



吴嫔,朱玉麟,赖乾,等.赣北稻田水体中浮游动物群落特征[J].江西农业大学学报,2022,44(2):393-402.

WU P,ZHU Y L,LAI Q,et al.Community characteristics of zooplankton in paddy fields of northern Jiangxi[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2022,44(2):393-402.

赣北稻田水体中浮游动物群落特征

吴 嫔¹,朱玉麟¹,赖 乾¹,江 婷¹,吴 松¹,熊忠华^{1*},肖海军^{1,2*}

(1.江西农业大学 昆虫研究所,江西 南昌 330045;2.北京林业大学 草业与草原学院,北京,100083)

摘要:【目的】浮游动物是稻田水体生态系统的重要组成部分,对于稻田水体生态环境监测和农田食物网结构功能分析有重要的参考指示价值。通过分析赣北稻田水体中浮游动物的群落特征,为评估水稻栽培管理措施中农药施用对浮游动物群落的影响提供理论依据。【方法】选择江西省3市6县区的9个样点,对稻田农药区和无农药区的水体浮游动物多样性和群落特征进行了调查分析。【结果】江西赣北地区稻田水体浮游动物共有53属107种,主要类群为轮虫有43属90种,占种类总数的84.1%;9处采样点主要优势种有桡足类无节幼体、广布中剑水蚤、囊形单趾轮虫、十指平甲轮虫和纵长晓柱轮虫,不同采样点优势种构成变化明显。综合比较各样地农药区与非农药区显示,非农药区的浮游动物物种数和个体丰富度总体高于农药区,多数采样点非农药区的浮游动物物种多样性(H)和物种丰富度(ds)相对高于农药区。【结论】稻田水体浮游动物群落以轮虫为主,其次是桡足类,枝角类最少。农药施用对稻田水体中浮游动物群落有明显影响。研究结果对评估区域稻田水体生态系统浮游动物结构和稻田水肥农药管理措施具有理论和实践意义。

关键词:稻田水体;浮游动物;农药;多样性;丰富度

中图分类号:S181;S154.5 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2022)02-0393-10

Community Characteristics of Zooplankton in Paddy Fields of Northern Jiangxi

WU Pin¹,ZHU Yulin¹,LAI Qian¹,JIANG Ting¹,WU Song¹,
XIONG Zhonghua^{1*},XIAO Haijun^{1,2*}

(1.Institute of Entomology,Jiangxi Agricultural University,Nanchang 330045,China;2.School of Grassland Science,Beijing Forestry University,Beijing 100083,China)

Abstract: [Objective] Zooplankton is an important components in the paddy-field water ecosystem, and it has an important value of monitoring the ecological environment and analyzing the structure and function of the farmland food web in paddy fields. By analyzing the community characteristics of zooplankton in paddy fields of northern Jiangxi, this study provides a theoretical basis for evaluating the impact of pesticide on zooplankton communities in rice cultivation and management measures. [Methods] 9 sampling sites consisting of both pesticide and non-pesticide areas in 3 cities and 6 counties were selected to investigate the zooplankton di-

收稿日期:2021-09-20 修回日期:2021-12-23

基金项目:国家自然科学基金项目(32072488)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(32072488)

作者简介:吴嫔,orcid.org/0000-0002-5632-7868,2604431326@qq.com;*通信作者:熊忠华,博士,主要从事植物化学保护研究,orcid.org/0000-0003-2133-5216,xzhchh@163.com;肖海军,教授,博士,主要从事昆虫生态学与景观生态服务功能研究,orcid.org/0000-0002-0832-0493,hjxiao@jxau.edu.cn;hjxiao@bjfu.edu.cn。

versity and community characteristics. [Result] There were 53 genera, 107 species of zooplankton in the paddy fields of northern Jiangxi. The main group were rotifers, with 43 genera and 90 species, accounting for 84.1% of the total sampling species. The dominant species of 9 sampling plots were *Nauplius*, *Mesocyclops leuckara*, *Monostyla bulla*, *Platytas militaris* and *Eothinia clongata*, the composition of dominant species changed significantly in different sampling plots. A comprehensive comparison between the pesticide and non-pesticide area in each plot showed that the number of zooplankton species and the individual richness in non-pesticide area were generally higher than that in pesticide areas. In most of the sampling plots, zooplankton species diversity and the species richness in non-pesticide areas were relatively higher than that in pesticide areas [Conclusion] The community structure of zooplankton in paddy water was dominated by rotifers, followed by copepods and cladocerans. Pesticide had obvious impacts on zooplankton community in paddy water. The results had both theoretical and practical significance for evaluating the zooplankton composition of the regional rice field water ecosystem and the management measures of fertilizer, water, and pesticides in the rice field.

