

林青战,王汉男,韩娜娜,等.密云水库流域土壤动物群落组成及多样性[J].江苏农业科学,2016,44(12):445-448.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.133

密云水库流域土壤动物群落组成及多样性

林青战¹,王汉男¹,韩娜娜¹,王立秀¹,郭强¹,周亮²,赵奎军¹,谢桂林¹

(1. 东北农业大学生命科学学院,黑龙江哈尔滨 150030; 2. 南京宿根植物园,江苏南京 210036)

摘要:为探讨密云水库流域土壤动物的群落组成及物种多样性特征,为密云水库生态系统的保护和可持续发展提供科学依据,于 2015 年 6—7 月,采用 Tullgren 干漏斗法和手检法对北京密云水库流域的 5 个生境[杏林(Ⅰ)、紫穗槐林(Ⅱ)、柳树林(Ⅲ)、桑树林(Ⅳ)和沙棘林(Ⅴ)]进行土壤动物调查研究。结果:共捕获土壤动物 3 087 头,隶属 2 门 4 纲 15 目,其中优势类群有 4 类,即中气门亚目、等节跳科、球角跳科和双翅目;常见类群有 4 类,即隐气门亚目、长角跳科、同翅目、鞘翅目幼虫,两者共占总捕获量的 94.5%。在空间分布上,除生境Ⅴ外,其他生境土壤动物的垂直分布均呈现明显的表聚性。在 5 个不同生境中,土壤动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数的大小顺序为Ⅰ=Ⅲ>Ⅴ>Ⅳ>Ⅱ;Margalef 丰富度指数的大小顺序为Ⅰ>Ⅲ>Ⅴ>Ⅱ>Ⅳ;Simpson 优势度指数的大小顺序为Ⅴ>Ⅳ>Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ;Jaccard 相似性系数表明,Ⅲ和Ⅳ之间为极相似,其他生境两两之间为中等相似。

关键词:密云水库;土壤动物;生态系统;群落组成;多样性

中图分类号:S154.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)12-0445-04

土壤动物是森林、草地、湿地、农田等陆地生态系统中的重要组成部分^[1-2],联系着地上和地下生态系统^[3],在物质循环和能量流动等方面起着重要的作用^[4],对植被、土壤等环境因子的变化有一定的响应^[5-6]。大部分土壤动物是土壤有机质或动植物残体的分解者,尤其在凋落物分解过程的调节中起到重要作用^[7],对保持土壤肥力和生态系统的物质循环有重要意义^[8-9],土壤动物在生态系统中的作用不言而喻^[10];因此,土壤动物是陆地生态系统物质循环、能量流动和信息传递的中心环节,是生态系统演化的重要驱动因子^[11]。同时,土壤动物在自然界中占据了多样性更高、空间尺度更广的生境,具有广谱的生物地理学和生态学探针功能^[12],对生境变化高度敏感,可以用来描述生境的特征及指示生境的变化,在各类生态系统生物多样性监测和保护方面具有重要意义^[13]。近年来,土壤动物的生态学研究越来越受到学者们的关注^[14]。

密云水库是潮白河上最重要的水库,是北京市重要水源地,该流域人地关系紧张,生态环境脆弱^[15]。近年来,随着人类活动日益频繁,流域内的地表植被发生了一系列变化,进而对流域生态产生了一系列影响。人为因素的干扰程度决定了局部环境条件,因此影响了物种多样性^[16]。本研究以位于密云水库流域 5 个不同的生境作为试验样地,旨在深入探讨密云水库流域土壤动物群落的组成、结构及其多样性特征,为密云水库生态系统的保护和可持续发展提供科学依据,因此具

有重要的生态学意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

密云水库位于北京市密云区(40°14'~41°05'N、116°07'~117°30'E),距北京市中心约 100 km,水库最大水面 188 km²,由潮河、白河 2 个水系组成(图 1)。



