

卢萍,底明晓,翁晓东,等. 环境因子对鄱阳湖区典型洲滩湿地土壤节肢动物群落结构的影响[J]. 江西师范大学学报(自然科学版),2023,47(3):246-254.

LU Ping,DI Mingxiao,WENG Xiaodong, et al. The effects of environmental factor on soil arthropod community in typical wetland of Poyang Lake [J]. Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science),2023,47(3):246-254.

文章编号:1000-5862(2023)03-0246-09

环境因子对鄱阳湖区典型洲滩湿地土壤 节肢动物群落结构的影响

卢萍,底明晓,翁晓东,周博,陆远鸿

(江西省科学院生物资源研究所,江西 南昌 300096)

摘要:该文分析了鄱阳湖湿地土壤节肢动物群落特征和土壤主要性质之间的相互关系,探索了土壤环境因子与土壤节肢动物之间的相互作用.在鄱阳湖枯水期湿地出露时,采用手拣法、改良干漏斗法(modified tullgren)和湿漏斗法(baermann)对3种典型湿地生境类型的土壤节肢动物群落进行调查,并对土壤主要性质进行分析.研究表明:在研究时段内共收集到湿地土壤节肢动物2 047头,隶属3纲5目15科,共18类,其中大型土壤节肢动物种类较多;在不同湿地生境类型内的土壤含水量、有机碳、全氮和全磷含量差异极显著($P < 0.01$),在不同水位下的土壤温度、pH值和碳氮比差异极显著($P < 0.01$),有机碳含量差异显著($P < 0.05$). Pearson相关分析表明:土壤节肢动物个体数与土壤含水量、土壤有机碳、全氮、全磷和碳氮比存在显著的正相关关系;类群数与土壤温度和pH值存在显著的正相关关系;大型土壤节肢动物 Shannon-Wiener指数和 Pielou指数与土壤温度、pH值呈极显著的正相关关系($P < 0.01$),与碳氮比呈显著的负相关关系($P < 0.05$);中小型土壤节肢动物 Shannon-Wiener指数与土壤全磷含量呈显著的正相关关系($P < 0.05$). 冗余分析表明:土壤有机碳和土壤温度是影响鄱阳湖湿地在枯水期时土壤节肢动物类群组成和分布的主要环境因子.

关键词:群落多样性;优势类群;功能群;鄱阳湖区

中图分类号:Q 958 **文献标志码:**A **DOI:**10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2023.03.05

0 引言

湿地是在水陆交互作用下的过渡生态系统,具有陆地和水域生态系统的综合特征和复杂的结构,并为动植物的生长提供多样且复杂的生境^[1]. 鄱阳湖是中国面积最大的淡水湖泊及国际重要的湿地,其湿地生态系统在维持长江流域生物多样性方面发挥着重要作用^[2-3]. 受气候条件和长江流域水文的影响,鄱阳湖季节性的水位变化使其洲滩湿地具

有周年水陆交替现象^[4]. 鄱阳湖湿地在枯水期时的面积约为在丰水期时的面积的1/3^[5-6]. 近年来,受长江中上游控制性水利工程的影响,鄱阳湖出现了枯水位下降、提前和延长等水文情势的重大变化^[7],导致鄱阳湖湿地生物多样性减少,表现出明显的退化现象^[8-9].

土壤动物是在湿地生态系统中初级生产者和次级消费者之间的营养中介,在物质循环和能量流动中起关键作用. 湿地土壤动物物种具有陆生和水生的兼备性,充分体现了湿地生态系统水陆交互性

收稿日期:2022-12-30

基金项目:国家自然科学基金(41561056,32160264)和江西省科学院课题(2021YSBG50008,2022YSBG21004,2019-XT-PH1-02)资助项目.

作者简介:卢萍(1984—),女,江西新余人,副研究员,博士研究生,主要从事动物生态学研究. E-mail: luping_edu@sina.com

和过渡性特征,其动态变化可以较好地反映在湿地退化和恢复过程中生态功能的变化^[10],在指示生态环境的变化、维持生物多样性和生态平衡方面起着重要作用^[11-12]. 研究湿地土壤动物群落结构及其影响因素,可为深入湿地生态系统研究、恢复管理与评价等提供基础资料^[13]. 目前,国内外关于湿地土壤动物生态特征的研究已有不少报道^[14],但多数仅是单一地进行群落生态学方面的研究. 研究表明植被结构和土壤理化性质是决定土壤动物分布的主要因子^[10-15]. 因此,研究湿地土壤动物与土壤环境因子的相关性、探索湿地土壤动物与湿地退化和恢复的关系是非常必要的. 本文分析了在鄱阳湖枯水期时在3种典型湿地中土壤节肢动物的组成和结构,探讨了土壤节肢动物群落与土壤环境因子变化的相互关系,为进一步研究土壤动物在鄱阳湖湿地生态系统演变过程中的生态学功能提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊,位于江西省北部长江中下游南岸(28°24′~29°46′N,115°49′~116°46′E). 鄱阳湖属于季节型湖泊,湖泊通江水面

