

文章编号: 1674-5566(2015)04-0523-09

河蟹生态养殖池后生浮游动物的群落结构及动态

郝俊^{1,2,3}, 马旭洲^{1,2,3}, 王友成⁴, 王武^{1,2,3}, 王高龙^{1,2,3}, 郎月林⁴, 李星星⁵

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种协同创新中心, 上海 201306; 4. 上海鱼跃水产专业合作社, 上海 201611; 5. 遵义市水产站, 贵州 遵义 563000)

摘要: 为了探究河蟹生态养殖对池塘后生浮游动物群落的影响, 2013年4至10月采集了上海松江泖港地区河蟹养殖池和水源水体的后生浮游动物(包括轮虫、枝角类和桡足类), 分析了后生浮游动物的种类构成、生物密度、生物量和生物多样性。共检测出后生浮游动物59种, 其中优势种14种。轮虫优势种为蓴花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫、裂痕龟纹轮虫、暗小异尾轮虫、针簇多肢轮虫和尾三肢轮虫; 枝角类优势种为长肢秀体溞、短尾秀体溞、蚤状溞、长额象鼻溞和圆形盘肠溞; 桡足类优势种为锯缘真剑水蚤、跨立小剑水蚤和广布中剑水蚤。养殖池轮虫平均生物密度为562.78 ind/L, 平均生物量为0.37 mg/L, Shannon-Wiener多样性指数变化范围1.97~2.36。水源轮虫平均生物密度为388.69 ind/L, 平均生物量为0.25 mg/L, Shannon-Wiener多样性指数变化范围1.56~2.20。养殖池枝角类平均生物密度为70.59 ind/L, 平均生物量为4.56 mg/L, Shannon-Wiener多样性指数变化范围1.34~2.18。水源枝角类平均生物密度为37.92 ind/L, 平均生物量为2.37 mg/L, Shannon-Wiener多样性指数变化范围1.11~1.97。养殖池桡足类平均生物密度为275.00 ind/L, 平均生物量为10.48 mg/L, Shannon-Wiener多样性指数变化范围1.25~2.26。水源桡足类平均生物密度为155.07 ind/L, 平均生物量为7.30 mg/L, Shannon-Wiener多样性指数变化范围1.25~2.11。综上所述, 河蟹养殖池后生浮游动物种类数、生物密度、生物量和生物多样性均高于水源, 群落稳定。

研究亮点: 河蟹生态养殖是一种环境友好型的新型立体生态养殖模式, 通过水生植物来吸收养殖池塘水体的营养物质, 确保长时间内不对环境造成不利影响。后生浮游动物是水体生态系统的重要组成部分, 对生态系统平衡起着一定的维持作用。对养殖池和水源水体的后生浮游动物种类构成和生物量的变化进行比较分析, 可以反映出水体的环境质量变化, 为河蟹生态养殖模式提供基础资料。

关键词: 河蟹; 后生浮游动物; 密度; 生物量; 生物多样性指数

中图分类号: S 966.16

文献标志码: A

河蟹学名中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*), 隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、方蟹科(Grapsidae)、绒螯蟹属(*Eriocheir*)。其肉质鲜美, 营养丰富, 自古以来就是中国食品的传统美食佳肴, 深受人民的欢迎。较高的经济价值使河蟹养殖面积迅速扩大, 产量不断提高, 但传统养殖技

术造成水体富营养化, 不仅危及养蟹产业的发展, 而且影响人类生活和环境安全^[1]。

河蟹生态养殖技术通过保持水域养殖生态系统内消费者、分解者和生产者三者之间物质循环和能量流动的平衡, 建立和管理一个能实现生态上自我维持低输入、经济上可行的养殖生态系统, 确保长时间内不对周围环境造成明显不利影

收稿日期: 2015-01-29 修回日期: 2015-03-16

基金项目: 上海市中华绒螯蟹产业技术体系(D8003-10-0208); 国家星火计划项目(2011GA680001); 欧盟FP7亚欧水产平台(245020); 上海高校知识服务平台水产动物遗传育种协同创新中心(ZF1206)

作者简介: 郝俊(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为河蟹生态养殖技术。E-mail: jhao402042774@163.com

通信作者: 马旭洲, E-mail: xuzhouma@126.com

响的养殖方式^[1]。这种生态友好型养殖模式受到国内外的广泛关注。

吴伟等^[2]的实验结果表明河蟹生态养殖不会对外界水环境产生不良影响;戴恒鑫等^[3]认为河蟹生态养殖池塘大量水生植物对 N、P 的吸收效果显著,池塘水质显著优于水源区,但是对于河蟹生态养殖池塘浮游生物的研究较少。后生浮游动物作为食物链中不可缺少的一环,它们在物质转化、能量流动、信息传递等生态过程中起着至关重要的作用^[4]。后生浮游动物种类组成和生物量的变化可以快速而精确地反映出水体的环境质量变化,而其生物多样性也是水生生态系统的一项重要评价指标^[5-6]。通过对河蟹生态养殖池塘后生浮游动物群落的研究,可提高河蟹养殖池塘的生态效应,促进河蟹产业可持续发展,为生态养殖生产推广提供有力的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验地点