图1 密云水库流域

密云水库流域属于暖温带半湿润季风型大陆性气候,四季分明,干旱冷暖变化明显,无霜期为 150 d 左右,日照充足,水热同期,年平均气温为 10.8℃,降水分布一般是从东南向西北递减,年均降水量为 300~700 mm。降水绝大多数集中在汛期,降水所形成的地表径流是河流的主要补给形式。流域内土壤分为褐土、棕壤、草甸土和栗钙土等 4 类,流域内植被以人工林和天然次生林为主^[15,17]。

在密云水库流域选取 5 个不同生境作为采样地进行调查研究,分别为生境Ⅰ:杏林,属于落叶乔木,高 5~8 m;生境Ⅱ:紫穗槐林,属于落叶灌木,高 1~4 m;生境Ⅲ:柳树林,属于落叶乔木,高 3~10 m;生境Ⅳ:桑树林,属于落叶乔木,高 6~11 m;生境Ⅴ:沙棘林,属于落叶灌木,高 1~5 m。各生境的土壤类型均为棕壤,植被都属于人工林。

收稿日期:2015-10-15

基金项目:国家基础科学人才培养基金(编号:J1210069-32)。

作者简介:林青战(1991—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事土壤动物生态学和弹尾目系统分类学研究。E-mail:linzhan20092513417@163.com。

通信作者:谢桂林,博士,副教授,主要从事弹尾目昆虫系统分类学和土壤动物生态学研究。E-mail:desoria@qq.com。

1.2 研究方法

1.2.1 样本采集 于 2015 年 6—7 月分别在 5 个采样地取样,每个样地随机选取 3 个 $100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ 的样方,中小型土壤动物的采集使用环切刀(体积为 100 cm^3),采用五点取样法取样。因地理条件限制,即乱石块上面的覆土层较浅,故只采 2 层土样($0 \sim 5\text{ cm}$ 和 $5 \sim 10\text{ cm}$)。在样方内随机选取 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的样方来采集大型土壤动物,同样采集 2 层,以供手捡。每个样方内采集 10 个供烘烤的小样品和 2 个手捡大样品,共采集 180 个样品。

1.2.2 分离与鉴定 采用改良的 Tullgren 漏斗分离装置进行土壤动物分离^[18],烘烤时间为 48 h。收集到的土壤动物置于 75% 乙醇中保存。依据《中国土壤动物检索图鉴》^[19]、《昆虫分类(上)》^[20]等参考书目,在体视显微镜(MOTIC SMZ-168)下鉴定并统计所收集的土壤动物。

1.2.3 数据处理 土壤动物多样性特征主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(M)、Pielou 均匀度指数(J)和 Simpson 优势度指数(C)来计算,计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数(H'): $H' = -\sum P_i \ln P_i$;

Margalef 丰富度指数(M): $M = (S-1)/\ln N$;

Pielou 均匀度指数(J): $J = H'/\ln S$;

Simpson 优势度指数(C): $C = \sum (n_i/N)^2$ 。

式中, S 代表土壤动物的总类群数, P_i 代表第 i 类土壤动物的个体数与土壤动物总个体数的比, n_i 为第 i 类群个体数, N 为群落的总个体数。

采用 Jaccard 相似性系数(q)比较群落之间的相似性。计算公式如下:

$$q = c/(a + b - c)。$$

式中, a 为 A 样方内群落的类群数, b 为 B 样方内群落的类群数, c 为 A、B 2 个样方内共有群落的类群数。当 $0 < q < 0.25$ 时,极不相似;当 $0.25 \leq q < 0.50$ 时,中等不相似;当 $0.50 \leq q < 0.75$ 时,中等相似;当 $0.75 \leq q < 1.00$ 时,极相似。

土壤动物群落多度等级的划分:个体数占总捕获量 10% 以上的为优势类群,个体数占总捕获量 1%~10% 之间的为常见类群,个体数占总捕获量 1% 以下的为稀有类群。