面积在丰水期(4~9月)时最大(约为4 078 km²),湖泊通江水面面积在枯水期(10月~翌年3月)时约为1 290 km²^[16]. 鄱阳湖属典型的亚热带季风气候区,夏季盛行偏南风,炎热潮湿,最热月平均气温为29.5℃;冬季盛行偏北风,干燥寒冷,最冷月平均气温为5.1℃;多年平均气温为17.6℃,年平均降水量为1 450~1 550 mm,最大降水量集中于4~6月^[17]. 鄱阳湖冬季水落滩出,形成了众多的浅水洼地和洲滩,湖区湿地面积约为2 698 km²,约占全湖正常水位总面积的82%^[17-18],是全球越冬候鸟的重要栖息地,在维护生物多样性方面具有十分重要的作用^[19].

本文选取鄱阳湖3种典型洲滩湿地(恒湖湿地、南矶湿地和莲湖湿地)进行取样(见表1). 恒湖湿地位于鄱阳湖边缘,是由鄱阳湖水位季节性变化形成的,属于典型的滨湖湿地;南矶湿地是由赣江北支与鄱阳湖相互作用冲积形成的典型的三角洲湿地;莲湖湿地位于鄱阳湖东南岸的莲湖乡,为典型的岛屿湿地. 湿地内的主要优势植物为藃草(*Carex spp.*)、芦苇(*Phragmites australis*)和南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)等. 这3种湿地均在夏季时被水淹没,在冬季时露出.

表1 鄱阳湖洲滩湿地土壤节肢动物调查样地位置

编号	湿地类型	取样点	位置
1	滨湖湿地	江西省南昌市新建区恒湖垦殖场罗滨分场	28°59′27″N,116°09′40″E
2	三角洲湿地	江西鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区	28°57′06″N,116°21′23″E
3	岛屿湿地	江西省上饶市鄱阳县莲湖乡	28°56′15″N,116°33′32″E

1.2 土壤节肢动物采样与鉴定

在湖滩草洲上设置20 m×20 m的固定样地调查湿地土壤节肢动物,在每个样地中均匀布设3个样方,在0~20 cm土层中采集土壤样品. 用手拣法(20 cm×20 cm)、改良干漏斗法(10 cm×10 cm)和湿漏斗法(100 mL环刀)分离土壤节肢动物,样本保存于70%~75%的酒精中. 同时用环刀或铝盒采集新鲜土壤样品带回实验室进行土壤理化性质分析.

在对土壤节肢动物样本鉴定时,除蜚螨类鉴定到目外,其他都以科为分类单元^[20];营养功能群的划分是依据土壤节肢动物的食性及在食物分解过程中的作用进行的^[21].

1.3 土壤理化性质分析

现场使用土壤温湿度计(T-300)测定土壤温

度;用烘干法测定土壤含水量;用酸度计法测量土壤pH值(土水质量体积比为1.0:2.5);土壤有机碳、全氮和全磷分别采用重铬酸钾氧化——外热法、半微量凯氏法和钼锑抗比色法测定^[22].

1.4 数据分析

以土壤节肢动物各类群相对多度表示类群数量等级,主要分为4大类群:1)个体数量占全部捕获量10.0%以上的为优势类群;2)介于1.0%~10.0%之间的为常见类群;3)介于0.1%~1.0%的为稀有类群;4)在0.1%以下的为极稀有类群. 本文主要类群为优势类群和常见类群,其他类群有稀有类群和极稀有类群^[23].

采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀性指数(J_s)计算土壤节肢动物群落的物种多样性^[24],其计算公式为

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i, J_s = H' / (\ln S),$$

其中 P_i 为群落第 i 个种的个体数占总个体数的比率; S 为在群落中所有的物种数.

在进行方差分析时,为降低每个变量之间的异质性,将各变量在进行 $\lg(x+1)$ 转化后再进行分析,用 LSD 检验法对在鄱阳湖不同洲滩湿地中土壤节肢动物群落与类群之间显著性进行多重比较. 利用 Pearson 相关系数分析洲滩湿地的土壤主要理化性质与土壤节肢动物间的相互关系;用主成分分析(PCA)法分析鄱阳湖洲滩湿地对主要土壤节肢动物群落的影响,然后采用冗余分析(RDA)法分析主要土壤节肢动物群落与环境因子的相关性,并进行蒙特卡罗置换检验($P<0.05$).

所有统计分析均在 SPSS 22.0 和 CANOCO 5.0 软件上完成.

2 结果与分析

2.1 土壤主要理化性质

鄱阳湖湿地类型多样,在不同的生境类型中土壤性质存在差异. 方差分析(见表 2)显示:不同生境类型的土壤含水量($F=9.317, P=0.001$)、有机碳($F=10.846, P=0.000$)、全氮($F=15.992, P=0.000$)和全磷($F=31.495, P=0.000$)含量差异极显著($P<0.01$). 不同月份的土壤温度、pH 值和碳氮比差异极显著($P<0.01$),有机碳含量差异显著($P<0.05$). 其中,在枯水期时在不同水位下的土壤含水量的差异不显著($P>0.05$),不同土壤层的土壤性质差异都不显著($P>0.05$).

