

文章编号: 1000-0615(2006)01-0069-07

鳊塘水质与原生动物群落多样性关系的初步研究

王亚军^{1,2}, 林文辉¹, 吴淑勤¹,
段圣和³, 曾伟⁴, 梁裕昕³, 潘厚军¹
(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广东 广州 510380;
2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 20090;
3. 广东顺德农业综合服务中心, 广东 佛山 528333; 4. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘要:通过对水体理化因子和 PFU 原生动物群落的监测, 主要研究了鳊塘水质与原生动物群落多样性之间的关系, 结果表明: (1) 半封闭养殖模式下, 鳊塘水质综合评价指数在养殖过程中逐渐升高, 而 PFU 原生动物多样性逐渐减少。(2) PFU 原生动物多样性(y)能够很好的评价鳊塘水质, 其与水质综合评价指数(x)之间成负相关关系, 可用公式 $y = 2.45 - 2.54 \ln x$ 表示, 相关和回归分析均表明, 水质综合评价指数与原生动物群落多样性指数之间的对数函数关系十分密切, 且具有极显著意义。本实验结果还表明, 原生动物多样性指数与鳊疾病的发生之间存在着一定的关系, 这为鳊疾病预报预测模型的建立初步筛选了一个生物指标。

关键词: 鳊; 水质理化因子; 聚氨酯泡沫塑料块法; 原生动物群落多样性指数; 疾病
中图分类号: Q14; S965.1 文献标识码: A

The relationship between protozoan community diversity and water quality in ponds for the culture of *Siniperca chuatsi*

WANG Ya-jun^{1,2}, LIN Wen-hui¹, WU Shu-qin¹,
DUAN Sheng-he³, ZENG Wei⁴, LIANG Yu-xin³, PAN Hou-jun¹
(1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China;
2. College of Aquaculture Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 20090, China;
3. Shunde Agriculture Service Center, Foshan 528333, China;
4. College of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The relationship between the diversity of protozoan community and water quality in ponds for the culture of *Siniperca chuatsi* was studied through the detection of pond water physicochemical factors and the observation of polyurethane foam unit (PFU) protozoan community. The experiment was conducted from September to November in 2004 at Shunde, Guangdong Province. Water physicochemical factors were determined by common method and water quality index was constructed according to GB3838-88. Protozoan samples were collected by PFU method and protozoan community diversity index was calculated by Margalef formula. The results showed that some factors such as TN ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$) and chemical oxygen demand (COD) increased gradually as cultivation progressed. The results also showed that the water quality index increased in cultivation progress. The opposite trend was observed for the diversity of protozoan community. The water quality index and protozoan community diversity index can be used for evaluating water quality. The relationship between PFU protozoan community diversity index(y) and water quality index(x)

收稿日期: 2005-04-27

资助项目: 国家科技攻关计划(2004BA526B0501); 农业部农业结构调整重大技术专项(041105B); 广东省攻关项目(2002A20510)

作者简介: 王亚军(1980-), 男, 江苏盐城人, 硕士, 从事环境与鱼类疾病关系的研究。E-mail: yjwang720@yahoo.com.cn

通讯作者: 吴淑勤, Tel: 020-81616813, E-mail: wushuqin001@21cn.com

could be expressed by $y = 2.45 - 2.54 \ln x$, that is to say, the higher water quality index is, the lower the protozoan community diversity index is. Through correlation and regression analysis, coefficient of correlation and regression is significant at 0.01 level. It is also found that there is a relationship between protozoan community diversity index and *S. chuatsi* diseases. Protozoan community diversity index would become a good biofactor for prediction of *S. chuatsi* diseases.

