春季 > 夏季 > 秋季。并且, 夏季是植物生长季节, 夏季和秋季植物密度和盖度较高可能是影响中小型动物多样性产生变化的重要原因<sup>[5]</sup>。

综合分析, 研究样地共获得 8 个大类群, 螨类和鞘翅目幼虫占据优势地位。常见类群随季节变化发生更替, 3 个季节均存在的有蜘蛛目和半翅目 2 大类群。夏季大型土壤动物个体数多, 种类丰富, 多样性较高, 而春季和夏季均较低。中小型土壤动物密度表现为春季 > 夏季 > 秋季, Shannon 指数和均匀度指数随季节分布变化趋势相似, 均表现为夏季较高。夏季温度和水分对大型土壤动物多样性影响较大, 而对中小型土壤动物多样性影响相对较小。

## 参考文献

- [1] Lindberg N. Soil fauna and global change – responses to experimental drought, irrigation, fertilisation and soil warming [D]. Uppsala: PHD Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, 2003.
- [2] 常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 等. 环境湿度和降雨对昆虫的影响 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(4): 619–625.
- [3] 陈法军, 翟保平, 张孝羲. 棉铃虫蛹期土壤水分对其种群发生的影响 [J]. 生态学报, 2003, 23(1): 112–121.
- [4] 高鑫, 张晓明, 杨洁, 等. 花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系 [J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2788–2796.
- [5] 邱军, 傅荣恕. 土壤温湿度对甲螨和跳虫数量的影响 [J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 72–74.
- [6] Didden W A M. Ecology of terrestrial Enchytraeidae [J]. Pedobiologia, 1993, 37: 2–29.
- [7] Walter D E, Proctor H C. Mites. Ecology, Evolution and Behaviour [M]. CABI Publishing, Wallingford, Oxon. 1999.
- [8] Fu S L, Zou X M, Coleman D. Highlights and perspectives of soil biology and ecology research in China [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41: 868–876.

表3 大型土壤动物群落季节分布和环境因子的相关性

Tab. 3 Correlation between soil macro-fauna

and environmental conditions

	密度	类群数	H	E
土壤含水量	r -0.728*	-0.552	-0.450	0.383
	P 0.026	0.123	0.224	0.308
土壤温度	r 0.477	0.644	0.600	0.100
	P 0.194	0.061	0.088	0.798

表4 中小型土壤动物群落季节分布和环境因子的相关性

Tab. 4 Correlation between soil meso-fauna

and environmental conditions

	密度	类群数	H	E
土壤含水量	r -0.059	-0.078	-0.276	-0.275
	P 0.881	0.842	0.472	0.509
土壤温度	r 0.033	-0.104	-0.134	0.012
	P 0.932	0.790	0.731	0.978

- [9]殷秀琴,宋博,董伟华,等. 我国土壤动物生态地理研究进展[J]. 地理学报,2010,65(1): 91–102.
- [10]Battisti A, Stastny M, Netherer S, et al. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures [J]. Ecological Applications, 2005, 15: 2084–2096.
- [11]Kiritani K. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan [J]. Population Ecology, 2006, 48: 5–12.
- [12]Hassall C, Thompson D J, French G C, et al. Historical changes in the phenology of British Odonata are related to climate [J]. Global Change Biology, 2007, 13: 933–941.
- [13]Guo K, Hao S G, Sun O J X, et al. Differential responses to warming and increased precipitation among three contrasting grasshopper species [J]. Global Change Biology, 2009, 15: 2539–2548.
- [14]刘继亮,李锋瑞,刘七军,等. 黑河中游干旱荒漠地面节肢动物群落季节变异规律[J]. 草业学报,2010,19(5): 161–169.
- [15]Taylor A R I T, Schröter D, Pflug A, et al. Response of different decomposer communities to the manipulation of moisture availability: potential effects of changing precipitation patterns [J]. Global Change Biology, 2004, 10: 1313–1324.
- [16]Convey P, Pugh P J A, Jackson C, et al. Response of Antarctic terrestrial microarthropods to long-term climate manipulations [J]. Ecology, 2002, 83: 3130–3140.
- [17]牛书丽,万师强,马克平. 陆地生态系统及生物多样性对气候变化的适应与减缓[J]. 中国科学院院刊,2009,24(4): 421–427.
- [18]尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社,1998.
- [19]郑乐怡,归鸿. 昆虫分类[M]. 南京: 南京师范大学出版社,1999.
- [20]能乃扎布. 内蒙古昆虫[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社,1999.
- [21]张飞萍,陈清林,尤民生. 气象因子与毛竹林节肢动物群落的关系[J]. 华东昆虫学报,2006,15(1): 30–33.
- [22]刘任涛,赵哈林. 沙质草地土壤动物的研究进展及建议[J]. 中国沙漠,2009,29(4): 656–662.
- [23]Canepuccia A D, Cicchino A, Escalante A, et al. Differential responses of marsh arthropods to rainfall-induced habitat loss [J]. Zoological Studies, 2009, 48: 174–183.
- [24]Rentao L, Halin Z, Xueyong Z, et al. Soil macrofaunal response to sand dune conversion from mobile dunes to fixed dunes in Horqin sandy land, northern China [J]. European Journal of Soil Biology, 2009, 45: 417–422.

## Seasonal changes of soil faunal diversity and its relation to temperature and moisture in semi-arid grassland, North China

LIU Rentao<sup>1</sup>, ZHAO Halin<sup>2</sup>, ZHAO Xueyong<sup>2</sup>

(1. Ministry of Education Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Ningxia University, Yinchuan 750021, P. R. China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P. R. China)

**Abstract:** Taking the enclosure grassland to some extent of Naiman Desertification Research Station, CAS as a base, an investigation of rainfall, temperature, soil water content and temperature with soil faunal communities was carried out. The seasonal changes of soil faunal diversity and its response to the rainfall and temperature were discussed. Totally, there were 13 groups and 11 orders captured with mites and beetle larvae as dominant groups, which came up from spring through summer to autumn; While the common groups took turns with changing season. The density, richness and diversity of soil macrofaunal community were higher in summer than in spring and autumn. While for the soil mesofaunal community, the density was higher at the order of spring > summer > autumn, and the Shannon index and evenness index were higher in summer. It was suggested that there was a remarkable influence of summer temperature and rainfall on soil macrofaunal community, but not on soil mesofaunal community.

**Key words:** soil fauna; diversity; semi-arid grassland; seasonal change; meteorological factor