实验在上海市松江区泖港镇三泖水产养殖公司养殖场(北纬 30°57'10.07"、东经 121°8'38.02")进行,养殖地点位于黄浦江上游地区,池塘用水为黄浦江水。

1.2 实验材料

实验幼蟹由上海鱼跃水产合作社养殖基地提供。每个养殖池塘已经连续多年进行河蟹养殖,3 口实验池塘均为 8 000 m² 的标准化池塘。

1.3 实验设计

1.3.1 池塘处理

河蟹养殖池规范整洁,最高水位约 1.5 m,坡比 1:3,池底平坦,进排水方便。池塘南北走向,每个池塘前期(6 月份前)分为种草区(80%)和暂养区(20%)。暂养区主要种植伊乐藻(*Elodea nuttallii*),种草区主要种植轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*),兼种伊乐藻、苦草(*Vallisneria spiralis*),水草总面积控制在池塘面积 60% 左右。

1.3.2 消毒与整塘

2012 年 12 月初商品蟹捕捞上市后,采用生石灰(1 125 kg/hm²)、漂白粉(225 kg/hm²)、茶粕(300 kg/hm²),水深 1.0 m 条件下消毒清塘,一天后排干池水,进行冻晒池底。

水草种植:1 月中旬全池种植伊乐藻,面积为全池面积的 30% 左右,水位控制在 30~40 cm。3

月初播种苦草种子(7.5 kg/hm²),水位控制在 40~50 cm。4 月中旬采用切茎分段扦插法种植轮叶黑藻,种植面积 40% 左右,水位控制在 50~60 cm。种草时,水位控制为超出水草约 10 cm。

1.3.3 苗种投放

3 月上旬投放规格 100~160 只/kg 幼蟹(9 000 只/hm²)。4 月初投放螺蛳(7 500 kg/hm²)。4 月中旬投放规格为 0.50~0.75 kg/尾的鲢(30 尾/hm²),0.4~0.5 kg/尾的鳙(15 尾/hm²),鲢鳙投放时需注意适当提高池塘水位。6 月下旬投放体长 2 cm 沙塘鳢(*Odontobutis obscurus*, 3 000 尾/hm²)。7 月上旬投放体长 2.0 cm 日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*, 22.5 kg/hm²)。

1.4 采样分析方法

1.4.1 实验方法

实验于 2013 年 4 至 10 月进行,每月采样 2 次,采样时间为 8:30~11:00,如遇雨天则延后采样。河蟹池采同一地点水位约为 40 cm 的水,同一池塘分别采 4 个点;水源选取 3 个地点,在水深 40 cm 处分别取水样。分别取水 10 L 经 25 号浮游生物网过滤,4% 甲醛溶液固定,实验室镜检。浮游动物的鉴定参考文献[7-11]。

1.4.2 数据处理与分析

生物多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H'):种类和种类中个体分配上的均匀性的综合指标,反映群落结构复杂程度和稳定性。其计算公式:

$$H' = - \sum [(n_i/N) \log_2(n_i/N)] \quad (1)$$

式中: n_i 为种 i 的个体数; N 为所有物种的总个体数。

$$\text{种类优势度 } Y = (n_i/N) f_i \quad (2)$$

式中: n_i 为第 i 种的个体数; N 为所有物种的总个体数; f_i 为第 i 种的出现频率。 $Y > 0.02$ 为优势种。

采用 SPSS 18.0 软件包进行数据统计分析。河蟹养殖池与水源间平均密度、平均生物量和生物多样性指数的比较均采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 河蟹养殖池与水源后生浮游动物的物种组成与优势种

共鉴定出后生浮游动物 59 种:轮虫 25 种,枝

角类 19 种,桡足类 15 种。其中轮虫的优势种为萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*)、螺形龟甲轮虫 (*Keratella cochlearis*)、裂痕龟纹轮虫 (*Anuraeopsis fissa*)、暗小异尾轮虫 (*Trichocerca pusill*)、针簇多肢轮虫 (*Polyarthra trigla*) 和尾三肢轮虫 (*Filinia major*); 枝角类优势种为长肢秀体溞 (*Diaphanosoma leuchtenbergianum*)、短尾秀体溞 (*Diaphanosoma brachyurum*)、蚤状溞 (*Daphnia pulex*)、长额象鼻溞 (*Bosmina longirostris*) 和圆形盘肠溞 (*Chydorus sphaericus*); 桡足类优势种为锯缘真剑水蚤 (*Eucyclops serrulatus*)、跨立小剑水蚤 (*Microcyclops varicans*) 和广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*)。河蟹池后生浮游动物种类数明显高于水源(表 1)。

2.2 平均密度

河蟹养殖池后生浮游动物平均密度与水源变化趋势基本一致,后生浮游动物平均密度变化更为剧烈。

河蟹池轮虫平均密度分别在 4 月 29 日和 6 月 29 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 1。枝角类平均密度分别在 5 月 14 日至 6 月 29 日和 10 月 15 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 2。桡足类平均密度分别在 4 月 29 日、5 月 30 日至 6 月 29 日、7 月 29 日和 10 月 15 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 3。后生浮游动物平均密度分别在 4 月 29 日、5 月 30 日至 6 月 29 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 4。

表 1 河蟹养殖池和水源后生浮游动物的种类组成
Tab.1 Composition of metazoan zooplankton in crab pond and river water