Key words: *Siniperca chuatsi*; physicochemical factors; polyurethane foam unit (PFU) method; protozoan community diversity index; disease

自 20 世纪 80 年代鳊人工繁育成功以后, 其已成为我国优质鱼消费和出口创汇的重要品种之一, 但是, 随着养殖密度的提高, 鳊塘养殖水质环境出现恶化。水环境的恶化会对鱼类产生免疫胁迫作用^[1], 使鱼类机体的特异性和非特异性免疫防御体系功能受到抑制, 导致鱼体对各类病原敏感性升高, 目前, 水环境因子变化的判断主要是采用理化手段, 但池塘水体理化因子受天气、光照、气温和风力等因素的综合影响而出现昼夜变化^[2], 这给水质的判断带来了一定影响。与理化手段相比, 原生动物群落参数不仅可以代表环境中各种物质的综合影响, 而且还反映了各物质影响程度以及环境因子的连续性和积累性作用的结果, 弥补了理化监测手段的不足, 它比理化监测更能反映实际情况, 更具环境真实性^[3]。聚氨酯泡沫塑料块 (polyurethane foam unit, PFU) 法由美国 Cairns 于 1969 年创立, 因其具有快速、经济、准确、

且群集的原生动物种类多的特点, 20 世纪 80 年代初引入我国, 已被广泛应用于废水处理、河流湖泊水质的生物监测等方面, 取得了令人满意的成果^[3], 但在我国, 有关 PFU 原生动物与养殖池塘水质关系的研究还很少见。本文将 PFU 法应用于鳊养殖池塘水环境的监测, 主要探讨了原生动物群落多样性与池塘水质的关系, 旨在为鳊疾病预报预测模型的建立筛选出理想的理化和生物指标。

1 材料和方法

1.1 实验塘

2004 年 9–11 月间, 采用 PFU 原生动物法和理化方法, 对广东顺德区的马冈、逢沙、大良和龙江 4 镇的 5 个半封闭精养鳊塘进行了原生动物和水质检测, 实验塘基本情况见表 1。

表 1 实验塘基本情况

Tab. 1 Condition of experiment ponds

编号 number	面积(m ²) area	水深(m) depth	放养时间 cultivate time	规格(cm) size	数量(尾) quantity	备注 remark
1#	3334	1.6	6月15日	3~4	11 000	在10月份发病, 且该月停止投饵
2#	5 000	1.7	8月15日	3~5	20 000	在10月份发病
3#	2667	1.5	7月15日	9~11	6 000	
4#	2037	1.6	9月15日	9~11	2 300	
5#	3334	1.7	7月28日	2~3	10 000	

1.2 原生动物的采集与分析

原生动物的采集 采用 PFU 法采集原生动物, PFU 的大小为 20 cm × 2 cm × 100 cm, 共分 20 根, 每根大小为 1 cm × 2 cm × 100 cm, 取样时任取其中的 4 根。将 PFU 定点沉于池塘底部, 24h 后收集样品, 样品采集时间为上午的 8:00–9:00。样品用食品级封口塑料袋包装带回实验室, 在显微镜下进行种类鉴定和数据统计, 统计鉴定方法与分类按《微型生物监测新技术》^[3] 的描述。实验

每月进行 1 次, 每次即为 1 轮, 共进行 3 轮。

原生动物群落多样性指数计算 多样性指数 d 值按 Margalef 多样性指数公式^[4] 计算:

$$d = \frac{(s-1)}{\ln N}$$

式中: d 为多样性指数; S 为种类数; N 为每毫升内个体数。 d 值的高低表明原生动物种类多样性的丰富与贫乏, 由此可反映水质的优劣程度。

1.3 理化因子的测定

采集原生动物样品同时, 采集离水面约 0.5

m 深处的水样, 水温、pH、DO 用北京德运源公司生产的 DY-④C 型水质分析仪器现场直接测定, 亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮、COD 参照《水化学实验指导书》^[5] 进行分析。

1.4 水质综合评价指数的计算

水质综合评价指数的计算参考 GB3838-88 《地面水环境质量标准》^[6] 进行, 其模式如下:

$$PI = \frac{1}{n} \sum pi, \quad pi = ci / si$$

式中, *PI* 为某轮水质综合评价指数; *pi* 为某轮某理化因子标准型指数单元; *ci* 代表该理化因子实测值; *si* 为该理化因子标准值, 环境监测中通常采用国家环境质量标准; *n* 为多少项水质标准型指数单元。在评价因子相同时, 水质综合指数 *PI*