Keywords: rice paddy water; zooplankton; pesticide; diversity; individual richness

【研究意义】稻田是陆地上受人类活动影响最大的间歇性人工湿地,生物种类十分丰富,其中浮游动物起着重要的作用。浮游动物是一类在水中营浮游生活的动物类群,是本身不能制造有机物的异养型无脊椎动物和脊索动物幼体的总称^[1]。浮游动物在水生生物食物链中发挥着巨大的作用,它们不仅是稻田水生生态系统食物链中的初级消费者,也是稻田水体中其他水生动物的食物饵料,有些种类可作为水产资源直接利用^[2]。稻田水体中的浮游动物可以直接或者间接影响到其他食物网环节上更高级别水生生物、节肢动物的种类结构和丰富度,也可通过食物网关系影响水稻害虫种群动态^[3]。【前人研究进展】水稻高产栽培管理措施中,化肥和农药的施用是保障稻田病虫害防控效果和水稻产量的重要手段。水稻高产栽培管理中化肥和农药的投入与使用量情况,可以直接诱导稻田水体中浮游动物多样性和群落结构产生相应的适应性变化。世界范围内不同区域,如欧洲意大利^[4-5]、东南亚泰国^[6],我国长江中下游稻区湖南^[7]、华北廊坊^[8]、东北辽宁盘锦^[9]都分析了当地稻田浮游动物群落结构。国内对化肥和农药使用、转基因水稻品种和稻虾共作等水稻栽培管理因素对水生浮游动物的影响进行了分析^[7-9]。莫书银等^[7]、陈怡等^[8]探究了转 *Cry1Ab/Ac* 和转 *Cry1C/Cry2A* 基因水稻品种对浮游动物群落多样性的影响,明确水稻不同生长时期里稻田中浮游动物种类变化不明显,转基因水稻对浮游动物种群结构、丰富度、群落物种多样性与非转基因水稻相比均无显著性差异。张庆阳^[9]等对稻虾共作系统的浮游动物多样性进行了探究。然而,稻田区域差异和稻田农药施用对浮游动物的影响缺乏系统研究。

【本研究切入点】在本试验研究中,笔者通过采用田间调查、实验室鉴定和多样性分析方法,对赣北稻田水生生态系统中浮游动物的种类组成、优势种、丰富度以及多样性进行系统调查分析,明确所调查的稻田水生生态系统中浮游动物种类和种群丰富度、多样性特性及其对稻田农药施用的响应。【拟解决的关键问题】研究结果对于监测和评估区域稻田水体的营养富集状况、稻田水生生态系统的健康水平以及采取一些相应的稻田水肥和农药管理措施具有重要的理论和实践意义。

1 材料和方法

1.1 样点设置

本实验在江西省赣北宜春、南昌和九江3市6县中选取了9个试验样点(表1),每个样点根据田块大小均匀分成无药区(Un-spray area:UA)和施药区(Spray area:SA)2个小区。每个小区设置3个重复,每个重复在采样前提前挖好水坑方便采样,水坑大小约为30 cm×30 cm×20 cm,在每个采样坑设置一根白色PVC管作为采样标志,于2020年8月下旬水稻扬花期对9个稻田采样点的农药施用区和无农药区采集浮游动物水样并鉴定分析。

表 1 赣北 3 地市各浮游动物采样点信息
Tab.1 The distribution of sampling sites in Northern Jiangxi

采样编号 Sample number	县区 County	采样地点 Sampling site	位置(经纬度) Location(longitude and latitude)	
S1-LSC	宜春丰城	老上村	N28°21'33"	E115°33'32"
S2-LPQ	宜春高安	龙坡桥	N28°28'60"	E115°27'18"
S3-MJ	宜春奉新	闵家	N28°48'50"	E115°24'51"
S4-SL	宜春靖安	上林	N28°53'09"	E115°20'31"
S5-SSC	宜春靖安	石上村	N28°54'18"	E115°24'04"
S6-ZL	宜春靖安	中仑	N28°55'37"	E115°16'28"
S7-XS	南昌安义	下杉	N28°51'29"	E115°44'11"
S8-LFC	南昌安义	流芳村	N28°55'33"	E115°38'07"
S9-XFC	九江永修	先峰村	N28°54'51"	E115°47'14"

1.2 采样方法

在试验样点的无药区与施药区用采样瓶在各个重复中取 2 L 水并用 25 号浮游生物网(64 μm)过滤,将过滤后的样品收集在 50 mL 透明塑料样品瓶中,现场使用 4% 福尔马林溶液固定保存样品。

实验室内使用虎红钠盐将浮游动物样品染色,在显微镜下进行种类鉴定,将浮游动物鉴定到物种水平。其中桡足类的无节幼体数量较多,无法鉴定到种,在进行数据统计分析时,合并统计为无节幼体。种类分类鉴定参照《中国淡水轮虫志》、《中国动物志.淡水枝角类》和《中国动物志.淡水桡足类》^[10-12]。

1.3 数据处理

使用 Excel 2010 统计数据,计算 Margalef 丰富度指数、Shanno—Weiner 多样性指数、Pielou 均匀性指数;使用 SPSS 25 统计软件对实验数据进行差异显著性检验;使用 Graphpad Prism 9 软件进行数据绘图。Margalef 丰富度指数、Shanno—Weiner 多样性指数及 Pielou 均匀性指数的计算公式如下^[13-15]。Margalef 丰富度指数:

$$ds=(s-1)/\ln N$$
(1)

式(1)中: s 为物种的数目, N 为所有物种的个体数之和。

Shanno Weiner 多样性指数:
$$H=-\sum P_i \ln P_i$$
(2)

式(2)中: P_i 为第 i 个种在全体物种中的重要性比例,如以个体数量而言, n_i 为第 i 个种的个体数量, N 为总个体数量,则有 $P_i=n_i/N$ 。

Pielou 均匀性指数:
$$J'=H/\ln S$$
(3)

式(3)中: S 为物种总数, H 为 Shanno—Weiner 多样性指数。优势度指数:

$$Y=(n_i/N)\times f$$
(4)