浮游动物 Zooplankton		河蟹池 1 crab pond1	河蟹池 2 crab pond2	河蟹池 3 crab pond3	水源 1 river water1	水源 2 river water2	水源 3 river water3
旋轮科 Philodinidae	转轮虫 <i>Rotaria. rotatoria</i>	-	+	+	-	-	-
猪吻轮科 Dicranophoridae	吕氏猪吻轮虫 <i>Dicranopharus lutkeni</i>	-	+	-	-	-	+
	前突猪吻轮虫 <i>D. pronaci</i>	-	-	+	-	-	-
	角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	+	+	+	+	+	+
	萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	*	*	*	*	*	*
	裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>	+	+	+	+	+	+
	方形臂尾轮虫 <i>B. quadridentatus</i>	+	+	-	-	-	-
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i>	+	+	-	-	-	-
臂尾轮科 Brachionidae	矩形臂尾轮虫 <i>B. leydigi</i>	+	+	+	-	-	-
	尾突臂尾轮虫 <i>B. caudatus</i>	+	+	+	+	+	+
	螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	*	*	*	*	*	*
	曲腿龟甲轮虫 <i>K. valga</i>	+	+	+	+	+	+
	矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>	+	+	+	+	+	+
轮虫 Rotifera	裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>	*	*	*	*	*	*
	椎尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i>	-	-	+	-	-	-
腔轮科 Lecanidae	月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i>	+	-	-	-	-	-
晶囊轮科 Asplanchnidae	囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>	+	+	+	+	+	+
	前节晶囊轮虫 <i>Asplachna priodonta</i>	+	+	+	+	+	+
鼠轮科 Trichocercidae	暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusill</i>	*	*	*	*	*	*
疣毛轮科 Synchaetidae	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	*	*	*	*	*	*
	小多肢轮虫 <i>P. minor</i>	+	+	+	-	-	-
	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>	+	+	+	-	-	-
镜轮科 Testudinellidae	沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>	+	+	+	-	-	-
	长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	+	+	+	+	+	+
	尾三肢轮虫 <i>F. major</i>	*	*	*	*	*	*

续表 1

浮游动物 Zooplankton		河蟹池 1 crab pond1	河蟹池 2 crab pond2	河蟹池 3 crab pond3	水源 1 river water1	水源 2 river water2	水源 3 river water3
枝角类 Cladocera	薄皮蚤科 Leptodoridae	透明薄皮蚤 <i>Leptodora kindtii</i>	+	+	+	-	-
		晶莹仙达蚤 <i>Sida crystallina</i>	+	+	+	+	+
	仙达蚤科 Sididae	多刺秀体蚤 <i>Diaphanosoma sarsi</i>	+	+	+	-	-
		长肢秀体蚤 <i>D. leuchtenbergianum</i>	*	*	*	*	*
		短尾秀体蚤 <i>D. brachyurum</i>	*	*	*	+	+
		蚤状蚤 <i>Daphnia pulex</i>	*	*	*	+	+
	蚤科 Daphniidae	老年低额蚤 <i>Simocephalus vetulus</i>	+	+	+	+	+
		方形网纹蚤 <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	+	+	-	-	-
		角突网纹蚤 <i>C. cornuta</i>	+	+	+	+	+
	象鼻蚤科 Bosminidae	长额象鼻蚤 <i>Bosmina longirostris</i>	*	*	*	*	*
		筒弧象鼻蚤 <i>B. coregoni</i>	+	+	+	+	-
		脆弱象鼻蚤 <i>B. faialis</i>	-	+	-	-	-
	裸腹蚤科 Moinidae	直额裸腹蚤 <i>Moina rectirostris</i>	+	+	+	+	+
		微型裸腹蚤 <i>M. micrura</i>	+	+	+	+	+
		发头裸腹蚤 <i>M. irrasa</i>	+	+	+	+	+
盘肠蚤科 Chydoridae	方形尖额蚤 <i>Alona quadrangularis</i>	-	+	-	-	-	
	矩形尖额蚤 <i>A. rectangula</i>	+	+	-	-	-	
	圆形盘肠蚤 <i>Chydorus sphaericus</i>	*	*	*	+	+	
	镰角锐额蚤 <i>Alonella sxcisa</i>	+	+	+	-	-	
胸刺水蚤科 Centropagidae	汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	+	+	+	+	+	
	细巧华哲水蚤 <i>S. tenellus</i>	+	+	+	+	-	
伪镖水蚤科 Pseudodiaptomidae	球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	+	+	+	+	+	
	指状许水蚤 <i>S. inopinus</i>	+	+	-	+	-	
镖水蚤科 Diaptomidae	大型中镖水蚤 <i>Sinodiaptomus sarsi</i>	+	+	+	+	-	
	右突新镖水蚤 <i>Neodiaptomus schmackeri</i>	+	+	+	+	+	
	中华原镖水蚤 <i>Eodiaptomus sinensis</i>	-	-	-	+	-	
桡足类 Copepoda	长腹剑水蚤科 Oithonidae	中华窄腹剑水蚤 <i>Limnithona sinensis</i>	+	+	+	+	+
		锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	*	*	*	+	+
		跨立小剑水蚤 <i>Microcyclops varicans</i>	*	*	*	+	+
	剑水蚤科 Cyclopidae	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	*	*	*	*	*
		台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	+	+	+	+	+
		短尾温剑水蚤 <i>T. brevifurcatus</i>	+	+	+	+	+
		无节幼体 Nauplius	*	*	*	*	*
		桡足幼体 Copepodid	*	*	+	*	+
合计 total	19 (8 + 6 + 5)	52	55	49	41	41	36

注：“+”代表有此浮游动物；“-”代表无此浮游动物；“*”代表此浮游动物为优势种。

Note: +. recorded; -. not recorded; *. dominant species.