Pearson 相关分析(见表 3)显示:土壤 pH 值与碳氮比存在显著相关性($P<0.01$),土壤有机碳、全氮、全磷和碳氮比彼此间存在显著的相关性($P<0.05$),土壤 pH 值与土壤含水量、土壤温度存在显著相关性($P<0.01$).

表 2 鄱阳湖地区土壤性质

枯水期 水位	生境 类型	土壤含水量/ %	土壤温度/ ℃	pH 值 (土水质量体积 比为 1.0:2.5)	有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	C/N
15 m	IW	24.06 ± 0.04	28.29 ± 0.12	7.61 ± 0.23	14.37 ± 11.19	1.48 ± 0.95	0.81 ± 0.38	9.22 ± 1.27
	LW	32.38 ± 0.05	25.80 ± 1.18	6.08 ± 1.23	15.30 ± 1.22	1.56 ± 0.01	0.82 ± 0.02	9.79 ± 0.73
	DW	19.92 ± 0.02	27.49 ± 0.02	7.04 ± 0.82	6.00 ± 2.43	0.67 ± 0.30	0.37 ± 0.08	9.15 ± 1.69
17 m	IW	33.81 ± 0.03	11.73 ± 0.51	4.81 ± 0.13	22.38 ± 8.94	1.92 ± 0.43	1.09 ± 0.05	11.36 ± 2.11
	LW	30.79 ± 0.02	8.00 ± 0.44	4.86 ± 0.07	23.28 ± 2.25	2.12 ± 0.33	0.85 ± 0.07	11.07 ± 0.76
	DW	24.50 ± 0.07	9.43 ± 0.06	4.98 ± 0.30	7.48 ± 1.56	0.71 ± 0.21	0.47 ± 0.06	10.73 ± 1.74

注:IW 为莲湖乡岛屿湿地,DW 为南矶乡三角洲湿地,LW 为恒湖滨湖湿地.

表 3 土壤性质之间的相关性

	SW	ST	pH 值	SOC	TN	TP
ST	-0.318	1.000				
pH	-0.449**	0.842**	1.000			
SOC	0.679**	-0.343*	-0.325	1.000		
TN	0.711**	-0.290	-0.272	0.974**	1.000	
TP	0.652**	-0.243	-0.248	0.818**	0.863**	1.000
C/N	0.336*	-0.485**	-0.442**	0.628**	0.478**	0.421*

注:*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;SW 为土壤含水量;ST 为土壤温度;pH 值为土壤 pH 值;SOC 为土壤有机碳;TN 为土壤全氮;TP 为土壤全磷;C/N 为土壤碳氮比.

2.2 鄱阳湖洲滩湿地土壤节肢动物组成

研究期间共采集到土壤节肢动物 2 047 头,隶属 3 纲 5 目 3 亚目 15 科(见表 4). 鉴定出的鄱阳湖

洲滩湿地土壤节肢动物共 18 类. 其中大型土壤节肢动物 11 类,优势类群为露尾甲科(幼)、隐翅甲科(幼)、长角沼甲科(幼)、蠓科(幼)、摇蚊科(幼)和

长足虻科(幼)6类,占87.01%;中小型土壤节肢动物7类,优势类群为甲螨亚目、前气门亚目和棘跳科3类,占90.20%。土壤节肢动物的优势类群与常见类群如表4所示。

在研究区内土壤节肢动物营养功能群包括杂食性、腐食性、捕食性和植食性4种功能群。其中杂食性和腐食性的土壤节肢动物最多,各占总类群数的33.33%;其次是植食性和捕食性的土壤节肢动物,各占总类群数的16.67%。