式(4)中: n_i 为第 i 种浮游动物的个体数; f_i 为第 i 种浮游动物在各站点出现的频率,当某一种浮游动物 $Y\geq 0.02$ 时,则为优势种。

2 结果与分析

2.1 赣北稻田水体浮游动物的群落结构

江西赣北稻区的南昌、宜春和九江 3 市 6 个县区 9 个稻田采样点的浮游动物进行了采集鉴定。结果表明:赣北稻田水体浮游动物种类组成以轮虫、枝角类和桡足类为主(表 2)。9 个样点浮游动物物种数组成分析显示:共采集到浮游动物 53 属 107 种;其中轮虫 43 属 90 种,枝角类 6 属 8 种,桡足类 4 属 9 种(表 2)。轮虫、枝角类和桡足类分别占总物种数的 84.1%,7.5%,8.4%。

根据各采样点浮游动物种类组成及丰富度情况,发现优势种轮虫主要为囊形单趾轮虫(*Monostyla bulla*)、月形腔轮虫(*Lecane luna*)、圆盖柱头轮虫(*Eosphora thoa*)、十指平甲轮虫(*Platytias militaris*)、纵长晓柱轮虫(*Eothinia clongata*)、四齿单趾轮虫(*Monostyla quadridentata*);枝角类常见种为短尾秀体溞(*Diaphanosoma brachyurum*)和多刺粗毛溞(*Macrothrix spinosa* King)。桡足类常见种为广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckara*)、中型小剑水蚤(*Microcyclops intermedius*)(表 2)。不同采样点物种数多在 25~53 种,而 S8-LFC 轮虫种类明显增加(图 1.A)。9 个采样点浮游动物密度变化范围为 305~7 050 ind./L,平均值为 2 672.3 ind./L,其中最低值出现在 S6-ZL,最高值出现在 S8-LFC(图 1-B)。9 个采样点三大类群浮游动物密度百分比分析表明,S1-LSC、S4-SL、S6-ZL 和 S8-LFC 中轮虫密度大于其他两类浮游动物,S2-LPQ、S3-MJ、S5-SSC、S7-XS 和 S9-XFC 中桡足类的密度最大(图 1-C)。

表 2 赣北稻田水体浮游动物种类组成与数量分布

Tab.1 Composition and distribution of zooplankton species in Northern Jiangxi

种类 Speices	浮游动物数量分级 Abundance of zooplankton								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
轮虫 Rotifera									
狭头宿轮虫 <i>Habrotrocha angusticollis</i>	++	++	++	+++	++	++	++	+++	+
懒轮虫 <i>Rotaria tardigrada</i>	++	+	++	++	+	+	++	+++	++
长足轮虫 <i>Rotaria neptunia</i>	+			+	+		++	+	+
巨猎轮虫 <i>Rotaria macroceros</i>								+	
转轮虫 <i>Rotaria rotatoria</i>								+	
巨环旋轮虫 <i>Philodina megalotrocha</i>		+			+			+	
红眼旋轮虫 <i>Philodina erythrophihalma</i>	+				+		+	+	
尖刺间盘轮虫 <i>Dissotrocha aculeata</i>								+	
钳形猪吻轮虫 <i>Dicranophorus forcipaius</i>	+		+	++	+	+	++	++	+
盘状鞍甲轮虫 <i>Lepadella patella</i>	+		+	+	+		+	++	
钝角狭甲轮虫 <i>Colurella obtusa</i>	+			+			+	++	
勾状狭甲轮虫 <i>Colurella uncinata</i>								+	
台杯鬼轮虫 <i>Trichotria pocillum</i>								+	
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	+	+	+	++		+	++	++	++
花簏臂尾轮虫 <i>Brachionus capsuliflorus</i>				++		+	++	++	+
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>		+	+					++	+
矩形臂尾轮虫 <i>Brachionus leydigi</i>								+	
蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>	++	+			+	+		+	+
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>								+	+
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>						+	+		+
镰状臂尾轮虫 <i>Brachionus falcatus</i>		+					+	+	+
裂足臂尾轮虫 <i>Schizocerca diversicornis</i>	++	+		+		+	+	+	+
真躄轮虫 <i>Eudactylota eudactylota</i>			+				+	+	
十指平甲轮虫 <i>Platytias militaris</i>	++	++	++	+++	+++	++	++	++++	++
四角平甲轮虫 <i>Platytias quadricornis</i>	+	+	+	++	+	++	++	++	+
腹棘管轮虫 <i>Mytilina ventralis</i>	+	+	+	+	++	+	++	++	
侧扁棘管轮虫 <i>Mytilina compressa</i>	+			+	+			+	
台式合甲轮虫 <i>Diplois daviesiae</i>					+	+		+	
豁背迭须足轮虫 <i>Dipleuchlanis propatula</i>	++	+		+	+		+	++	
透明须足轮虫 <i>Euchlanis pellucida</i>	++	+	++	+	++	+	+	++	+
小须足轮虫 <i>Euchlanis parva</i>	+			+	+	+		++	
大肚须足轮虫 <i>Euchlanus dilatata</i>								+	
梨状须足轮虫 <i>Euchlanus piriformus</i>	+						+		

续表 Continued tab.