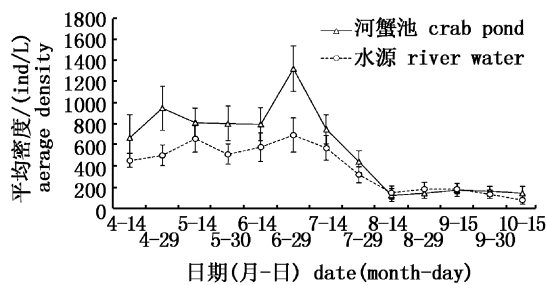


图 1 河蟹养殖池和水源轮虫平均密度变化
Fig. 1 Variation of the average density of Rotifera in crab ponds and water source

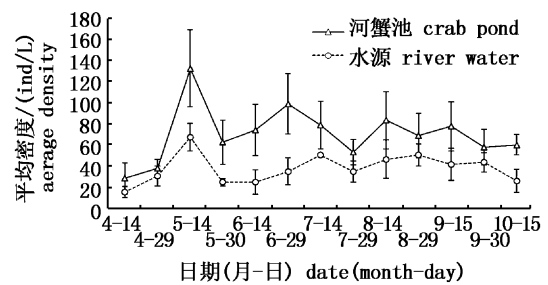


图 2 河蟹养殖池和水源枝角类平均密度变化
Fig. 2 Variation of the average density of Cladocera in crab ponds and water source

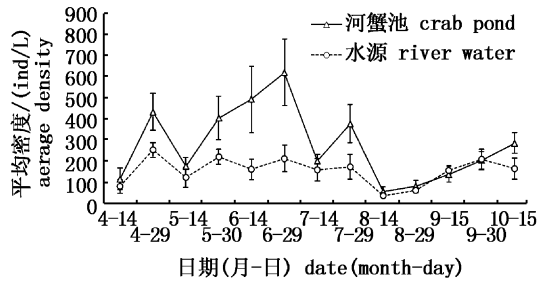


图3 河蟹养殖池和水源桡足类平均密度变化
Fig.3 Variation of the average density of Copepoda in crab ponds and water source

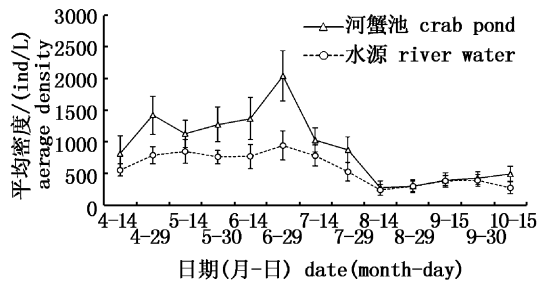


图4 河蟹养殖池和水源后生浮游动物平均密度变化
Fig.4 Variation of the average density of the metazoan zooplankton in crab ponds and water source

2.3 平均生物量

在采样期间,河蟹养殖池后生浮游动物平均生物量多数情况下高于水源。8月14日和8月29日轮虫平均生物量小于水源;枝角类平均生物量在采样期间均大于水源;9月15日桡足类平均生物量小于水源。

河蟹池轮虫平均生物量分别在4月29日和6月29日与水源差异显著($P < 0.05$),见图5。枝角类平均生物量分别在5月14日至6月29日和10月15日与水源差异显著($P < 0.05$),见图6。桡足类平均生物量分别在6月14日和6月29日与水源差异显著($P < 0.05$),见图7。后生浮游动物平均生物量分别在5月14日、6月14日和6月29日与水源差异显著($P < 0.05$),见图8。

2.4 多样性指数

河蟹养殖池后生浮游动物 Shannon-Wiener 生物多样性指数大多数时间高于水源,变化趋势基本与水源一致。由于河蟹养殖池后生浮游动物种类丰富,群落稳定性高,食物充足,所以多样性指数稳定增加。水源后生浮游动物结构稳定性差,多样性指数变化频繁。

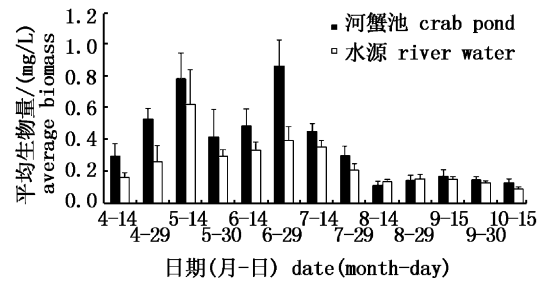


图5 河蟹养殖池和水源轮虫平均生物量变化
Fig.5 Variation of the average biomass of Rotifera in crab ponds and water source