表 4 鄱阳湖典型洲滩湿地的土壤节肢动物群落

名称	体型	生境类型			总计	所占百分比/%	优势度	功能群
		LH	HH	NJ				
蜱螨目 (Acarina)	中气门亚目(Mesotigmata)	中小型	98	40	42	180	9.14	* * S
	前气门亚目(Prostigmata)	中小型	309	167	98	574	29.14	* * * S
	甲螨亚目(Oribatida)	中小型	624	173	86	883	44.82	* * * S
蜘蛛目 (Araneae)	幽灵蛛科(Pholcidae)	大型	0	2	0	2	2.60	* * S
弹尾目 (Collembola)	棘跳科(Onychiuridae)	中小型	238	63	19	320	16.24	* * * O
	圆跳科(Sminthuridae)	中小型	2	0	0	2	0.10	O
	疣跳科(Neanuridae)	中小型	3	5	1	9	0.46	O
	等节跳科(Isotomidae)	中小型	2	0	0	2	0.10	O
鞘翅目 (Coleoptera)	步甲科(Carabidae)	大型	0	1	0	1	1.30	* * Pr
	隐翅甲科(Staphylinidae)	大型	0	3	1	4	5.19	* * S
	拟步甲科(Tenebrionidae)	大型	1	0	0	1	1.30	* * Ph
	露尾甲科(Nitidulidae)	大型	2	0	0	2	2.60	* * S
鞘翅目幼虫 (Coleoptera larvae)	长角沼甲科(Ptilodactylidae)	大型	4	2	3	9	11.69	* * * Ph
	隐翅甲科(Staphylinidae)	大型	4	2	10	16	20.78	* * * Ph
	露尾甲科(Nitidulidae)	大型	17	0	0	17	22.08	* * * S
双翅目幼虫 (Diptera larvae)	长足虻科(Dolichopodidae)	大型	1	5	2	8	10.39	* * * Pr
	蠓科(Ceratopogonidae)	大型	9	0	0	9	11.69	* * * O
	摇蚊科(Chironomidae)	大型	0	7	1	8	10.39	* * * O
总计	个体数(Individuals)	大型	38	22	17	77		
		中小型	1 276	448	246	1 970		
	类群数	大型	7	7	5	7		
		中小型	7	5	5	11		

注:***为优势类群,**为常见类群;O为杂食性,S为腐食性,Pr为捕食性,Ph为植食性。

分析结果(见图1)显示:南矶三角洲湿地的大型土壤节肢动物的Shannon-Wiener指数(H')和Pielou指数(J_s)最低,恒湖滨湖湿地的大型土壤节肢动物的Shannon-Wiener指数(H')和Pielou指数(J_s)最高。中小型土壤节肢动物的Shannon-Wiener指数(H')和Pielou指数(J_s)则是在莲湖岛屿湿地中最低,在南矶三角洲湿地中最高。

2.3 土壤节肢动物与土壤理化性质之间的关系

Pearson 相关系数分析显著性结果(见表5)显示:土壤节肢动物个体数与土壤含水量、土壤有机碳、全氮、全磷和碳氮比存在显著的正相关关系($P<0.05$);土壤节肢动物类群数和大型土壤节肢动物Shannon-Wiener指数均与土壤温度和pH值存在显著的正相关关系($P<0.05$);大型土壤节肢动

物 Pielou 指数与土壤温度、pH 值存在极显著的正相关关系($P < 0.01$),与碳氮比存在显著的负相关关系($P < 0.05$);中小型土壤节肢动物的 Shannon-Wiener 指数与土壤全磷含量存在显著的正相关关系($P < 0.05$).

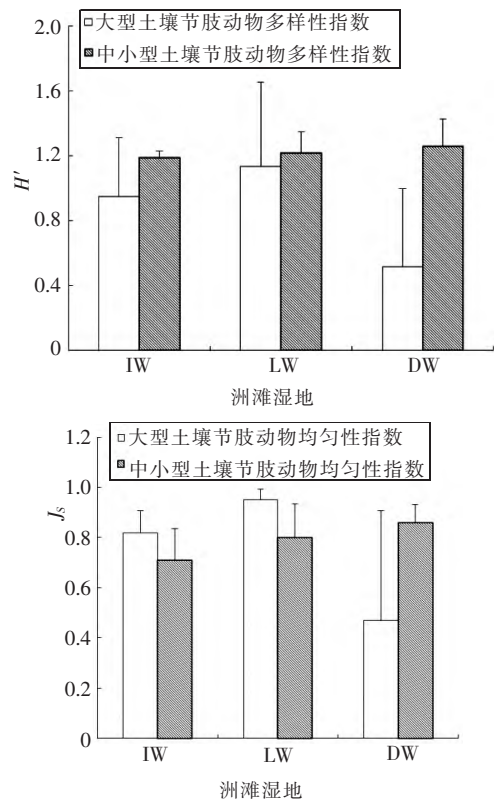


图1 鄱阳湖洲滩湿地土壤节肢动物群落多样性与均匀性

PCA 分析(见图2)结果表明:第1主轴和第2主轴分别解释了湿地土壤节肢动物群落总变量的64.56%和17.11%.整体而言,第1主轴主要反映的是不同水位间的湿地主要土壤节肢动物群落的区别($F = 14.668, P = 0.001$).