采用 BioDiversity Pro、Microsoft Excel 进行计算、制图,采用 SPSS 18.0 进行单因素方差分析和 LSD 多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落的组成

本试验获得各种土壤动物 27 类,共 3 087 头,分别隶属于 2 门 4 纲 15 目(表 1)。其中优势种群为中气门亚目、等节跳科、球角跳科和双翅目 4 类,占总捕获量的 81.22%;常见种群为隐气门亚目(又称甲螨)、长角跳科、同翅目和鞘翅目幼虫 4 类,占总捕获量的 13.28%;其余 19 类为稀有种群,占总捕获量的 5.50%。在所得中小型土壤动物中,数量最多、分布最广的类群是螨类和弹尾类,主要活动在有植物生长的地方。相比之下弹尾类的数量要多于螨类,弹尾类包括长角跳科、等节跳科、球角跳科、棘跳科、疣跳科和圆跳科,共 1 814 头;螨类包括隐气门亚目和中气门亚目,共 499 头。

通过分析各生境土壤动物的类群数、类群组成及个体数

量发现,各生境的土壤动物类群数大小顺序为 $I = III > V > IV > II$ 。土壤动物个体数大小顺序为 $IV > V > III > I > II$,5 个生境的土壤动物个体数差异不显著($F = 2.050, P > 0.05$)。通过进一步的 LSD 多重比较分析发现,生境 I 与生境 IV、生境 II 与生境 IV 之间土壤动物个体数差异显著($P < 0.05$)。

5 个生境的土壤动物群落组成存在差异,许多因素可以影响到土壤动物群落的组成和数量,包括土壤的物理和化学性质(地表凋落物、有机质含量、疏松程度、颗粒大小、污染程度和湿度等)、植被情况、人为干扰等^[21]。因此,了解在生境中影响物种偏好的因素,对预测物种的分布和群落组成起到重要作用^[22]。

2.2 土壤动物的垂直分布特征

各生境土壤动物在 $0 \sim 5\text{ cm}$ 和 $5 \sim 10\text{ cm}$ 土层的分布如表 2 所示,生境 I 至生境 IV 土壤动物的数量和种类数随着土层深度的加深而降低,呈现出明显的表聚性;而生境 V 的土壤动物数量则随着土层深度的加深而增加,因为沙棘林地紧靠湖泊,土壤层松软,水分易下渗,同时表层凋落物较少,土壤表层湿度远小于深层,从而土壤动物往深层下移,故表现出与总体分布规律的差异。

土壤动物个体数在不同生境同一土层上的分布存在一定差异。在 $0 \sim 5\text{ cm}$ 土层,各生境土壤动物个体数大小顺序为 $IV > III > V > I > II$ ($F = 1.947, P > 0.05$),而 LSD 多重比较分析发现生境 I 与生境 IV、生境 II 与生境 IV 之间土壤动物个体数差异显著($P < 0.05$); $5 \sim 10\text{ cm}$ 土层,各生境土壤动物个体数大小顺序为 $V > IV > I > III > II$ ($F = 1.045, P > 0.05$)。

2.3 土壤动物的多样性指数

在群落研究中,物种多样性指数是代表群落组织水平及其功能特性的综合指标,不同群落具有不同的物种多样性水平^[23],反映群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度,从而能够反映出各生境间的相似性或差异性。土壤动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)、Simpson 优势度指数(C)、Margalef 丰富度指数(M)等是土壤动物群落结构、功能和差异性的重要指标,可以反映土壤动物群落结构的稳定性和复杂性。其中群落丰富度和群落均匀度与群落多样性密切相关,一方面,群落内组成类群越丰富,则群落多样性越大;另一方面,群落内个体在类群间分配越均匀,即群落均匀度越大,则群落多样性越大^[24]。对于陆地动物群落,通常认为环境条件越优越,动物群落多样性指数越高,种的构成越复杂,种类数目越多,同种的个体数量越少;环境条件越偏离正常,动物群落多样性指数越低,种的构成越简单,群落个性越强,个别种类个体数量越多^[25]。