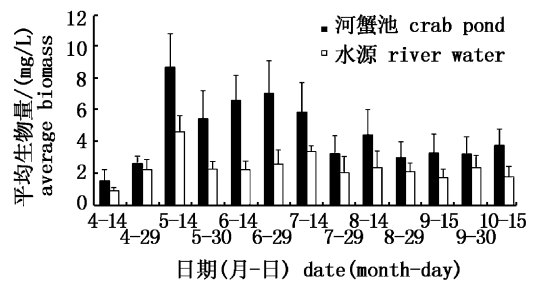


图6 河蟹养殖池和水源枝角类平均生物量变化
Fig.6 Variation of the average biomass of Cladocera in crab ponds and water source

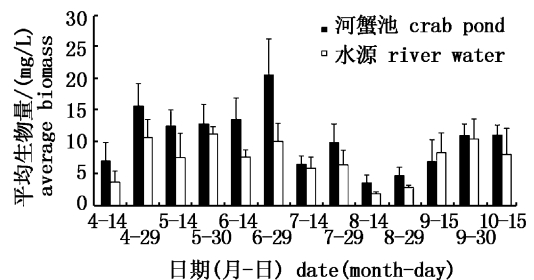


图7 河蟹养殖池和水源桡足类平均密度变化
Fig.7 Variation of the average biomass of Copepoda in crab ponds and water source

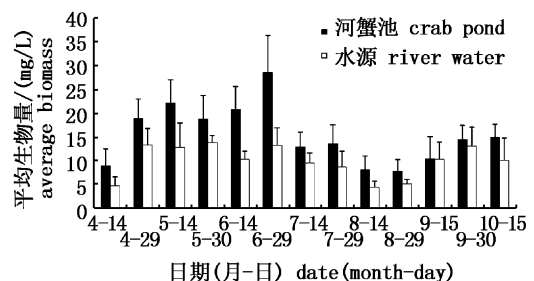


图8 河蟹养殖池和水源后生浮游动物平均密度变化
Fig.8 Variation of the average biomass of the metazoan zooplankton in crab ponds and water source

河蟹池轮虫多样性指数分别在 4 月 29 日和 6 月 29 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 9。枝角类多样性指数在 5 月 30 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 10。桡足类多样性指数分别在 4 月 29 日、5 月 30 日和 6 月 29 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 11。后生浮游动物多样性指数分别在 4 月 29 日、5 月 30 日至 6 月 29 日、7 月 29 日和 8 月 14 日与水源差异显著 ($P < 0.05$), 见图 12。

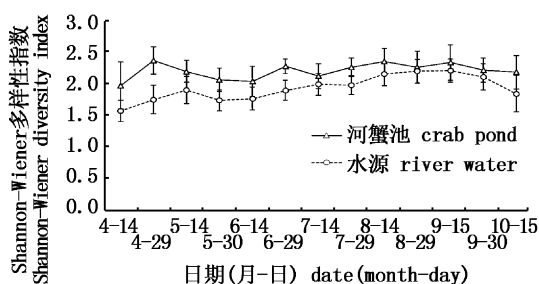


图 9 河蟹养殖池和水源轮虫 Shannon-Wiener 多样性指数变化

Fig. 9 Variation of the Shannon-Wiener diversity index of Rotifera in crab ponds and water source

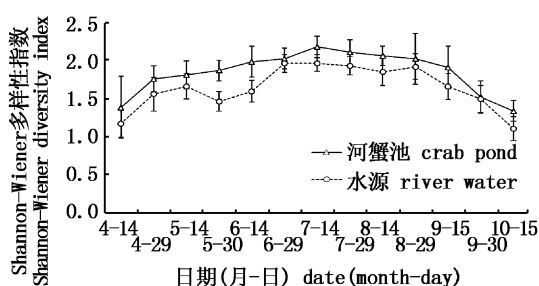


图 10 河蟹养殖池和水源枝角类 Shannon-Wiener 多样性指数变化

Fig. 10 Variation of the Shannon-Wiener diversity index of Cladocera in crab ponds and water source

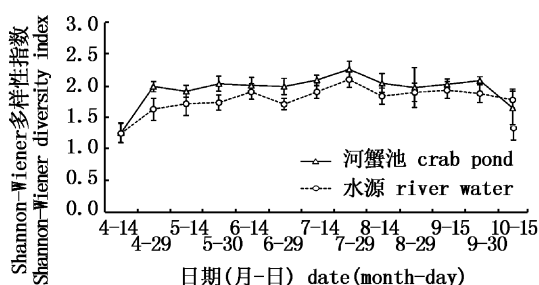


图 11 河蟹养殖池和水源桡足 Shannon-Wiener 多样性指数变化

Fig. 11 Variation of the Shannon-Wiener diversity index of Copepoda in crab ponds and water source

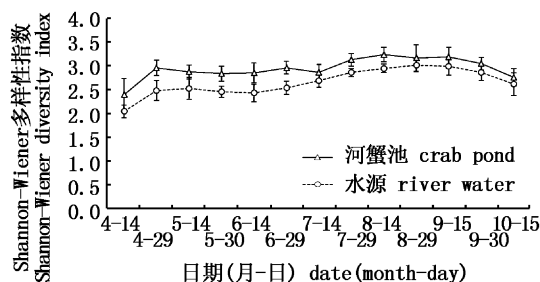


图 12 河蟹养殖池和水源后生浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数变化

Fig. 12 Variation of the Shannon-Wiener diversity index of the metazoan zooplankton in crab ponds and water source