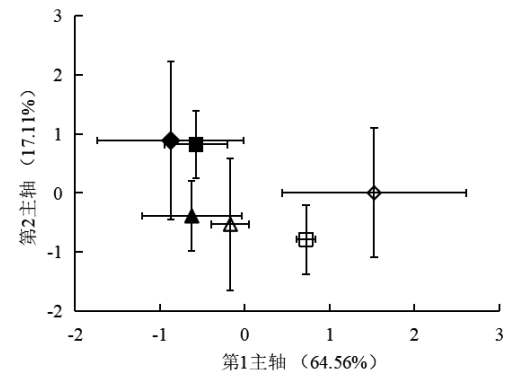
进一步采用 RDA 方法分析洲滩湿地土壤理化性质对土壤节肢动物主要群落的影响,分析结果表

表5 鄱阳湖湿地土壤节肢动物群落与土壤主要理化性质相关系数

	SW	ST	pH 值	SOC	TN	TP	C/N
土壤节肢动物个体数	0.532 *	-0.370	-0.375	0.634 **	0.529 *	0.497 *	0.515 *
土壤节肢动物类群数	0.057	0.665 **	0.558 *	0.069	0.164	0.238	-0.228
大型土壤节肢动物多样性指数	0.029	0.728 **	0.625 **	-0.047	0.051	0.086	-0.368
大型土壤节肢动物均匀性指数	-0.069	0.831 **	0.728 **	-0.149	-0.032	-0.027	-0.535 *
中小型土壤节肢动物多样性指数	0.330	0.066	-0.178	0.441	0.444	0.492 *	0.367
中小型土壤节肢动物均匀性指数	0.204	0.005	-0.303	0.162	0.110	0.177	0.392

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关.

明;第1主轴和第2主轴分别解释了湿地主要土壤节肢动物类群总变量的71.91%和20.58%(见图3).蒙特卡罗置换检验($P < 0.05$)显示:土壤7个主要理化性质与第1排序轴($F = 9.809, P = 0.0080$)和全部排序轴($F = 3.160, P = 0.0020$)均存在极显著的相关性($P < 0.01$),其中土壤有机碳($F = 9.42, P = 0.0020$)和土壤温度($F = 7.30, P = 0.0020$)对湿地土壤节肢动物主要类群的影响显著.土壤含水量、有机碳、全氮、全磷、碳氮比与第1排序轴存在显著的正相关关系(r 分别为0.6048、0.7367、0.6562、0.5725、0.6098, $P < 0.05$),土壤温度和pH值与第1排序轴存在显著的负相关关系($r = -0.6908$ 、 $-0.6038, P < 0.05$).其中土壤全氮、有机碳、全磷以及碳氮比与棘跳科呈较强的正相关性;土壤含水量与甲螨亚目呈较强的正相关性;土壤温度与pH值与前气门亚目呈较强的负相关性.



注:水位15 m: ◆IW 为莲湖乡岛屿湿地, ■LW 为恒湖滨湖湿地, ▲DW 为南矶乡三角洲湿地;水位17 m: ◇IW 为莲湖乡岛屿湿地, □LW 为恒湖滨湖湿地, △DW 为南矶乡三角洲湿地.

图2 主成分分析(PCA)结果

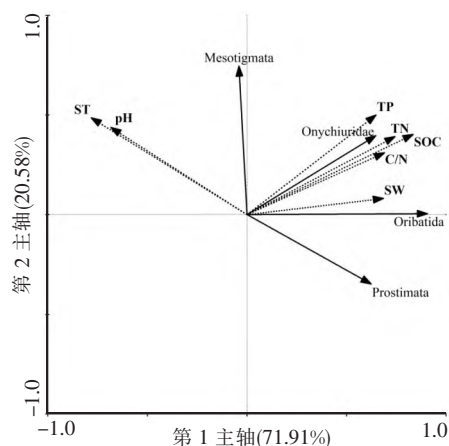


图3 冗余分析(RDA)结果

3 讨论

3.1 不同生境类型对土壤节肢动物群落特征的影响

植被群落生境的复杂性决定了土壤动物群落多样性的高低,复杂的植被群落对不同生态位土壤动物类群发展是有利的,因此群落多样性也较高。反之,简单的植被群落仅有利于少数动物种群的生长,由于在生境中缺少竞争,所以容易产生优势种群,使得整个群落的多样性单一^[25-26]。文献^[27]在浙江瓯江口湿地处研究在光滩生境、互花米草和红树林生境中的大型底栖动物年平均栖息密度和生物量,结果表明:红树林生境最高,互花米草生境次之,光滩生境最低。在大型底栖动物群落多样性中,红树林生境均高于互花米草生境和光滩生境^[27]。在黑龙江扎龙湿地的研究中,草原草甸生境土壤动物多样性最高,杂草甸生境的最低^[28]。其原因是:植物群落多样性可以增加初级生产力,不仅为土壤中的动物生存提供了充足的食物,而且通过改善土壤环境为它们提供适宜的栖息场所,由此形成对它们的控制^[29]。本文研究的3个不同区域主要优势植物为藎草、芦苇、南荻等草本植物群落,夏季洲滩被水淹没,冬季水落洲滩露出,植被群落结构相对单一,在生境中凋落物种类少,土壤动物受栖息环境条件制约,因此其丰富度与多样性较低。季节性的淹水影响了土壤的温度及有机碳含量等,这对土壤动物的分布带来一定的影响。生存于不同的植被群落中的土壤动物的响应指标也不同,如土壤动物密度高低可反映在草原上草本植物密度和在森林中植物的