越高, 水质越差。

1.5 数据分析

数据统计与分析参考文献[7]的方法, 相关与回归分析均在软件 SPSS 10.0 上进行。

2 结果与分析

2.1 水质理化结果

各轮水质理化因子测定值见表 2。整个实验过程水温基本保持在 20℃ 以上, 基本适合鳃鱼生长; 五口池塘的 pH 值在 6.5~8.5 之间。从图 1 中可以看出除 1#、2# 发病塘在第 2 轮外, 其余塘三态氮总量(即亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮总和)逐渐升高, 从图 2 中可以看出, 除 1# 塘因发病期间没投饵外, 其余各池塘 COD 值均逐轮升高。

表 2 各轮水质理化因子值

Tab. 2 Water physicochemical factors at various times

编号 number	轮次 experiment times	水温(℃) temperature	pH	DO (mg·L ⁻¹)	亚硝酸盐 (mg·L ⁻¹) nitrite	硝酸盐 (mg·L ⁻¹) nitrate	氨氮 (mg·L ⁻¹) ammonia	三态氮 (mg·L ⁻¹) TN	COD (mg·L ⁻¹)
1#	第 1 轮	29.7	7.57	6.47	0.102	0.256	0.537	0.895	13.36
	第 2 轮	25.5	7.84	7.52	0.099	0.247	0.341	0.687	10.93
	第 3 轮	19.8	8.53	7.87	0.084	0.283	0.865	1.231	16.21
2#	第 1 轮	30.1	6.47	5.00	0.102	0.093	0.134	0.329	12.57
	第 2 轮	26.6	8.08	8.03	0.018	0.143	0.132	0.293	13.72
	第 3 轮	21.2	8.25	8.00	0.049	0.156	0.820	1.025	14.78
3#	第 1 轮	30.2	6.95	3.69	0.106	0.127	0.558	0.790	13.22
	第 2 轮	25.8	7.77	7.47	0.306	0.182	0.323	0.880	14.88
	第 3 轮	20.0	8.18	5.78	0.063	0.135	0.753	0.950	15.37
4#	第 1 轮	29.6	7.11	4.52	0.221	0.982	0.327	1.530	8.21
	第 2 轮	26.9	7.46	6.14	0.057	0.716	0.808	1.581	9.78
	第 3 轮	20.5	7.65	6.27	0.123	1.692	0.650	2.464	10.96
5#	第 1 轮	28.7	7.43	5.44	0.013	0.213	0.086	0.312	6.35
	第 2 轮	27.6	8.01	7.90	0.128	0.286	0.388	0.802	9.36
	第 3 轮	21.9	8.19	7.88	0.123	1.065	0.869	2.057	12.15

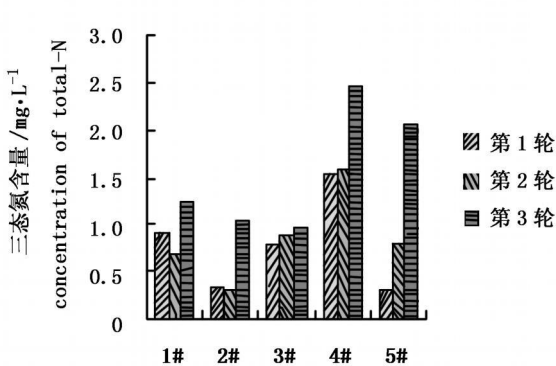


图 1 三态氮变化曲线

Fig. 1 Concentrations of NH₄-N, NO₂-N and NO₃-N

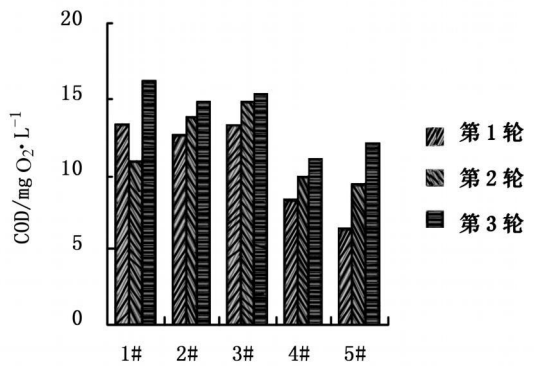


图 2 COD 变化曲线

Fig. 2 Concentrations of chemical oxygen demand

2.2 水质综合评价指数

实验水质综合指数由 pH、三态氮总量和 COD 等 3 个指标求得, s_i 分别取上述三因子各自总体的平均值。从表 3 中可以看出, 除 1# 塘外因病在第 2 轮停止投饵, 各塘水质综合评价指数均逐轮增加, 说明随着养殖的不断进行, 半封闭养殖池