3 讨论

3.1 生态养殖池塘自身特点对浮游动物种类数的影响

上海泖港地区生态养殖河蟹池共鉴定出后生浮游动物 52 种, 后生浮游动物种类数明显高于水源, 究其原因与生态养殖模式有关。江河中枝角类的种类和数量都不多, 主要栖息于湖泊中, 尤其在水草丰富的沿岸带种类特别丰富^[11]。泖港地区河蟹池种植了轮叶黑藻、伊乐藻和苦草, 水草总面积达到池塘面积 60% 左右, 为习居草丛生境的后生浮游动物提供了栖息地和繁殖场所^[12]。而水源为开放水域, 水流较快、水位上下浮动较大, 且缺少后生浮游动物隐藏的水草, 不利于习居草丛生境的后生浮游动物生存。故后生浮游动物种类数量和密度要小于河蟹生态养殖池。

3.2 后生浮游动物群落结构与环境因子的关系

优势种的种类数和数量对群落结构的稳定性有重要影响, 其种类数越多且优势度越小, 则群落结构越复杂稳定^[15]。本次调查共鉴定出优势种 16 种, 且存在明显的季节更替现象。说明生态养殖池塘的后生浮游动物群落结构处于相对稳定的状态。

多数学者认为决定轮虫种类季节演替的主要因子是水温^[16-18]。轮虫密度高峰期一般出现在水温达到 20 °C 以上, 水温上升使卵的发育时间相对缩短, 同时浮游植物、动物的尸体等在细菌的作用下很快形成碎屑^[19], 浮游植物大量繁殖, 为草食轮虫大量繁殖提供了食物, 占据了生态位。此次采样期间, 轮虫的密度增长迅速, 4 月 29 日达到次高峰, 且密度波动较大也是由于其繁

殖迅速的特点所致。随着水温的升高,甲壳动物的生长发育加快,5月14日河蟹池水温达到23.5℃,适宜的温度使枝角类密度达到最高峰。桡足类密度4月29日达到次高峰,此时无节幼体和桡足幼体为其密度的主要贡献者。

枝角类和轮虫均为滤食性浮游动物,但枝角类较其他浮游动物有着更强的竞争能力^[20-21]。随着食物的大量消耗和空间的局限性,后生浮游动物之间相互排斥使得枝角类平均密度从5月14日开始下降。桡足类缺少了枝角类和轮虫的竞争,同时河蟹饵料的增加,为桡足类从5月14日至6月29日密度的增加提供了充足的食物。河蟹池后生浮游动物的密度高于水源,密度高峰持续的时间也要长于水源。

由于水温过高,水草于8月14日开始衰败死亡,并向水中释放有机碎屑。此后河蟹池后生浮游动物的变化规律与水源基本一致,丧失了生态效应。这与周露洪等^[24]的研究结果相似,同样认为水草为河蟹养殖系统发挥生态效应的基础。

后生浮游动物生物量的变化规律与密度基本保持一致。枝角类平均生物量在5月14日和6月29日出现最高峰和次高峰,与生物量贡献较大的枝角类个体晶莹仙达溞和蚤状溞分别在5月和7月份大量繁殖密切相关。桡足类的生物量主要贡献者为无节幼体和桡足幼体。无节幼体被认为是桡足类生长过程中的瓶颈,由于其主要以滤食细菌为主,且滤食效率低,从而对食物资源的多寡比较敏感^[25-26]。桡足类平均生物量在4月29日至6月14日内持续增高,在6月29日出现最高峰。这与陈立婧等^[12]在上海世博园后滩的监测结果相似。

营养盐N、P主要通过藻类生物量的影响来间接影响枝角类的种类密度和生物量的分布^[27]。P是浮游植物的主要限制因素,河蟹池中总磷含量一直都高于水源,原因是河蟹池投喂大量饵料,饵料源性的磷释放到养殖水体,从而为后生浮游动物的大量繁殖提供了充足的食物。

pH跟浮游动物的代谢生殖和发育等有密切的关系,水体pH能影响盐类的吸收。河蟹池的pH显著高于水源^[3],但处于后生浮游动物生长范围内,故对后生浮游动物现存量影响不大。

3.3 螺蛳、鲢鳙和河蟹对后生浮游动物的影响

螺蛳是河蟹成蟹阶段重要的摄食种类。螺

蛳的投入不仅为中华绒螯蟹提供了活饵料,而且能净化水质,促进水草生长,为中华绒螯蟹提供良好的生活环境^[28]。螺蛳通过摄食藻类、沉水植物和有机碎屑等^[29]间接降低河蟹池的氮、磷含量,影响后生浮游动物现存量。

河蟹池由于鱼类放养密度很小,而且水草覆盖率达到60%,易于后生浮游动物隐藏。调查显示,河蟹池大型枝角类和桡足类都比较多,说明养殖池塘的鲢鳙鱼对浮游动物的影响不大。