总盖度等^[30]。

土壤动物群落结构在不同气候下的植被类型中存在较大差异。在热带雨林中土壤动物优势类群为蜚蠊目、弹尾目和鞘翅目等^[31],由于林内层次结构复杂,水热条件以及食物资源都非常好且充足,因此土壤动物群落的多样性与丰富度最高;在亚热带常绿阔叶林中,优势类群则为蜚蠊目、弹尾目等^[32],这与本文的研究结果一致,杂食性、腐食性的土壤动物个数最多,鄱阳湖夏季水草丰茂,水生生物种类较多,为土壤动物提供食物来源;在温带森林中,优势类群则为节跳虫和甲螨等,土壤动物多样性与丰富度较低,其主要原因是:林内地上凋落物少,分布也不均匀,栖息环境条件受到制约^[33]。

3.2 土壤环境因子对鄱阳湖湿地土壤节肢动物群落的影响

除了受植被类型的影响外,环境因子也会对土壤动物群落结构和多样性造成影响。研究土壤动物与环境因子之间的关系,对深刻了解土壤生态系统的运行机制、评价其功能具有重要意义^[34]。在土壤环境的各项因子中,土壤湿度、温度及养分等是土壤动物分布的主要限制因子^[23,35]。

土壤的含水率会直接影响土壤动物的组成与个体密度。有研究表明:在湿度较高的环境下,蜚蠊目和弹尾目的数量较多,因此随着土壤含水率的增加,在土壤中喜湿性动物的数量也随之增加^[36]。本文研究也得出类似结果,个体数与土壤含水率存在显著的正相关关系($P < 0.05$),莲湖岛屿湿地与恒湖滨湖湿地的土壤平均湿度分别为28.94%和31.59%,高于南矶三角洲湿地的土壤平均湿度(22.1%),弹尾目和蜚蠊目的数量均比南矶三角洲湿地土壤的更多。其原因可能是:较多的水分附着在土壤微粒间隙中,能为在土壤中的动物提供水源。在中国四川丘陵地带中的研究也得出这样的结论^[35]。但在中国西北方沙地地区、东北黑土区中的研究结果为土壤动物个体、类群数与土壤含水量之间呈显著负相关^[37-38],这与本文的研究结果不一致,这可能是由于南北地域气候差异较大而使土壤动物对干湿环境长期适应导致的。

土壤温度的高低直接影响到产酶微生物的种群及数量,从而影响土壤酶活性^[39]。有研究发现土

壤酶活性与土壤微生物数量、多样性、生物量及土壤动物数量等呈显著相关^[40]. 本研究区的土壤动物类群数和大型土壤节肢动物 Shannon-Wiener 指数均与土壤温度存在显著的正相关关系($P < 0.05$). 大型土壤节肢动物 Pielou 指数与土壤温度存在极显著的正相关关系($P < 0.01$), 这与中国南方地区、中温带和寒温带地区的土壤动物的生存情况一致^[41-43]. 温度的过高或过低都不利于土壤动物的繁殖, 其变化也会影响到在生境中植物的生理和群落结构, 导致微生境发生变化并进一步影响到土壤动物的取食过程.

土壤的理化性质是决定群落结构垂直分布的相对稳定性因素^[44], 植被凋落物及根系的腐化是土壤有机物的重要来源, 可为在土壤中的动物生存提供充足的营养物质^[45]. 在本研究区中的土壤节肢动物个体数与土壤有机碳、全氮、全磷和碳氮比存在显著的正相关关系($P < 0.05$), 中小型土壤节肢动物的 Shannon-Wiener 指数与土壤全磷含量存在显著的正相关关系($P < 0.05$), 其中土壤全氮、有机碳、全磷以及碳氮比与棘跳科呈较强的正相关关系, 在中国西北、东北、西南等地区中的研究均得出一致的结论^[46-48], 即高氮储量的凋落物可能有利于较高数量的弹尾目和鞘翅目^[49]. 土壤 pH 值也是土壤动物分布的重要限制因子, 在本研究中的土壤节肢动物类群数和大型土壤节肢动物 Shannon-Wiener 指数均与土壤 pH 值存在显著的正相关关系($P < 0.05$). 大型土壤节肢动物 Pielou 指数与土壤 pH 值存在极显著的正相关关系($P < 0.01$), 本文研究区的土壤呈弱酸性, 而微酸性和近中性的土壤是适宜大多数土壤节肢动物生存的; 在土壤 pH 值大于 7 时, 土壤节肢动物密度与 pH 值呈负相关关系. 除以上的环境因子外, 土壤动物群落结构等还受季节^[13]、坡度坡向^[50]等环境因子的影响.

4 结论

在鄱阳湖湿地的 3 个不同生境中的土壤含水量与有机碳、全氮、全磷含量和 pH 值关系密切, 在不同季节土壤中养分含量有一定的差异. 在本研究区中的大型土壤节肢动物类型较多, 占总类数的 61.11%, 鄱阳湖湿地适于大型土壤节肢动物的生

长. 按土壤节肢动物营养功能群划分, 杂食性和腐食性的土壤动物最多, 其次是植食性和捕食性, 这种分布主要受在生境中植被的影响; 在 3 个不同生境中的中大型土壤节肢动物、中小型土壤节肢动物的群落多样性与均匀指数有所差异, 这说明鄱阳湖湿地的土壤节肢动物个体数、类群数、多样性指数等受土壤环境含水率、温度、理化性质等因素的影响较大.

