

珠江河口区罗非鱼养殖池塘中浮游微藻的群落特征

彭聪聪, 李卓佳*, 曹煜成, 文国樑, 刘孝竹, 胡晓娟

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

摘 要:2009年5月至11月,在广州市番禺区海鸥岛对6口罗非鱼河口养殖池塘的微藻群落结构和水质因子进行定期采样分析,共检出微藻7门157种,其中绿藻67种,蓝藻34种,硅藻18种,甲藻5种,隐藻3种,裸藻28种,金藻2种。各池微藻优势种种类丰富,但不同门类优势种单胞体积差异较大,其中:数量优势种多为蓝藻类的威利颤藻、点形平裂藻、褐色念珠藻、圆胞束球藻、坚实微囊藻、不定微囊藻等和绿藻类的蛋白核小球藻、镰形纤维藻、空星藻等;生物量优势种多为裸藻类的鱼形裸藻、秋鳞孔藻、琵琶扁裸藻、扭曲扁裸藻、糙膜陀螺藻和甲藻类的加顿多甲藻、多纹膝沟藻以及隐藻类的啮蚀隐藻、具尾蓝隐藻等;卷曲螺旋藻既是数量优势种又是生物量优势种。微藻数量和生物量在养殖前中期增加较快,物种多样性丰富,后期多呈较低水平,物种多样性也逐渐下降。养殖前中期各池微藻数量范围为 $(0.59\sim72.85)\times10^7 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$,生物量范围为 $1.12\sim114.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,多样性指数平均为2.98;养殖后期微藻数量范围为 $(16.29\sim67.37)\times10^7 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$,生物量范围为 $6.57\sim67.76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,多样性指数平均为2.78。各池微藻数量或生物量多与COD、DIN等营养因子呈显著正相关关系。罗非鱼也可通过滤食作用有效影响池塘微藻群落结构和水质因子的变动。

关键词:罗非鱼;珠江河口区;养殖池塘;浮游微藻;群落

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)09-2019-12

The Community Characteristics of Planktonic Microalgae in *Tilapia*'s Culture Ponds Near the Pearl River Estuary

PENG Cong-cong, LI Zhuo-jia*, CAO Yu-cheng, WEN Guo-liang, LIU Xiao-zhu, HU Xiao-juan

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The continual and regular surveys on the planktonic microalgae community were conducted in six *Tilapia*'s culture ponds in Panyu District, Guangzhou, Guangdong Province from May to November, 2009. The results showed that a total of 157 planktonic microalgae species were identified during the culture period. Among them, 67 species were Chlorophyta, 34 were Cyanophyta, 18 were Bacillariophyta, 5 were Dinophyta, 3 were Cryptophyta, 28 were Euglenophyta, 2 were Chrysophyta. The dominant species in every ponds were rich but composition was complex, and there were large differences among the cell volume of the different dominant species. The dominant species which take the advantage of the microalgae's density were *Oscillatoria willei*, *Merismopedia punctata*, *Nostoc fuscescens*, *Gomphosphaeria aponina*, *Microcystis firma*, *Microcystis incerta*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Coelastrum sphaericum* and so on. Moreover, the dominant species which just take the advantage of the microalgae's biomass were *Euglena pisciformis*, *Lepocinclis autumnalis*, *Phacus platealea*, *Phacus tortus*, *Strombomonas schauinslandii*, *Peridinium gatunense*, *Gonyaulax polygramma*, *Cryptomonas ovata*, *Chroomonas caudata* and so on. *Spirulina spirulinoides* was not only the dominant species in number but also in biomass. In the early and middle period, the microalgae density and biomass increased rapidly. Moreover, the microalgae diversity was rich and the community was stable. But in the latter, most of them were often lower. During the early and middle culture period, the range of the quantities of microalgae, the biomass and the diversity index average were $(0.59\sim72.85)\times10^7 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$, $1.12\sim114.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and 2.98, respectively. However, in the final phase, the microalgae density, the biomass and the diversity index average ranged from $(16.29\sim67.37)\times10^7 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$, $6.57\sim67.76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and 2.78. The microalgae density and

收稿日期:2012-03-23

基金项目:现代农业(虾)产业技术体系建设专项资金(CARS-47);国家自然科学基金(30800851);广东省鱼病防治专项(2130108);南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研专项(2010YD05)

作者简介:彭聪聪(1985—),男,河南信阳人,硕士,从事养殖生态环境调控研究。E-mail:congcong430@163.com

* 通信作者:李卓佳 E-mail:zhuojiali609@163.com

biomass in ponds usually appeared significant positive correlation with some environmental factors, such as COD, DIN, etc. *Tilapia* could also effectively influence the changes of microalgae community structure and water quality factors in the ponds by filtering feeder's effect.