河蟹在幼蟹阶段,大量摄食枝角类^[30],成蟹阶段枝角类已经不能满足河蟹生长,转而趋向于更易于捕食的螺蛳和营养丰富的人工饵料。所以河蟹池中河蟹对于后生浮游动物的影响不大。

研究发现生态养殖池后生浮游动物的平均密度、平均生物量和Shannon-Wiener多样性指数都要高于水源,说明河蟹池后生浮游动物群落更复杂,生态系统更稳定。河蟹生态养殖模式中后生浮游动物种类丰富,生态系统结构复杂,相互作用密切。本文对河蟹池后生浮游动物群落结构变化的研究为河蟹生态养殖模式提供了理论依据。为了进一步巩固河蟹生态养殖的生态效益,水生植物的高温保护和河蟹成熟蜕壳期的投喂模式为今后研究的重要方向。

参考文献:

- [1] 王武,李应森.河蟹生态养殖[M].北京:中国农业出版社,2010:8-86.
WANG W,LI Y S. Ecological culture of Chinese mitten crab aquaculture [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2010:8-86.
- [2] 吴伟,范立民,瞿建宏,等.池塘河蟹生态养殖对水体环境的影响[J].安全与环境学报,2006,6(4):50-54.
WU W,FAN L M,QU J H, et al. Effect of river crab eco-culture in ponds on water environment[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(4): 50-54.
- [3] 戴恒鑫,马旭洲,李应森,等.湖南大通湖河蟹池塘生态养殖模式对水质净化的试验研究[J].安全与环境学报,2012,12(5):89-94.
DAI H X, MA X Z, LI Y S, et al. Purification effect of the ecological culture pattern of *Eriocheir sinensis* on the water quality in Datong Lake, Hunan[J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(5): 89-94.
- [4] 刘超,禹娜,陈立侨,等.上海市西南城郊河道春季的浮游生物组成及水质评价[J].复旦学报:自然科学版,2007,46(6):913-919.
LIU C, YU N, CHEN L Q, et al. Zooplankton Communities and Bio-assessment of Five Rivers in the Outskirts Unit of

- Southwest Shanghai[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2007, 46(6): 913-919.
- [5] 曾阳, 苗明升, 付秀娥, 等. 温榆河浮游动物多样性及水质改善效果评价[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(3): 200-205.
ZENG Y, MIAO M S, FU X E, et al. Evaluation of water quality improvement in Wenyuhe river based on the analysis of diversity of macro-zooplankton [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(3): 200-205.
- [6] WHITMAN R L, NEVERS M B, GOODRICH M L, et al. Characterization of Lake Michigan coastal lakes using zooplankton assemblages[J]. Ecological Indicators, 2004, 4(4): 277-286.
- [7] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 1-300.
HAN M S, SHU Y F. Chinese freshwater organisms Atlas [M]. Beijing: China Ocean Press, 1995: 1-300.
- [8] 梁象秋, 方纪祖, 杨和荃. 水生生物学(形态和分类)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 15-375.
LIANG X Q, FANG J Z, YANG H Q. Hydrobiology (morphology and classification) [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1995: 15-375.
- [9] 王家楫. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961: 19-310.
WANG J J. Chinese freshwater rotifers [M]. Beijing: Science Press, 1961: 19-310.
- [10] 沈嘉瑞. 中国动物志: 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 15-264.
SHEN J R. Chinese animal: Copepoda [M]. Beijing: Science Press, 1979: 15-264.
- [11] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志: 淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 15-227.
JIANG X Z, DU N S. Chinese animal: Cladocer [M]. Beijing: Science Press, 1979: 15-227.
- [12] 陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 等. 上海世博园后滩湿地枝角类群落结构的周年动态[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2863-2870.
CHEN L J, WU Y F, JING Y X, et al. Annual dynamics of cladocera community structure in Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(10): 2863-2870.
- [13] 日本生态学会环境问题专门委员会. 环境和指示生物(水域分册)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987: 14-263.
Environmental issues special committee of the ecological society of Japan. Environmental and biological indicator (water volume) [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1987: 14-263.
- [14] 沈韫芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 18-483.
SHEN Y F, ZHANG Z S, GONG X J, et al. New technology of micro biological monitoring [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990: 18-483.
- [15] DANILOV R, EKELUND N G A. The efficiency of seven diversity and one similarity indices based on phytoplankton data for assessing the level of eutrophication in lakes in central Sweden[J]. The Science of the Total Environment, 1999, 234(1-3): 15-23.
- [16] 温新利, 席贻龙, 张雷, 等. 青弋江芜湖段轮虫群落结构和物种多样性的初步研究[J]. 生物多样性, 2004, 12(4): 387-395.
WEN X L, XI Y L, ZHANG L, et al. Community structure and species diversity of rotifer in the Wuhu section of the Qingyi River[J]. Biodiversity Science, 2004, 12(4): 387-395.
- [17] MAY L. Rotifer occurrence in relation to water temperature in Loch Leven, Scotland[J]. Hydrobiologia, 1983, 104(1): 311-315.
- [18] ARORA J, MEHRA N K. Seasonal dynamics of rotifers in relation to physical and chemical conditions of the river Yamuna (Delhi), India[J]. Hydrobiologia, 2003, 491(1-3): 101-109.
- [19] DITTY J G, SHAW R F. Larval development, distribution, and ecology of cobia *Rachycentron canadum* (Family: Rachycentridae) in the northern Gulf of Mexico[J]. Fishery Bulletin, 1992, 90(4): 668-677.
- [20] ANDERSON D H, BENKE A C. Growth and reproduction of the cladoceran *Ceriodaphnia dubia* from a forested floodplain swamp[J]. Limnology and Oceanography, 1994, 39(7): 1517-1527.
- [21] 崔福义, 林涛, 马放, 等. 水源中水蚤类浮游动物的孳生与生态控制研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(3): 399-403.
CUI F Y, LIN T, MA F, et al. Excess propagation and ecological control of water flea of zooplankton in raw water [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2002, 34(3): 399-403.
- [22] GILBERT J J. Suppression of rotifer populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms and the effects on zooplankton community structure [J]. Limnology and Oceanography, 1988, 33(6): 1286-1303.
- [23] MACISAAC H J, GILBERT J J. Competition between rotifers and cladocerans of different body sizes [J]. Oecologia, 1989, 81(3): 295-301.
- [24] 周露洪, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 固城湖围垦区池塘河蟹养殖环境影响及模式优化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(1): 36-42.
ZHOU L H, GU X H, ZENG Q F, et al. Environmental effects and structural optimization of crab culture in ponds in reclamation zones of Gucheng lake [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2013, 29(1): 36-42.
- [25] SHERR E B, SHERR B F. High rates of consumption of bacteria by pelagic ciliates[J]. Nature, 1987, 325(6106): 710-711.
- [26] HOPP U, MAIER G. Survival and development of five species