5 参考文献

- [1] 陆健健, 何文珊, 童春富, 等. 湿地生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 1-284.
- [2] WANG Yuyu, MOLINOS J G, SHI Linlu, et al. Drivers and changes of the Poyang lake wetland ecosystem [J]. Wetlands, 2019, 39(1): 35-44.
- [3] 王圣瑞. 鄱阳湖生态安全 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [4] 谢冬明, 周扬明, 钱海燕. 鄱阳湖湿地复合生态系统研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [5] 郭国锋, 崔丽娟, 纪伟涛. 基于时间序列 MODIS 影像的鄱阳湖丰水期悬浮泥沙浓度反演及变化 [J]. 湖泊科学, 2009, 21(2): 288-297.
- [6] FENG Lian, HU Chuanmin, CHEN Xiaoling, et al. Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010 [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 121: 80-92.
- [7] 水利部长江水利委员会. 鄱阳湖水情变化及水利枢纽有关影响研究报告 [R]. 武汉: 水利部长江水利委员会, 2013.
- [8] YE Xuchun, LI Yunliang, LI Xianghu, et al. Factors influencing water level changes in China's largest freshwater lake, Poyang Lake, in the past 50 years [J]. Water International, 2014, 39(7): 983-999.
- [9] 刘晓波, 韩祯, 王世岩, 等. 长江大保护视角下鄱阳湖湿地保护的研究思考 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(2): 201-209.
- [10] 刘长海, 王希群, 王文强, 等. 湿地土壤动物及其与湿地恢复的关系 [J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 705-709.
- [11] 张武, 张雪萍, 顾成林, 等. 大兴安岭不同冻土带湿地土壤动物群落与地温耦合关系 [J]. 生态环境学报, 2013, 22(2): 263-268.

- [12] 陈德来,陈凌云,史红全,等. 大夏河甘南段河流湿地土壤节肢动物群落特征及季节动态 [J]. 冰川冻土, 2014,36(2):442-450.
- [13] 武海涛,吕宪国,姜明,等. 三江平原典型湿地土壤动物群落结构及季节变化 [J]. 湿地科学,2008,6(4):459-465.
- [14] 王壮壮,贺凯,朱时应,等. 西藏年楚河流域湿地大型土壤动物群落特征 [J]. 干旱区资源与环境,2021,35(11):184-190.
- [15] CONNELL J H,SLATYER R O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization [J]. The American Naturalist,1977,111(982):1119-1144.
- [16] 邵明勤,蒋剑虹,戴年华,等. 鄱阳湖越冬灰鹤和白枕鹤的数量与集群特征 [J]. 生态与农村环境学报,2014,30(4):464-469.
- [17] 董磊,徐力刚,许加星,等. 鄱阳湖典型洲滩湿地土壤环境因子对植被分布影响研究 [J]. 土壤学报,2014,51(3):618-626.
- [18] 王晓龙,徐力刚,白丽,等. 鄱阳湖典型湿地植物群落土壤酶活性 [J]. 生态学杂志,2011,30(4):798-803.
- [19] 赵其国,黄国勤,钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展 [J]. 土壤学报,2007,44(2):318-326.
- [20] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴 [M]. 北京:科学出版社,1998.
- [21] 徐演鹏,卢萍,谭飞,等. 外源 C、N 干扰下吉林黑土区农田土壤动物组成与结构 [J]. 土壤学报,2013,50(4):800-809.
- [22] PANSU M,GAUTHEYROU J. Handbook of soil analysis: mineralogical,organic and inorganic methods [M]. Heidelberg:Springer,2006.
- [23] 卢萍,徐演鹏,谭飞,等. 黑土区农田土壤节肢动物群落与土壤理化性质的关系 [J]. 中国农业科学,2013,46(9):1848-1856.
- [24] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性,1994,2(3):162-168.
- [25] 王邵军,阮宏华,汪家社,等. 武夷山典型植被类型土壤动物群落的结构特征 [J]. 生态学报,2010,30(19):5174-5184.
- [26] 黄旭,文维全,张健,等. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性 [J]. 应用生态学报,2010,21(1):181-190.
- [27] 胡成业,水玉跃,田阔,等. 瓯江口树排沙湿地不同生境大型底栖动物群落多样性研究 [J]. 海洋与湖沼,2016,47(2):422-428.
- [28] 顾伟,马玲,丁新华,等. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性 [J]. 应用生态学报,2011,22(9):2405-2412.
- [29] COLE L,BUCKLAND S M,BARDGETT R D. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland [J]. Soil Biology and Biochemistry,2005,37(9):1707-1717.
- [30] 张雪萍,李春艳,殷秀琴,等. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系 [J]. 应用与环境生物学报,1999(1):26-31.
- [31] 杨效东,刘宏茂,沙丽清,等. 西双版纳2种热带雨林类型土壤节肢动物群落结构及分布特征 [J]. 林业科学研究,2002,15(3):343-348.
- [32] 颜绍馥,汪思龙,胡亚林,等. 亚热带天然次生常绿阔叶林与杉木人工林土壤动物群落特征比较 [J]. 应用生态学报,2004,15(10):1792-1796.
- [33] 柯欣,赵立军,尹文英. 青冈林土壤动物群落结构在落叶分解过程中的演替变化 [J]. 动物学研究,1999,20(3):207-213.
- [34] 张志丹,董炜华,魏健,等. 土壤动物学研究进展 [J]. 中国农学通报,2012,28(29):242-246.
- [35] 吴玉红,蔡青年,林超文,等. 四川紫色土丘陵区不同土地利用方式下大型土壤动物群落结构 [J]. 中国生态农业学报,2009,17(1):34-40.
- [36] 林英华,张夫道,杨学云,等. 农田土壤动物与土壤理化性质关系的研究 [J]. 中国农业科学,2004,37(6):871-877.
- [37] 林英华,朱平,张夫道,等. 吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响 [J]. 生态学报,2006,26(4):1122-1130.
- [38] 赵哈林,刘任涛,周瑞莲. 科尔沁沙地土地利用变化对大型土壤节肢动物群落影响 [J]. 土壤学报,2013,50(2):413-418.
- [39] 和文祥,朱铭莪,张一平. 土壤酶与重金属关系的研究现状 [J]. 土壤与环境,2000,9(2):139-142.
- [40] TAYLOR J P,WILSON B,MILLS M S,et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques [J]. Soil Biology and Biochemistry,2002,34(3):387-401.
- [41] 陈国孝,宋大祥. 暖温带北京小龙门林区土壤动物的研究 [J]. 生物多样性,2000,8(1):88-95.
- [42] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏,等. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落:群落的组成及其特征 [J]. 生态学报,2002,22(11):1866-1872.
- [43] 李伟,崔丽娟,赵欣胜,等. 太湖岸带湿地土壤动物群落