种类 Speices	浮游动物数量分级 Abundance of zooplankton								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
竖琴须足轮虫 <i>Euchlanus lyra</i>								+	
前额犀轮虫 <i>Rhinoglena frontalis</i>								+	
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	+						+	+	+
矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i>								+	
管形弯弓轮虫 <i>Cyrtonia tuba</i>	++							+++	
棒状水轮虫 <i>Epiphanes clavulatus</i>	+	+		+			+++	+++	+
锥尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i>								++	
臂尾水轮虫 <i>Epiphanes brachionus</i>			+					++	++
月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i>	++	++	++	+++	++	++	+++	+++	++
蹄形腔轮虫 <i>Lecane ungulata</i>	+	+	+	++	++	++	++	+++	
长圆腔轮虫 <i>Lecane ploenensis</i>			+					+++	
囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>	+++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++	+
四齿单趾轮虫 <i>Monostyla quadridentata</i>	++	+	++	++	+++	+	++	+++	+
钝齿单趾轮虫 <i>Monostyla crenata</i>	+					+		++	
索纹单趾轮虫 <i>Monostyla thethis</i>								+	
月形单趾轮虫 <i>Monostyla lunaris</i>		+	+	+		+		+	
尖爪单趾轮虫 <i>Monostyla cornuta</i>	+	+			+		+	++	
梨形单趾轮虫 <i>Monostylapyriformis</i>								+	
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	++		+		+	+	+	+++	+
壮僵前翼轮虫 <i>Proales reinhardti</i>	++	+	++	++	+	++	++	+++	++
蚤上前翼轮虫 <i>Proales daphnicola</i>				+				+	
巨长肢轮虫 <i>Monommata grandis</i>			++	+	++		+	++	
迈由盲囊轮虫 <i>Itura myersi</i>	+	+	++	++	+	++	+	++	
粘岩侧盘轮虫 <i>Pleurotrocha petromyzon</i>	++	+	++	++	++	++	++	+++	++
圆盖柱头轮虫 <i>Eosphora thoa</i>	++	+	++	+++	++	++	++	++	+
眼镜柱头轮虫 <i>Eosphora najas</i>								+	
纵长晓柱轮虫 <i>Eothinia clongata</i>	+++	++	++	+++	++	++	+++	++	+
凸背巨头轮虫 <i>Cephalodella gibba</i>			+		+			++	
小巨头轮虫 <i>Cephalodella exigna</i>				+	+			+	
截头巨头轮虫 <i>Cephalodella incila</i>		+	+				+	++	
高跷轮虫 <i>Scaridium longicaudum</i>			+	++	+			+	+
水生枝胃轮虫 <i>Enteroplea lacustris</i>			+					+	
象形拟哈林轮虫 <i>Pseudoharringia semilis</i>	+	+	+		+		+	+	
腹足腹尾轮虫 <i>Gastropus hytopus</i>			+	+			+	+++	
卵形彩胃轮虫 <i>Chromogaster ovalis</i>								+	
舞跃无柄轮虫 <i>Ascomorpha saltans</i>	++	+	+	++	+	++	++	++	++
没尾无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i>	+				+	+	+	++	
冠饰异尾轮虫 <i>Trichocerca lophiessa</i>			+	+			+	++	+
细异尾轮虫 <i>Trichocerca gracilis</i>	++		+	+	+		+	++	+
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>								+	
双尖异尾轮虫 <i>Trichocerca bicuspes</i>								++	
二突异尾轮虫 <i>Trichocerca bicristata</i>	+							+	
圆筒异尾轮虫 <i>Trichocerca cylindrica</i>	+					+			+
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i>								+	
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	++	+					+	+	++

续表 Continued tab.

种类 Speices	浮游动物数量分级 Abundance of zooplankton								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
盘镜轮虫 <i>Testudinella patina</i>	+	+	++	++	++	+	++	++	
微凸镜轮虫 <i>Testudinella mucronata</i>								+	
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>									+
迈氏三肢轮虫 <i>Filinia maior</i>									+
簇团胶轮虫 <i>Lacinularia flosculosa</i>	+			+				+++	
胸刺聚冠轮虫 <i>Sinatherina spinosa</i>								++	
长柄聚冠轮虫 <i>Sinatherina procera</i>				+				+	
牛圆聚冠轮虫 <i>Sinatherina semibullata</i>								+	
独角聚花轮虫 <i>Conochilus unicornis</i>									
团状聚花轮虫 <i>Conochilus hippocrepis</i>	+							++	
瓣状胶鞘轮虫 <i>Collotheca ornata</i>	+			++		+		++	++
嗜食箱轮虫 <i>Cupelopagis vorax</i>									
桡足类 <i>Copepoda</i>									
无节幼体 <i>Nauplius</i>	+	+++	++++	++	++++	++	+++	++	++++
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckara</i>	++	+++	+++	+++	+++	++	+++	++	++++
中型小剑水蚤 <i>Microcyclops intermedius</i>	++	++	++	++	++		+	+++	++
跨立小剑水蚤 <i>Microcyclops varicans</i>	++	+	+	+	++	+		++	+
长尾小剑水蚤 <i>Microcyclops longiramus</i>	+							+	
长节小剑水蚤 <i>Microcyclops longiarticulatus</i>		+							
毛饰拟剑水蚤 <i>Paracyclops fimbriatus</i>		+				+		+	
锯齿真剑水蚤 <i>Eucyclops macruiroides denticulatus</i>		+						+	
穴居真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus nagasaki</i>								+	+
枝角类 <i>Cladocera</i>									
短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	++++	++	+++		+				
多刺粗毛溞 <i>Macrothrix spinosa</i> King		+	++	+	+	+	+	+++	
兴凯秀体溞 <i>Diaphanosoma Chankensis uono</i>	++			++					
奇异尖额溞 <i>Alona eximia</i> Kiser				+			++	++	
短腹平直溞 <i>Pleuroxus aduncus</i>						+	+	+	
光滑平直溞 <i>Pleuroxus laevis</i> Sars								+	
卵形盘肠溞 <i>Chydorus ovalis</i> Kurz								+	
圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i>								+	

空白表示个体数为0, +表示个体数为1~10, ++表示个体数为11~100, +++表示个体数为101~1 000, ++++表示个体数>1 000.
Blank means the number of zooplankton is 0, + means the number of zooplankton is 1-10, ++ means the number of zooplankton is 11-100, +++ means the number of individuals is 101-1 000, ++++ means the number of zooplankton >1 000.