由表 3 可知,密云水库流域 5 个不同生境下土壤动物多样性存在一定的差异性。各生境的 H' 指数大小依次为 $I = III > V > IV > II$, M 指数大小依次为 $I > III > V > II > IV$, C 指数大小依次为 $V > IV > I > III > II$, J 指数在 5 种生境中表现出同一性。

2.4 土壤动物群落的相似性

计算 5 个生境土壤动物群落的 Jaccard 相似性系数(q),比较群落之间的相似性,并对各生境土壤动物群落的相似性系数进行聚类分析。

由表 4 可知:5 个生境中,生境 III 和生境 IV 的相似性系数

表 1 密云水库不同生境土壤动物群落组成

类群	个体数量(头)						占总数比例(%)	多度
	生境 I	生境 II	生境 III	生境 IV	生境 V	合计		
隐气门亚目	89	16	9	8	19	141	4.57	++
中气门亚目	45	54	31	119	109	358	11.60	+++
长角跳科	12	3	5	21	5	46	1.49	++
等节跳科	7	69	48	500	429	1 053	34.11	+++
球角跳科	0	8	160	497	2	667	21.61	+++
棘跳科	6	2	2	0	18	28	0.91	+
疣跳科	0	0	0	0	1	1	0.03	+
圆跳科	0	2	11	5	1	19	0.62	+
双翅目	151	89	92	49	48	429	13.90	+++
同翅目	46	68	40	4	23	181	5.86	++
膜翅目	6	3	5	2	3	19	0.62	+
鳞翅目	11	0	4	2	0	17	0.55	+
鞘翅目	3	6	5	7	8	29	0.94	+
缨翅目	1	0	0	0	0	1	0.03	+
脉翅目	1	0	0	0	0	1	0.03	+
毛翅目	0	1	1	0	0	2	0.06	+
鳞翅目幼虫	3	0	0	0	0	3	0.10	+
双翅目幼虫	2	6	5	1	7	21	0.68	+
鞘翅目幼虫	1	8	10	18	5	42	1.36	++
同翅目幼虫	0	0	0	1	0	1	0.03	+
膜翅目幼虫	0	0	4	0	0	4	0.13	+
双尾目	1	0	0	0	2	3	0.10	+
蛭虫目	0	0	10	2	0	12	0.39	+
蜚蠊目	0	1	0	0	0	1	0.03	+
鞘翅目隐翅甲科	1	0	1	1	2	5	0.16	+
线虫纲	0	0	0	0	2	2	0.06	+
软甲纲等足目	1	0	0	0	0	1	0.03	+
合计	387	336	443	1 237	684	3 087	100.00	
类群数量(个)	18	15	18	16	17			

注: +++ 表示优势类群,个体数占总数的 10% 以上; ++ 表示常见类群,个体数占总数的 1% ~ 10%; + 表示稀有类群,个体数占总数的 1% 以下。

表 2 各生境土壤动物的垂直分布

土层	生境 I		生境 II		生境 III		生境 IV		生境 V		总计	
	个数	种类	个数	种类	个数	种类	个数	种类	个数	种类	个数	种类
0 ~ 5 cm	225	14	210	13	294	18	898	14	271	14	1 898	22
5 ~ 10 cm	162	15	126	13	149	13	339	13	413	12	1 189	21
总计	387	18	336	15	443	18	1 237	16	684	17	3 087	27

表 3 各生境土壤动物的多样性指数

指数	生境 I	生境 II	生境 III	生境 IV	生境 V
H'	1.255	1.176	1.255	1.204	1.230
J	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434
C	0.234	0.181	0.199	0.336	0.426
M	2.853	2.407	2.789	2.107	2.451