塘水环境逐渐恶化。若以每轮综合评价指数为一总体, 进行单尾方差分析, 可以看出, 第 3 轮水质综合评价指数与前两轮差异显著, 而第 1 和第 2 轮差异不明显, 这表明, 随着养殖时间的延长, 池塘水质整体发生了较大变化, 水环境发生漂移, 池塘缓冲能力碍逐步下降。

表 3 水质综合指数 PI 和 PFU 原生动动物群落参数

Tab. 3 Water quality index and PFU protozoan community parameter

	塘号 pond number														
	1#			2#			3#			4#			5#		
轮次 experiment times	1th	2nd	3rd	1th	2nd	3rd	1th	2nd	3rd	1th	2nd	3rd	1th	2nd	3rd
水质综合指数 PI water quality index	0.98	0.86	1.20	0.73	0.82	1.09	0.91	1.02	1.08	1.02	1.10	1.41	0.59	0.86	1.34
原生动动物种类数 protozoan species	17	20	12	27	19	12	19	15	16	21	16	13	24	21	16
原生动动物数量 protozoan No. ($\cdot \text{mL}^{-1}$)	1593	433	308	936	605	2313	868	694	2471	1233	561	786	619	860	1403
多样性指数 d diversity index	2.17	3.13	1.92	3.80	2.81	1.42	2.66	2.14	1.92	2.81	2.37	1.80	3.58	2.96	2.07

2.3 PFU 原生动动物群落

整个实验过程共检测到原生动动物 116 种, 其中鞭毛虫 61 种, 肉足虫 9 种, 纤毛虫 46 种(表 4)。各池塘每轮原生动动物种类、单位体积数量及多样性 d 值见表 3。从表中可以看出, 1# 塘原生动动物多样性在第 2 轮有所升高, 而其余各塘原生动动物多样性指数均逐轮减少, 同时还可以看出, 水质综

合评价指数高的轮次原生动动物多样性差。从图 3 可以比较得出 1#、2# 池塘原生动动物多样性指数在 3 轮实验中变化幅度最大, 1# 塘原生动动物多样性在发病期间升高然后又逐渐减少, 而 2# 塘原生动动物多样性从最大值下降到最低; 3#、4# 原生动动物多样性变化幅度相对较小, 下降趋势平缓。

表 4 鳊塘原生动动物名录

Tab. 4 Species list of protozoan communities of different experiment ponds

原生动动物种类名录 name of protozoan species	原生动动物种类名录 name of protozoan species	原生动动物种类名录 name of protozoan species
气球屋滴虫 <i>Oikomonas termo</i>	葡萄异鞭藻 <i>Anisonema acinus</i>	双环栉毛虫 <i>Dilinium nasutum</i>
方形屋滴虫 <i>Oikomonas quadrata</i>	尖细异丝虫 <i>Heteronema acus</i>	纺锤斜吻虫 <i>Enchelydium fusideni</i>
屋滴虫 sp. <i>Oikomonas</i> sp.	弯曲袋鞭藻 <i>Peranema deflexum</i>	克氏裂口虫 <i>Amphileptus alparedei</i>
马索隐藻 <i>Cryptomonas marssonii</i>	三角袋鞭藻 <i>Peranema trichophorum</i>	薄漫游虫 <i>Litonotus lamella</i>
卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	中华叶衣藻 <i>Lobomonas sinensis</i>	龙骨漫游虫 <i>Litonotus lamella</i>
尖尾蓝隐藻 <i>Chromonas aestiva</i>	轮状衣藻 <i>Lobomonas tornensis</i>	片状漫游虫 <i>Litonotus fasciola</i>
啮齿隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>	眼虫 <i>Englena</i> sp. 1	齿脊肾形虫 <i>Cophoda cucullius</i>
扇形裸口藻 <i>Ganyastomum depressum</i>	眼虫 <i>Englena</i> sp. 2	似肾形虫 <i>Cophoda simulans</i>
裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	眼虫 <i>Englena</i> sp. 3	肾状肾形虫 <i>Cophoda reniformis</i>
奇异裸甲藻 <i>Gymnodinium paradoxum</i>	眼虫 <i>Englena</i> sp. 4	沟刺斜管虫 <i>Chilodonella uncinata</i>
外穴裸甲藻 <i>Gymnodinium excavatum</i>	眼虫 <i>Englena</i> sp. 5	斜管虫 <i>Chiladontopsis</i> sp.
光薄甲藻 <i>Glenodinium gymnodinium</i>	实球藻 <i>Pandorina morum</i>	太阳球吸管虫 <i>Sphaerophrya soliformis</i>
梭形裸藻 <i>Euglena acus</i>	梨形四鞭虫 <i>Tetramitus pyriformis</i>	珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i>
屈膝裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	狭隘波豆虫 <i>Balo angustus</i>	似膜袋虫 <i>Cyclidium simulans</i>
鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i>	慢行波豆虫 <i>Balo rapens</i>	居中膜袋虫 <i>Cydidium centrale</i>