- 结构与多样性 [J]. 生态学报, 2015, 35(4): 944-955.
- [44] CONNELL J H, SLATYER R O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization [J]. The American Naturalist, 1977, 111(982): 1114-1119.
- [45] RUESS L, SCHUTZ K, MIGGE-KLEIAN S, et al. Lipid composition of collembola and their food resources in deciduous forest stands: Implications for feeding strategies [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(8): 1990-2000.
- [46] 黎道洪. 贵州波多洞和甲良洞内部分环境因子与动物群落结构的相关性 [J]. 生态学报, 2006, 27(6): 2167-2176.
- [47] 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 [J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 130-136.
- [48] 刘任涛, 赵哈林, 赵学勇. 科尔沁沙地不同造林类型对土壤动物多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 1104-1110.
- [49] 杨赵, 杨效东. 哀牢山不同类型亚热带森林地表凋落物及土壤节肢动物群落特征 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 3011-3020.
- [50] 殷秀琴, 宋博, 董炜华, 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.

The Effects of Environmental Factor on Soil Arthropod Community in Typical Wetland of Poyang Lake

LU Ping, DI Mingxiao, WENG Xiaodong, ZHOU Bo, LU Yuanhong

(Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang Jiangxi 330096, China)

Abstract: The relationship between the characteristic of soil arthropods community and soil properties in the Poyang Lake region wetland is studied to elucidate the effect of soil environment on soil arthropods community. Using hand-sorting, modified Tullgren and Baermann's methods, the soil arthropods are collected from three habitats of Poyang Lake wetland in the dry season, and the physic and chemistry character of the soil is also analyzed. A total of 2 047 individuals are collected, which belonged to three classes, five orders, three suborders and 15 families. The groups of soil macro-arthropod are collected more than soil meso-and micro-arthropod. Soil moisture, organic carbon, total nitrogen and total phosphorus content are significantly differences in different habitats ($P < 0.01$). Soil temperature, pH, C/N ratio and organic carbon content are significantly different under different water levels of Poyang Lake ($P < 0.05$). The soil arthropod individuals have a significant positive correlation with soil moisture, organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and C/N ratio. Groups have a significant positive correlation with soil temperature and pH. Shannon diversity index and Pielou index of soil macro-arthropod have significant positive correlation with soil temperature and pH, negative correlation with C/N ratio. Shannon diversity index of soil meso-and micro-arthropod has a positive correlation with soil total phosphorus content. Furthermore, the spatial distribution of soil arthropod community in the dry reason of Poyang Lake wetland is significantly affected by soil organic carbon and soil temperature.

Key words: community diversity; dominant group; functional group; Poyang Lake region

(责任编辑: 刘显亮)