表 4 各生境土壤动物群落的相似性系数

生境	I	II	III	IV	V
I	1.000 0				
II	0.500 0	1.000 0			
III	0.520 0	0.736 8	1.000 0		
IV	0.545 4	0.631 6	0.789 5	1.000 0	
V	0.590 9	0.684 2	0.666 7	0.650 0	1.000 0

q 为 0.789 5($q > 0.75$), 为极相似; 其余生境两两之间均为中等相似($q > 0.50$)。由图 2 可知, 5 种生境在不同的相似性系数(q)水平上出现分支, 更明确了各生境之间的相似程度。

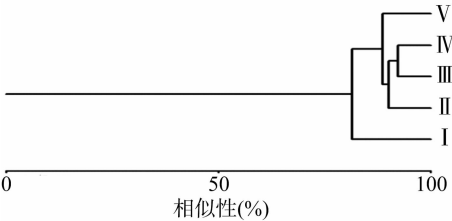


图2 土壤动物群落相似性系数聚类分析

3 结论与讨论

(1) 在密云水库流域的 5 个不同生境中, 共捕获土壤动物 3 087 头, 隶属于 2 门 4 纲 15 目。其中优势类群和常见类群构成该地区土壤动物群落的主体, 决定整个群落的特性和功能; 稀有类群个体总数占总捕获量的 5.5%, 对环境因素有较高的敏感性, 可以作为土壤环境的指示生物。

(2) 土壤动物个体数在垂直分布上呈现明显的表聚性(生境 V 除外), 受到不同土壤层理化性质的影响。不同生境

同一土层的土壤动物个体数分布也存在一定差异。由于植被组成和土壤养分含量差异较大,以及因距离湖泊的距离远近而引起的温湿度不同,使各生境在同一土层的土壤动物种类组成和数量存在差异。在生境Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ中,土壤环境较稳定,土壤动物类群数和个体数是随着土层的加深而减少,符合从地表向下,随土壤深度增加动物类群及数量逐渐降低的规律。在生境Ⅴ中,由于地表土壤较干燥,致使土壤动物往下一定范围内集中。

(3)土壤动物的个体数随生境的变化有很大波动,而类群数变化较小。各群落土壤动物的种类分布与数量分布差异很大,生境Ⅰ、Ⅲ的类群数最多;生境Ⅳ的个体数最多。生境Ⅰ中土壤动物的 Shannon - Wiener 指数和 Margalef 数最高,而生境Ⅱ、Ⅳ中的较低,表现出一致性;生境Ⅴ的 Simpson 指数最高,而生境Ⅱ的最低,这与 Shannon - Wiener 指数存在差异,是由于生境Ⅴ的土壤特征即表层土壤湿度低于深层导致的。

(4)对密云水库流域土壤动物群落结构组成及物种多样性的进一步研究,可以考虑生态周年的4个不同季节土壤动物的群落动态分析。由于土壤动物群落的结构组成与土壤的理化性质密切相关,可以对不同生境每一土层的土壤理化性质分别进行测定,更深入地了解土壤动物群落结构特征的影响因素,从而为密云水库流域的科学管理、生物多样性的保护、生态环境的改善等提供更多的科学理论依据。

本研究区位于北京密云水库流域,自然环境相对稳定。但是由于近年来的人为活动,影响了该区域土壤动物的多样性。但是关于该区域土壤动物与环境变化的相关性研究较少,有待于进一步的研究来揭示其规律。