Keywords: *Tilapia*; Pearl river estuary; culture pond; planktonic microalgae; community

微藻对养殖水环境有着重要的调节作用,是营造池塘良好水色和合适透明度的基础,是调节水体溶解氧、营养盐的重要参与者。关于鱼类养殖中微藻的变动对水质以及养殖的影响早有学者关注,如 Krom 等^[1]观察到浮游植物的变动周期与池塘的富营养化程度有关,Neori、Tatrai 和 Sondergaard 等^[2-4]观察到浮游植物变动与池塘水质和动物摄食有关,近年来国内一些学者^[5-7]也开展了对水库、湖泊、盐碱地池塘浮游植物生产力等的研究,但是对于河口区罗非鱼养殖池塘浮游微藻变动规律和影响因素的研究还比较少见。本研究选择在珠江三角洲河口地带罗非鱼养殖密集区开展罗非鱼养殖池塘微藻群落特征的研究,探讨养殖池塘藻相的演替规律以及与环境因子的关系,期望能为罗非鱼养殖池塘的藻相和水质调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点及养殖情况

在广州市番禺区海鸥岛新一代渔业有限公司沙北养殖场选取 6 口罗非鱼养殖池塘进行采样检测,编号为 A1、A2、B1、B2、C1、C2 池,池塘四周布设 4 台水车式增氧机。养殖水源取自附近河流淡水,经过滤、沉淀、消毒等处理,水体盐度为 0~1。养殖前期水深为 1.1~1.3 m,随着养殖进行,水位升高,中期达到 1.6~1.8 m,后期为 1.8~2 m。C2 池 2009 年 8 月 8 日发现有部分死亡鱼体。养殖池塘基本情况见表 1。

1.2 微藻样品的采集与处理

从 2009 年 5 月 26 日至 11 月 10 日,每隔 28 d 对 6 口罗非鱼池微藻进行采样分析。采样时,在每池

四周及中央水下约 1 m 处用 2.5 L 采水器各采水样 1 份,充分混匀,取 1 L 倒入聚乙烯塑料瓶,加入 5% 甲醛溶液固定,静置浓缩 24~48 h 后,在显微镜下于 0.1 mL 浮游植物计数框中鉴定。

1.3 水样的采集与检测

微藻采样的同时,按不同的理化指标分装混合水样,并迅速将一些需要处理样品按要求于 2~4 ℃ 冷藏,带回实验室后采用分光光度法检测。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 用次溴酸盐氧化法测定, $\text{NO}_3\text{-N}$ 用镉柱还原法测定, $\text{NO}_2\text{-N}$ 用萘乙二胺分光光度法测定,IN 指标是以上三氮之和。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 用磷钼蓝分光光度法测定,COD 采用重铬酸盐法测定,TN 用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,TP 用钼酸铵分光光度法测定。

1.4 浮游微藻样品分析

在光学显微镜下,依照《中国淡水藻类》、《藻类学》、《中国淡水藻志》等^[8-10]资料对微藻进行定性鉴定与定量计数。

多样性分析^[11]:

Shannon-wiener 数量多样性指数

$$Hq' = - \sum_{i=1}^S Q_i \log_2 Q_i$$

$$\text{生物量多样性指数 } Hb' = - \sum_{i=1}^S B_i \log_2 B_i$$

优势度分析:

数量优势度 $Y = Q_i \cdot f$

生物量优势度 $Y' = B_i \cdot f$

上述各式中: $Q_i = n_i / N$ (n_i 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数), Q_i 为第 i 种个体数占总个体数

表 1 池塘基本情况

Table 1 Basic condition of *Tilapia*'s ponds

项目 Items	A1 pond	A2 pond	B1 pond	B2 pond	C1 pond	C2 pond
面积 Culture area/hm ²	1.2	1.2	1.2	1.2	0.87	0.87
放苗日期 Stocking date	2009-05-26	2009-05-26	2009-05-21	2009-05-21	2009-05-17	2009-05-17
鱼苗规格 Fry specification/g·per ⁻¹	64	64	1~2	1~2	15~20	15~20
放苗数量 Stocking number(ones)	16 250	12 480	30 000	30 000	20 000	35 100
养殖结束日期 End date	2009-12-03	2009-11-23	2009-11-16	2009-11-15	2009-10-23	2009-12-07
收获量 Harvest/kg	9 147.3	6 774.5	15 771	14 526.5	17 931.1	18 697.2
收获规格 Harvest specification/g·per ⁻¹	660.7	610	550	550	610	650