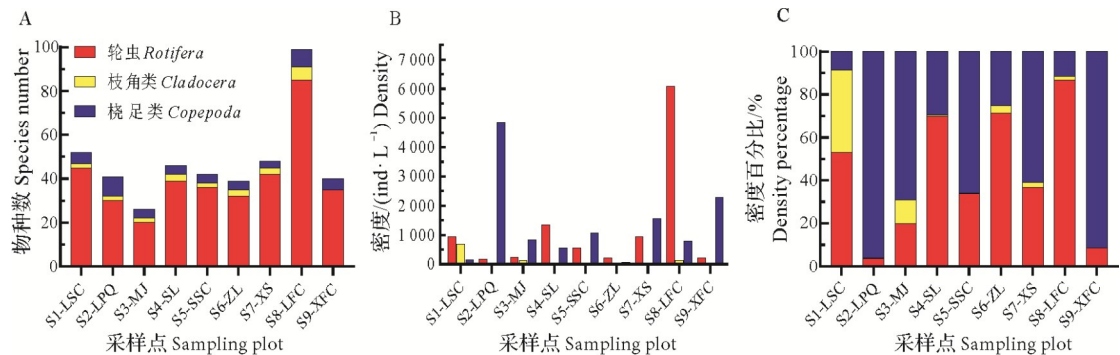


图1 赣北稻田水体浮游动物物种数(A)、密度(B)和密度百分比构成(C)的空间分布
Fig.1 The spatial distribution of zooplankton species(A)、density(B)and its density percentage(C)in Northern of Jiangxi

进一步根据不同样点浮游动物的丰富度,筛选出优势种 7 种,分别分析了 4 种轮虫,2 种桡足类和 1 种枝角类的优势度指数(表 3)。统计分析表明:各采样点出现的优势种构成差异较大,所有样点均出现的优势类群为桡足类无节幼体,优势度指数为 0.056~0.896。广布中剑水蚤在 6 个样点出现且较丰富,优势度指数为 0.042~0.177。枝角类的短尾秀体蚤仅在 S1-LSC 和 S3-MJ 样地较丰富,优势度指数为 0.082 和 0.023。4 种相对丰富的轮虫,除了在 S2-LPQ 和 S9-XFC 未出现外,其他 7 个样点的优势度指数为 0.023~0.171。

表 3 赣北稻田水体浮游动物优势种及优势度
Tab.3 Dominant species of zooplankton and their dominance index in Northern of Jiangxi

种类 Speices	采样编号 Sample number								
	S1-LSC	S2-LPQ	S3-MJ	S4-SL	S5-SSC	S6-ZL	S7-XS	S8-LFC	S9-XFC
无节幼体 <i>Nauplius</i>	0.056	0.896	0.504	0.243	0.514	0.120	0.398	0.066	0.630
广布中剑水蚤 <i>M. leuckara</i>		0.042	0.117		0.088	0.079	0.141		0.177
短尾秀体蚤 <i>D. brachyurum</i>	0.082		0.023						
囊形单趾轮虫 <i>M. bulla</i>	0.171			0.114	0.060	0.092		0.059	
月形腔轮虫 <i>L. luna</i>	0.030			0.061					
十指平甲轮虫 <i>P. military</i>				0.048	0.034	0.050	0.057	0.090	
纵长晓柱轮虫 <i>E. clongata</i>			0.023	0.052		0.069	0.027	0.040	

2.2 稻田水体无药区和施药区浮游动物的群落特征比较

2.2.1 无药区和施药区浮游动物的物种数和平均密度比较 无药区和施药区浮游动物种类多样性分析表明,7 个采样点的无药区比施药区的浮游动物物种数多但是无显著差异,S8-LFC 的无药区物种数显著大于施药区($P<0.05$)。无药区浮游动物平均物种数为 42 种,S2-LPQ 最少,为 30 种,S8-LFC 最多,为 92 种。施药区浮游动物平均物种数为 35 种,S2-LPQ 最少,为 21 种,S8-LFC 最多,为 70 种(图 2-A)。

稻田水体浮游动物种群密度分析表明:6 个采样点的无药区浮游动物平均密度大于施药区,且 S8-LFC 差异显著($P<0.05$)。S1-LSC、S7-XS 和 S3-MJ 施药区浮游动物平均密度略大于无药区,但差异不显著。无药区浮游动物各样点平均密度范围在 96~1 997 ind./L,最低为 96.5 ind./L,出现在 S3-MJ,最高为 1 996 ind./L,出现在 S8-LFC。施药区浮游动物各样点平均密度范围 35~1 279 ind./L,最低出现在 S6-ZL,为 36.2 ind./L 最高出现在 S2-LPQ,为 1 278 ind./L(图 2-B)。