- of cyclopoid copepods in relation to food supply: experiments with algal food in a flow-through system[J]. *Freshwater Biology*, 2005, 50(9): 1454–1463.
- [27] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社, 1999: 12–351.
- LIU J K. *Advanced aquatic biology* [M]. Beijing: Science Press, 1999: 12–351.
- [28] 董江水, 陈红军, 王新华. 螺蛳投放量对中华绒螯蟹规格、产量和成活率的影响[J]. *水产科学*, 2009, 28(11): 691–694.
- DONG J S, CHEN H J, WANG X H. Effects of snails feeding rates on size, yield and survival of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science*, 2009, 28(11): 691–694.
- [29] CONNOR M S, TEAL J M, VALIELA I. The effect of feeding by mud snails, *Lymnaea obsoleta* (Say), on the structure and metabolism of a laboratory benthic algal community[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1982, 65(1): 29–45.
- [30] 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, LV 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.

The metazoan zooplankton community structure and dynamics of crab ecological farming ponds

HAO Jun^{1,2,3}, MA Xuzhou^{1,2,3}, WANG Youcheng⁴, WANG Wu^{1,2,3}, WANG Gaolong^{1,2,3}, LANG Yuelin⁴, LI Xingxing⁵

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Yuyue aquaculture cooperative, Shanghai 201611, China; 5. Zunyi Fisheries Technical Extension station, Zunyi 56300, Guizhou, China)

Abstract: To explore the influence of crab ecological farming on ponds metazoan zooplankton community, crab ponds zooplankton and water source (including Rotifera, Cladocera and Copepoda) of Shanghai Songjiang Maogang district were acquired from April to October at 2013. Zooplankton species composition, biological density, biomass and biodiversity was analyzed. Total of 59 kinds of metazoan zooplankton was detected, including 14 dominant species. The dominant species of Rotifera were *Brachionus calyciflorus*, *Keratella cochlearis*, *Anuraeopsis fissa*, *Trichocerca pusill*, *Polyarthra trigla* and *Filinia major*. The Cladocera dominant species were *Diaphanosoma leuchtenbergianum*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia pulex*, *Bosmina longirostris* and *Chydorus sphaericus*. The dominant species of Copepoda were *Eucyclops serrulatus*, *Microcyclops varicans* and *Mesocyclops leuckarti*. The average pond Rotifera biological density was 562.78 ind/L, the average biomass was 0.37 mg/L, the range of Shannon-Wiener diversity index was 1.97–2.36. The average Rotifera biomass density of water source was 388.69 ind/L, the average biomass was 0.25 mg/L, the range of Shannon-Wiener diversity index changes from 1.56 to 2.20. Cladocera average biomass density of ponds was 70.59 ind/L, the average biomass was 4.56 mg/L, the range of Shannon-Wiener diversity index was 1.34 to 2.18. Cladocera average biomass density of water source was 37.92 ind/L, the average biomass was 2.37 mg/L, the range of Shannon-Wiener diversity index was 1.11 to 1.97. Copepoda average biomass density of ponds was 275.00 ind/L, the average biomass was 10.48 mg/L, the range of Shannon-Wiener diversity index changes from 1.25 to 2.26. Copepoda average biomass density of water source was 155.07 ind/L, the average biomass was 7.30 mg/L, the range of Shannon-Wiener diversity index changes from 1.25 to 2.11. In summary, the crab pond zooplankton species, biological density, biomass and biodiversity were higher than the source of water, with the stable community.

Key words: *Eriocheir sinensis*; metazoan zooplankton; density; biomass; biodiversity index