续表 4

原生动物种类名录 name of protozoan species	原生动物种类名录 name of protozoan species	原生动物种类名录 name of protozoan species
宽扁裸藻 <i>Euglena pleuronestes</i>	易变波豆虫 <i>Balo variabilis</i>	点钟虫 <i>Vorticella picta</i>
三星裸藻 <i>Euglena reistelia</i>	侧扁波豆虫 <i>Balo compressus</i>	似钟虫 <i>Vorticella similis</i>
衣裸藻 <i>Euglena chlamydotheca</i>	球波豆虫 <i>Balo globosus</i>	钟虫 <i>Vorticella</i> sp. 1
尖尾裸藻 <i>Euglena oxyuris</i>	舞行波豆虫 <i>Balo uncinatus</i>	钟虫 <i>Vorticella</i> sp. 2
刺鱼状裸藻 <i>Euglena gasterosteus</i>	卵形波豆虫 <i>Balo ovatus</i>	带核喇叭虫 <i>Stentor roeseli</i>
编织鳞孔藻 <i>Lepocindis texta</i>	波豆虫 <i>Balo</i> sp.	绿急游虫 <i>Strombidium viride</i>
伪编织鳞孔藻 <i>Lepocindis pseudotexta</i>		粗圆纤虫 <i>Strongylidium crassum</i>
尖尾扁裸藻 <i>Phacus acuminatus</i>	大变形虫 <i>Amoeba proteus</i>	尾拟瘦尾虫 <i>Paruroleptus caudatus</i>
扭曲扁裸藻 <i>Phacus tortus</i>	蛞蝓囊变形虫 <i>Saccamoeba limax</i>	肌拟瘦尾虫 <i>Paruroleptus musculus</i>
扁裸藻 <i>Phacus pyrnum</i>	瓶砂壳虫 <i>Difflugia urceolata</i>	伪尖尾虫 <i>Oxytricha fallax</i>
圆形扁裸藻 <i>Phacus pleuronestes</i>	叉口砂壳虫 <i>Difflugia gramen</i>	贻贝棘尾虫 <i>Stylonychia mytilus</i>
长尾扁裸藻 <i>Phacus longicauda</i>	轴丝光球虫 <i>Actinophaerium eichhorni</i>	背状棘尾虫 <i>Stylonychia notophora</i>
梨形扁裸藻 <i>Phacus pyrnum</i>	苍白刺日虫 <i>Raphidiophrys pallida</i>	背状棘尾虫 <i>Stylonychia notophora</i>
棘刺囊裸藻 <i>Trachelomonas hispida</i>	河流松叠虫 <i>Pinaciophora flaviatilis</i>	似织毛虫 <i>Histiculus similis</i>
细粒囊裸藻 <i>Trachelomonas granulosa</i>	短刺刺胞虫 <i>Acanthocystis brevicirrhis</i>	腹毛目 sp. 1
相似囊裸藻 <i>Trachelomonas similis</i>	变形虫 <i>Amoebae</i> sp.	腹毛目 sp. 2
密集囊裸藻 <i>Trachelomonas crebea</i>		腹毛目 sp. 3
河生陀螺藻 <i>Stromomonas fluviatilis</i>	细颈颈毛虫 <i>Trachelocerca tenuicollis</i>	有肋 纤虫 <i>Aspidisca costata</i>
短鞭卡克藻 <i>Khawkinea breuflagellata</i>	条纹喙纤虫 <i>Loxodes striatus</i>	阔口游仆虫 <i>Euplotes curystomus</i>
弯曲变胞藻 <i>Astasia curvata</i>	大喙纤虫 <i>Loxodes magnus</i>	伍氏游仆虫 <i>Euplotes woodruffi</i>
螺旋杆胞藻 <i>Rhablomonas spiralis</i>	腔裸口虫 <i>Holophrya simplex</i>	近亲游仆虫 <i>Euplotes affinis</i>
弦月藻 <i>Menoidium pellucidum</i>	毛板壳虫 <i>Coleps hirtus</i>	阔口游仆虫 <i>Euplotes curystomus</i>
瓣胞藻 <i>Petalomonas maliocanellata</i>	多变斜板虫 <i>Plagiocampa mutabilis</i>	游仆虫 <i>Euplotes</i> sp.
微小瓣胞藻 <i>Petalomonas pusilla</i>	卑怯管叶虫 <i>Trachelophyllum pusillum</i>	
内卷瓣胞藻 <i>Petalomonas involuto</i>	小单环带毛虫 <i>Didinium balbianianum</i>	