致谢:本研究得到国家基础科学人才培养基金子项目“高效农田土壤动物群落结构及生物防治关键技术研究”(编号:J1210069-32)、黑龙江省教育厅科学技术研究项目“黑龙江省等跳科系统分类及其活性物质抗癌性研究”(编号:12521001)、黑龙江省博士后资助项目“跳虫系统分类及其活性物质应用研究”(编号:LRB09-535)、东北农业大学博士启动基金“中国弹尾纲等跳科系统分类学研究”(编号:2010RCB57)的资助。研究过程中还得到哈尔滨师范大学臧淑英教授的大力支持,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 章家恩,秦 钟,李庆芳. 不同土地利用方式下土壤动物群落的聚类与排序[J]. 生态学杂志,2011,30(12):2849-2856.
- [2] 李晓东,史沉鱼,覃国乐,等. 濒危植物单性木兰林区土壤动物群落结构与季节动态[J]. 华中农业大学学报,2015,34(4):20-26.
- [3] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota[J]. Science, 2004, 304(5677):1629-1633.
- [4] Xia L, Wu F Z, Yang W Q, et al. Contribution of soil fauna to the mass loss of *Betula albosinensis* leaf litter at early decomposition stage of subalpine forest litter in western Sichuan[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(2):301-306.
- [5] Song B, Yin X Q, Zhang Y, et al. Dynamics and relationship of Ca, Mg, Fe in litter, soil fauna and soil in *Pinus koraiensis* - broadleaf

- mixed forest[J]. Chinese Geographical Science, 2008, 18(3):284-290.
- [6] Gao M X, Zhang X P. Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1):164-174.
- [7] Zhang W D, Yuan S F, Hu N, et al. Predicting soil fauna effect on plant litter decomposition by using boosted regression trees[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 82:81-86.
- [8] Caruso T, Taormina M, Miglioni M. Relative role of deterministic and stochastic determinants of soil animal community: a spatially explicit analysis of oribatid mites[J]. Journal of Animal Ecology, 2012, 81(1):214-221.
- [9] Nielsen U N, Osler G H R, Campbell C D, et al. The enigma of soil animal species diversity revisited: the role of small - scale heterogeneity[J]. PLoS One, 2010, 5(7):e11567.
- [10] 尹文英. 土壤动物学研究的回顾与展望[J]. 生物学通报, 2001, 36(8):1-3.
- [11] 吾玛尔·阿布力孜, 古丽布斯坦·努尔买买提, 阿布都肉苏力·吐孙, 等. 新疆阜康绿洲不同生境土壤动物群落多样性及其季节动态[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6):1412-1420.
- [12] Tan B, Wu F Z, Yang W Q, et al. Characteristics of soil animal community in the subalpine/alpine forests of western Sichuan during onset of freezing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(2):93-99.
- [13] Bokhorst S, Wardle D A, Nilsson M C, et al. Impact of understory mosses and dwarf shrubs on soil micro - arthropods in a boreal forest chronosequence[J]. Plant and Soil, 2014, 379(1):121-133.
- [14] 王振海, 殷秀琴, 蒋云峰. 长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2014, 34(3):755-765.
- [15] Li Y F, Luo Y C, Liu G, et al. Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3):726-736.
- [16] Thakur M P, Berg M P, Fisenhauer N, et al. Disturbance - diversity relationship for soil fauna are explained faunal community biomass in a salt marsh[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2014, 78(78):30-37.
- [17] 陈 涛, 牛瑞卿, 李平湘, 等. 密云水库流域植被覆盖度变化对输沙量的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(1):152-159.
- [18] 尹文英, 杨逢春, 王振中, 等. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992:4-16.
- [19] 尹文英, 胡圣豪, 沈熹芬, 等. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [20] 郑乐怡, 归 鸿. 昆虫分类(上)[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [21] Gao Y, Xiong Y, Potapov M. Checklist of Chinese Isotomidae (Collembola) and a description of a new *Subisotoma*[J]. Zootaxa, 2009(2242):55-63.
- [22] Heiniger C, Barot S, Ponge J F, et al. Collembolan preferences for soil and microclimate in forest and pasture communities[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 86:181-192.
- [23] 朱永恒, 赵春雨, 王宗英, 等. 我国土壤动物群落生态学研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12):1477-1481.
- [24] 白 义, 施时迪, 齐 鑫, 等. 台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(2):421-430.
- [25] 黄丽荣, 李春英, 张雪萍, 等. 大兴安岭北部森林生态系统土壤动物群落特征[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(7):75-79.