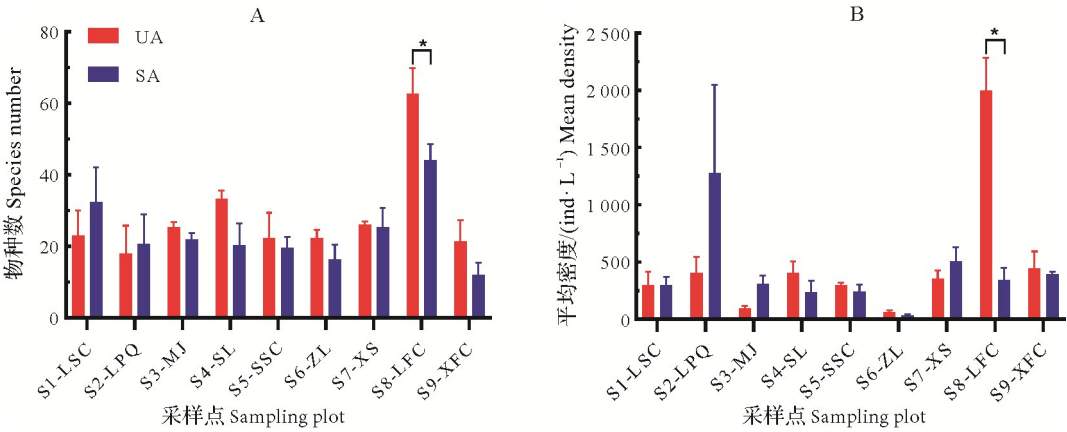


图 2 无药区和施药区浮游动物物种数(A)和平均密度(B)对比

Fig.2 Comparison of zooplankton species(A)and mean density in un-spray and spray area

2.2.2 无药区和施药区浮游动物的多样性特征比较 赣北稻田水体无药区和施药区浮游动物群落特征比较分析发现,整体上无药区的丰富度指数高于施药区,多样性指数和均匀性指数较为相似。无药区的丰富度指数为 3.716 5~9.690 5;施药区的丰富度指数为 2.235 9~9.029 0。无药区的 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.621 6~3.167 5,施药区的 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.435 9~8.546 3。无药区的均匀性指数为 0.182 5~0.813 3;施药区的均匀性指数为 0.143 2~2.807 1。

表4 赣北稻田水体无药区和施药区浮游动物群落特征比较
Tab.4 Comparison of zooplankton community characteristics between
un-spray and spray area in Northern of Jiangxi

采样编号 Sample number	丰富度指数(ds)		多样性指数(H)		均匀性指数(E)	
	无药区 UA	施药区 SA	无药区 UA	施药区 SA	无药区 UA	施药区 SA
S1-LSC	4.8093	6.1480	1.2549	2.533	0.3475	0.6579
S2-LPQ	3.7165	2.2359	0.6206	0.4359	0.1825	0.1432
S3-MJ	5.5000	3.7153	2.4096	1.5427	0.6700	0.4581
S4-SL	5.6433	3.8516	2.5316	2.401	0.6650	0.7130
S5-SSC	4.5401	3.9824	1.9327	1.6456	0.5436	0.4838
S6-ZL	5.1784	4.4611	2.8188	2.5994	0.8133	0.8075
S7-XS	4.9580	4.3636	2.2638	1.8403	0.6179	0.5135
S8-LFC	9.6905	9.0290	3.1675	2.9909	0.7005	0.7040
S9-XFC	4.0547	3.2193	1.2978	0.9820	0.3712	0.3014

3 讨论与结论

3.1 浮游动物对稻田水生生态系统的生态作用

浮游动物对于水生态环境质量具有指示作用,环境的影响所引起的季节变化和长期变化迫使浮游动物产生不同程度的响应。一方面,浮游动物与水体质量关系密切,其中不少种类对水环境变化比较敏感;另一方面,浮游动物特殊的随波逐流的生活方式适应于相应的水文因子。浮游动物可以影响水体的水质,它们可以通过自身的分泌和排泄,在稻田水体的有机物质的分解和循环中起到重要作用^[16]。浮游动物对于许多物质,特别是外来污染物质的敏感性及其积累、转移作用,也使它们在研究物质对生态系统的生态毒理影响以及生态系统的演替、稳定性等方面具有重要的地位^[17]。浮游动物在物质循环中有着承上启下的作用,能通过排泄和分泌作用在有机物质的分解和循环方面起着很大的作用,是对能量、物质循环有调控作用的关键功能群。轮虫受外界环境影响很大,即使是微小变化它们也能察觉到,因此轮虫在稻田水生生态系统中是一种作为水环境检测和生态毒理研究的指示生物^[18]。通过探究水体中轮虫的种类和密度能够知道一个水体的污染程度,能为农业生产提供现实依据。稻田水体中的枝角类和桡足类都是淡水种且种类很少,因此生活在这类水体中的枝角和桡足都是属于生态耐性大并且生殖力强的种类,它们的丰富度和多样性能反应出稻田水生态环境的环境特点^[19]。