2.4 综合指数与多样性指数的相关和回归分析

从上述水质综合评价指数和原生动物多样性的结果可以看出, 水质综合评价指数和原生动物多样性在评价鳊塘水质上具有一致性, 为研究它们之间的关系, 对综合指数与多样性指数进行相

关和回归分析。以水质综合评价指数 PI 为横坐标, 多样性指数为纵坐标作图(图4)。根据曲线趋势, 结合有关资料, 确定曲线类型为对数曲线, 回归方程为

$$y = a + bx$$

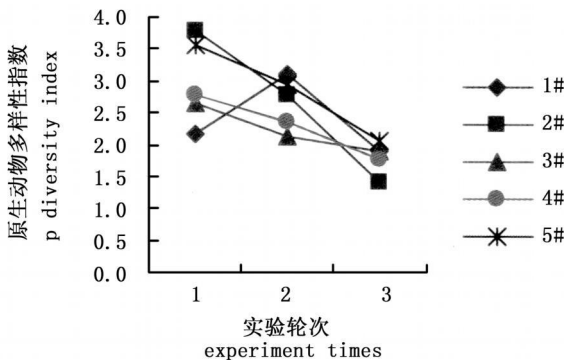


图3 原生动物多样性指数变化折线图

Fig.3 Variation of protozoan community diversity index in ponds for the culture of *S. chuatsi*

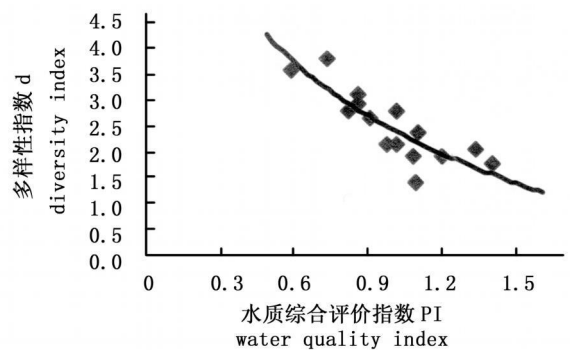


图4 多样性指数与综合指数关系图

Fig.4 The relationship between diversity index and water quality index

相关性分析 令 $\ln x = X$, 则原方程变为 $y = a + bx$, 并将表 3 中相关数据转换成表 5。通过对表 5 中数据的统计计算, y 与 X 之间的直线相关性系数 $r = -0.849$, y 与 X 之间的直线相关性系数 $r = -0.826$, 因此, 我们取前者为优, 计算结果还表明 x 与 y 之间为负相关, 即水质综合指数越

高, 则原生物多样性指数越低。通过检验, y 与 X 之间的直线相关性系数 $r = -0.849$ 在 0.01 水平上具有极显著意义 ($P < 0.01$), 也就是说水质综合评价指数与原生物多样性指数之间的对数函数关系十分密切。

表 5 对数转换结果

Tab. 5 The results of logarithmic transformation

	运算结果 the result														
$x(Pf)$	0.98	0.86	1.20	0.73	0.82	1.09	0.91	1.02	1.08	1.02	1.10	1.41	0.59	0.86	1.34
$y(d)$	2.17	3.13	1.92	3.80	2.81	1.42	2.66	2.14	1.92	2.81	2.37	1.80	3.58	2.96	2.07
$X(\ln x)$	-0.020	-0.151	0.182	-0.315	-0.918	0.06	-0.094	0.020	0.077	0.020	0.095	0.343	-0.528	-0.151	0.293

回归分析 将表 5 中 $X(\ln x)$ 、 y 进行直线回归计算可得方程 $y = a + bx$ 。其中 $a = 2.45$, $b = -2.54$, 将 a 、 b 分别代入方程, 则 $y = 2.45 - 2.54X$, 即回归方程为: 其中, $y = 2.45 - 2.54 \ln x$, y 为 PFU 原生物多样性指数; x 为水质综合评价指数。

采用 F 检验, 检验回归系数 b 是否有显著性。曲线方程方差分析结果见表 5。 $F = 33.641$, 查 F 值表可知 $F_{0.05}(1, 13) = 4.67$, $F_{0.01}(1, 13) = 9.07$, $F > F_{0.01}(1, 13)$, 可见 y 与 $\ln x$ 的线性回归极显著, 这与相关性检验的结果是一致的。因此, 鳊塘原生物多样性指数与水质综合指数成对数函数关系, 且具有极显著意义。

表 6 回归曲线方程方差分析结果

Tab. 6 Analysis of variance

变异来源 model	df	平方和 sum of squares	均方 mean square	F
总变异 total	14	0.724		
回归 regression	1	0.522	0.522	33.641
剩余 residual	13	0.202	0.016	

3 讨论

3.1 水质综合评价

目前, 在水环境综合评价方面使用的方法主要有综合指数法、模糊判断、灰色系统聚类 and 人工神经网络法^[8]。本文采用综合指数法对鳊塘水环境进行综合评价, 并将“系统分析法”和“文献资料

分析优选法”相结合对所需要的理化指标进行筛选。在常规养殖中温度、溶解氧、pH、氨氮和亚硝酸氮是影响鱼类健康的主要水环境因子; 硝酸氮是 H_2S 存在与否的间接指标, 同时硝酸氮、亚硝酸氮和氨氮是养殖水体中可溶性氮的主要形式; COD 是养殖水体有机物质含量的常用指数^[9], 但由于养殖模式的原因, 气温不受人控制, 同时溶解氧有另外的评价模式^[8], 本实验水质综合评价模型的建立采用 pH、“三态氮”总量和 COD 为评价指标, 这与环境评价中所选用的指标有所差别。实验结果表明随着养殖的不断进行, 鳊塘水体综合评价指数逐渐升高, 且第 3 轮水质综合评价指数总体水平比前两轮高, 这表明在半封闭养殖模式下, 随着鳊摄食量和排泄量加大, 养殖所产生的污染逐渐超过池塘自身的净化能力, 池塘中 TN 和有机物质逐渐累积且速度越来越快, 池塘水质在养殖后期整体恶化, 连作障碍逐步形成。从实验结果来看, 所选用的理化因子能够反应水质的基本情况, 但需进一步验证, 从而选出更具代表性的理化因子来对水质进行综合评价。

3.2 原生物多样性评价鳊塘水质

在水质的监测中, PFU 群集的原生物多样性种类数多寡、群集速度、群落 Margalef 多样性指数 d 等能对水质起到很好的评价和指示作用^[10, 11]。许木启等^[12]、徐润林等^[13]研究均表明多样性指数与江河湖泊水质也有很好的相关关系。阳承胜^[10]等在利用 PFU 原生物多样性群落监测铅锌尾矿人工湿地废水净化效能的研究中发现原生物多样性种类数、密度、多样性指数和集群速度与各污染物密度成负相关关系, 其中以生物多样性指数与系数

r 值为最大, 更能有效地指示水体污染状况。本次实验选用原生动物多样性指数对水质进行评价, 实验结果表明, 随着养殖的进行, 除 1# 塘在第二轮外, 其余实验塘原生动物群落多样性指数均逐轮减少, 间接说明在养殖过程水质发生了变化, 使原生动物群落受到损伤。