3.2 稻田水生生态系统中浮游动物种类

本实验分析结果表明:赣北稻田水体浮游动物种类较为丰富,研究期间共鉴定出浮游动物53属107种,多于汪金平等^[20]对稻鸭共生水体研究中共鉴定的20属。9个稻田水体采样点浮游动物群落结构以轮虫种类数最多,其次是桡足类,枝角类最少,这与曾宪磊等^[21]的调查结果基本一致。不同稻田水体浮游动物种类数的差异可能跟研究水域及空间跨度有关。浮游动物广泛分布于各种各样的淡水水域中,水坑、水塘等间歇性水体因生态因子的不断变化,仅适合于一些生态耐性大、生殖力强的种类^[22]。本研究中的9个稻田水体中,除S8-LFC外,其他8个采样点的平均物种数为43种,S8-LFC这一个样点的物种数为99种,可能的原因有S8-LFC这个稻田的浮游动物随着灌溉水进入到这个稻田中的物种比较多,也有可能该处稻田拥有适合浮游动物生长更加丰富的食物资源以及生态环境。

3.3 农药施用对稻田水体浮游动物的影响

水稻生产过程中病虫害严重,农药使用品种多,频次高,稻田灌溉排水频繁^[23],栖息在稻田水体的浮游动物暴露在稻田水不断污染的变化中,调查稻田水体中的浮游动物可以判断该水体的污染程度。从无药区和施药区的对比中可以发现,施药区的物种数、多样性指数、丰富度指数和均匀性指数总体上都比无农药区更低,该结论与蔡道基等^[24]大部分的除草剂和杀虫剂对浮游动物具有明显的毒性作用的结果一致。从图2-A中可以看出,9个采样点中有8个采样点无药区的物种数多于施药区,且S8-LFC的

无药区的物种数显著大于施药区。物种数对比结果显示,样点 S1-LSC 的施药区的物种数略大于无药区,出现该结果可能与浮游动物间的食物网关系有关,研究表明,在同一个水体中枝角类和轮虫属于竞争关系^[25-26],枝角类的繁殖占据了轮虫的生态位,使得轮虫在该采样点的无药区物种数比较少,在该样地施药区检出 1 318 只枝角,而无药区只检出 58 只枝角,所以 S1-LSC 的施药区轮虫物种数会多于无药区。

从图 2-B 中可以看出,9 个样地中有 6 个样地无药区的平均密度大于施药区,且 S8-LFC 差异显著。S7-XS 和 S3-MJ 的施药区的平均密度略大于无药区,这可能是农药喷洒过后浮游动物大的个体桡足类具备了一定的抗药性,在用药后仍可大量存活和繁殖,导致无节幼体快速增长,导致桡足类总体数量增加。有研究指出,在同一个水体中剑水蚤和轮虫属于捕食与被捕食关系^[27-28],桡足类数量庞大,捕食了大量的轮虫,导致水体中轮虫种类和数量相对减少。

本研究明确了赣北稻田水生生态系统中浮游动物的种类组成多样性、优势种、丰富度,并分析比较了浮游动物丰富度、多样性特性及其对稻田农药施用的响应。研究内容对进一步丰富稻田生态系统食物网结构、解析农药施用对稻田水体浮游动物多样性和丰富度的影响提供有益参考信息。后续研究将进一步拓宽采样生态区域范围,同时在水稻不同的生育时期分期采样,以系统阐明稻田水生生态系统中浮游动物的时空动态及其生态功能。

致谢:曲阜师范大学生命科学学院秦海明博士对浮游动物鉴定给予了帮助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] HARRIS R, WIEBE P, LENZ J, et al. ICES Zooplankton methodology manual[M]. New York: Academic Press, 2000: 1-32.
- [2] 刘一, 禹娜, 冯德祥, 等. 上海市中心城区河道浮游动物群落结构的周年变化[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 370-376.
LIU Y, YU N, FENG D X, et al. Annual variations of zooplankton community structure in Shanghai downtown rivers[J]. Chinese journal of ecology, 2010, 29(2): 370-376.
- [3] TAVERNINI S, MURA G, ROSSETTI G. Factors influencing the seasonal phenology and composition of zooplankton communities in mountain temporary pools[J]. International review of hydrobiology, 2010, 90(4): 358-375.
- [4] MADONI P. The contribution of ciliated protozoa to plankton and benthos biomass in a European rice field[J]. Journal of eukaryotic microbiology, 2010, 43(3): 193-198.
- [5] LEONI B, COTTA-RAMUSINO M, MARGARITORA F G. Seasonal succession of cladocerans in a rice field in Italy[J]. Hydrobiologia, 1998, 391(1/2/3): 239-245.
- [6] SUPENYA C, PORNSILP P, LA-ORSRI S. Diversity and composition of zooplankton in rice fields during a crop cycle at Pathum Thani province, Thailand[J]. Songklanakarin journal of science & technology, 2009, 31(3): 261-267.
- [7] 莫书银, 刘雨芳, 孙丽川, 等. 转 Cry1Ab/Ac 基因水稻对稻田浮游动物群落物种多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(9): 2422-2428.
MO S Y, LIU Y F, SUN L C, et al. Effects of transgenic Cry1Ab/Ac rice on the species diversity of zooplankton community in paddy fields[J]. Chinese journal of ecology, 2016, 35(9): 2422-2428.
- [8] 陈怡, 杨艳, 朱昊俊, 等. 转 cry1C, cry2A 基因水稻对稻田浮游动物群落物种多样性的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(4): 454-462.
CHEN Y, YANG, ZHU H J, et al. Effects of transgenic rice with genes cry1C and cry2A on species diversity of zooplankton community in paddy fields [J]. Chinese journal of biological control, 2017, 33(4): 454-462.
- [9] 张庆阳, 吕东锋, 马旭洲, 等. 稻蟹共作系统对浮游甲壳动物群落的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 834-841.
ZHANG Q Y, LU D F, MA X Z, et al. The impact of rice-crab culture system on crustacean zooplankton community[J]. Journal of Shanghai ocean university, 2014, 23(6): 834-841.
- [10] 王家楫. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961: 1-289.
WANG J J. Chinese freshwater rotifer[M]. Beijing: Science Press, 1961: 1-289.
- [11] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志. 节肢动物门. 甲壳纲. 淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-279.
JIANG X Z, DU N S. Fauna Sinica. arthropod. crustacea. freshwater cladocerans[M]. Beijing: Science Press, 1979: 1-279.
- [12] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志. 节肢动物门. 甲壳纲. 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社,

- 1976:1-450.
- Research Group of Carcinology, Institute of Zoology, Sinica academia. fauna Sinica. arthropod. crustacea. freshwater copepods [M]. Beijing: Science Press, 1976:1-450.
- [13] HURLBERT S H. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters [J]. Ecology, 1971, 52(4): 577-586.
- [14] MAGURRAN A E. Ecological diversity and its measurement [J]. Biometrics, 1988, 46(2): 81-99.
- [15] 马克平. 生物群落多样性的测度方法: $I\alpha$ 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- MA K P. The method of measuring the diversity of biological communities: the method of measuring the diversity of $I\alpha$ (Part 1) [J]. Chinese biodiversity, 1994, 2(3): 162-168.
- [16] 杨亮杰, 吕光汉, 竺俊全, 等. 横山水库浮游动物群落结构特征及水质评价 [J]. 水生生物学报, 2014, 38(4): 720-728.
- YANG L J, LU G H, ZHU J Q, et al. Characteristics of zooplankton community in hengshan reservoir and water quality assessment [J]. Acta hydrobiologica Sinica, 2014, 38(4): 720-728.
- [17] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 388-393.
- ZHANG Z S, HUANG X F. Freshwater plankton research methods [M]. Beijing: Science Press, 1991: 388-393.
- [18] 孙军, 刘东艳, 王宗灵, 等. 浮游动物摄食在赤潮生消过程中的作用 [J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1514-1522.
- SUN J, LIU D Y, WANG Z L, et al. The effects of zooplankton grazing on the development of red tides [J]. Acta ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1514-1522.
- [19] 刘建康. 高级水生生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 401-401.
- LIU J K. Advanced Aquatic Biology [M]. Beijing: Science Press, 1999: 401-401.
- [20] 汪金平, 曹凑贵, 金晖, 等. 稻鸭共生对稻田水生生物群落的影响 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2001-2008.
- WANG J P, CAO C G, JIN H, et al. Effects of rice-duck farming on aquatic community in rice fields [J]. Scientia agricultura Sinica, 2006, 39(10): 2001-2008.
- [21] 曾宪磊, 陆诗敏, 刘兴国, 等. 稻蟹复合模式不同区位浮游生物多样性分析 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 67-70.
- ZENG X L, LU S M, LIU X G, et al. Analysis of plankton biodiversity in different locations of rice-crab compound model [J]. Jiangsu agricultural sciences, 2018, 46(12): 67-70.
- [22] 布朗马克 C, 汉松 LA. 湖泊与池塘生物学 [M]. 韩博平, 吴庆龙等译. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- BRONMARK C, HANSSON LA. The biology of lakes and ponds [M]. Han B P, Wu Q L, et al, translate. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2013.
- [23] 程燕, 周军英, 单正军. 稻田用药的水生生态风险评价技术进展 [J]. 农药学学报, 2012, 14(3): 242-252.
- CHENG Y, ZHOU J Y, SHAN Z J. Progress on aquatic eco-risk assessment of rice paddy pesticides [J]. Chinese journal of pesticide science, 2012, 14(3): 242-252.
- [24] 蔡道基, 龚瑞忠, 汤国才, 等. 稻田使用溴氰菊酯农药对水生生物的安全评价 [J]. 环境科学研究, 1997, 10(3): 35-40.
- CAI D J, GONG R Z, TANG G C, et al. Safety evaluation of aquatic organisms using deltamethrin in rice fields [J]. Research of environmental sciences, 1997, 10(3): 35-40.
- [25] 黄林, 席贻龙. 轮虫和枝角类的种间竞争及其影响因子研究进展 [J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6720-6728.
- HUANG L, XI Y L. Research advances in interspecific competition and influencing factors between rotifers and cladocerans [J]. Acta ecologica Sinica, 2020, 40(19): 6720-6728.
- [26] 祁峰, 马燕武, 李红, 等. 博斯腾湖枝角类群落结构特征及其影响因子 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3516-3522.
- QI F, MA Y W, LI H, et al. Cladocera in Bosten lake: community characteristics and driving factors [J]. Chinese journal of applied ecology, 2015, 26(11): 3516-3522.
- [27] JAGADEESAN L, JYOTHIBABU R, ARUNPANDI N, et al. Feeding preference and daily ration of 12 dominant copepods on mono and mixed diets of phytoplankton, rotifers, and detritus in a tropical coastal water [J]. Environmental monitoring and assessment, 2017, 189(10): 503-503.
- [28] DHANKER R, HWANG J S. Predation by *Apocyclops royi* (Cyclopoid: Copepod) on ciliates and rotifers [J]. Journal of marine science and technology, 2013, 21: 246-251.