原生动物群落结构主要受温度、溶解氧、饵料细菌等影响, 始终处于交替演变状态, 原生动物的优势种也随着季节的变化而演变^[14], 但在自然条件下, PFU 原生动物群落的种类, 多样性等结构和功能参数不受季节变化的影响^[15], 因此, 环境的变化是原生动物多样性发生变化的主要原因, 从而可以利用原生动物群落多样性来评价鳊塘水质状况及整个养殖过程中水质的变化。本次实验结果证明了 PFU 原生动物多样性能够很好地反映鳊塘水质, 其与水质综合评价指数成极显著负相关关系, 水质越好, 水质综合指数越低, 原生动物多样性指数值就越高。

3.3 鳊疾病与原生动物多样性关系的初步探讨

环境发生恶化时, 原生动物群落会受到损伤, 多样性减少^[3], 环境恶化也会对鱼体产生胁迫作用, 使鱼体对病原的敏感性升高^[9]。Liebmann^[16]曾指出, 一种生物的结构越简单、个体越小、相对的表面积就越大、对周围介质的化学作用的体表保护性就越不完善, 对环境变化就越敏感。与较高等动物相比, 单细胞的原生动物更密切地与它们所生存的水环境相接触, 对水环境变化具有更短、更迅速的反应时间^[3]。在鳊塘水体中, 原生动物对环境变化的反应时间比鳊要短, 因此可以利用原生动物和鱼类对水环境变化的反应时间差进行鳊疾病预报预测。本次实验发现, 两个发病塘(1#、2#)原生动物多样性变化幅度最大, 由此可以推论出原生动物多样性的变化与疾病的发生存在一定的关系, 这为今后的预报预测模型的建立打下了基础, 但由于本次实验目的主要是研究水质和原生动物多样性的关系, 因此原生动物多样

性变化与疾病发生的关系还有待在今后的实验中进一步研究。

参考文献:

- [1] Klinger H, Delventhal H, Hilge V. Water quality and stocking density as stressors of channel catfish[J]. *Aquac*, 1983, 30: 263 - 272.
- [2] 赖子尼, 石存斌, 吴淑勤, 等. 鳊塘水体理化因子昼夜变化及相关性研究[J]. *大连水产学院学报*, 2001, 16(1): 61 - 66.
- [3] 沈韞芬, 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.
- [4] Margalef D R. Information theory in ecology, *Men. Real. Acal*, 3rd[M]. Ser Barcelona, 1957. 32: 374- 449.
- [5] 陈佳荣. 水化学实验指导书[M], 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [6] 国家环境保护局. 地面水环境质量标准[S], 1988.
- [7] 陶 澍. 应用数理统计方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [8] 李曰嵩. 长江口生态环境现状综合评价[D]. 上海: 上海水产大学学位论文, 2002.
- [9] 林文辉(译). 池塘养殖底质[M]. 广东: 广东科技出版社, 2004.
- [10] 阳承胜, 柬文圣, 徐润林, 等. 利用 PFU 原生动物群落监测铅锌尾矿人工湿地废水净化效能[J]. *环境污染与防治*, 2000, 22(5): 20- 22.
- [11] 许木启, 翟家骥, 邵水怡. 利用 PFU 原生动物群落多样性快速监测北京通惠河水水质[J]. *动物学杂志*, 1998, 33(4): 1- 7.
- [12] 许木启, 朱 江, 曹 宏. 白洋淀原生动物群落多样性变化与水质关系研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1114 - 1120.
- [13] 徐润林, 白庆笙, 谢瑞文. 珠江广州市段 PFU 原生动物群落特征及其与水质的关系[J]. *生态学报*, 2002, 24(4): 479 - 485.
- [14] 宋微波, 成效吉, 刘桂荣, 等. 青岛小西湖春季原生动物生态的初步研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1993, 23(3): 99 - 106.
- [15] 范晓鹏, 沈韞芬. 环境因素对原生动物群落特征的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(6): 554- 557.
- [16] Liebmann H. *Handbuch der Frishwasser und A bwasser- Biologie* 1.1 Auf[M]. Verlay Oldenbourg, M nchen, 1951.