的比例; B_i 为第*i*种微藻生物量占总生物量的比例; S 为群落中物种数; f 为该种在该地区出现的频率,一般视为常值1。

生物量的计算是在显微镜检视中用目微尺实测藻体长度、宽度、厚度等,然后依据微藻细胞的形状拟合模型计算出藻体的体积,再乘以微藻的比重换算为微藻的生物量^[12],其中微藻单胞体积的拟合计算是在选取多个微藻细胞基础上去除最大值和最小值后取均值所得。

把每次取样中微藻数量或生物量占总量的比例在10%以上的确定为优势种,在1%~10%范围内定为常见种,在1%以下或者只在个别水样中出现的定为稀有种^[13]。

2 结果与分析

2.1 水质因子的变化动态

养殖期间池塘的透明度约为9~33 cm,整体呈下降趋势,水质因子的动态变化如图1所示。水温在18~32.6℃之间,前中期随养殖进行逐渐升高,于9月15日以后下降到27℃左右;DO含量为2.26~14.8 mg·L⁻¹,pH为7.4~8.9,均呈现波动性变化;COD变化范围为17~117 mg·L⁻¹,逐渐升高;TN变化范围为0.26~5.24 mg·L⁻¹,总体呈升高趋势;TP变化范围为0.077~6.76 mg·L⁻¹,养殖后期快速升高。NH₄-N含量0.02~3.5 mg·L⁻¹,NO₂-N含量0.003~0.489 mg·L⁻¹,NO₃-N含量0.006~3.26 mg·L⁻¹,PO₄-P含量0.01~0.012 mg·L⁻¹(养殖后期多低于0.01 mg·L⁻¹)。

2.2 微藻种类组成

微藻种类组成及其丰富度见表2。共鉴定出微藻7门157种,其中绿藻67种、蓝藻34种、硅藻18种、甲藻5种、隐藻3种、裸藻28种、金藻2种。蓝藻、裸藻、绿藻多为常见种和优势种,种类较多;甲藻、隐藻、硅藻、金藻门的一些种类也较常见,其个别种类也有演替为优势种。

2.3 微藻数量变动

如图2所示,各池养殖前中期微藻数量在(0.59~72.85)×10⁷ ind·L⁻¹之间,后期达到(16.29~67.37)×10⁷ ind·L⁻¹。各池微藻数量在养殖前中期均呈现快速增长趋势,至7月21日形成高值,随后出现显著下降或缓慢增长;后期各池微藻数量变动特征差异较显著,其中B1、C1池出现明显下降,而B2、C2池有一定程度升高,但各池微藻的数量基数水平均较低。

各池蓝藻类数量占总量的百分比在不同养殖阶

段均呈现很高比例,多达到总量的80%以上,显示罗非鱼养殖池塘的微藻群落以蓝藻种类为绝对数量优势。

2.4 微藻生物量变动

如图3所示,各池养殖前中期微藻生物量范围为1.12~114.14 mg·L⁻¹,后期为6.57~67.76 mg·L⁻¹。各池微藻生物量在养殖前期均快速增长,一般在中期达到较高的水平,随后出现一定程度的下降。养殖结束时A1、A2两池微藻生物量增加到最高值,B1、B2两池微藻生物量有所下降。

从各门微藻生物量所占比例看,裸藻是生物量优势门类,在各池塘不同的养殖阶段多处于优势地位,所占比例为15%~90%,显示本研究的罗非鱼养殖池塘微藻群落多是以裸藻类为生物量优势种。甲藻、蓝藻所占生物量比例也较高,对微藻总生物量的贡献较大。绿藻、硅藻生物量在养殖前期阶段有一定优势,随着养殖进行则呈现波动性下降。可以看出,微藻生物量分布不如数量集中。

2.5 微藻优势种的组成

罗非鱼池微藻种类的数量和生物量分布并不均匀,故分别以数量和生物量所占的比例将罗非鱼池微藻优势种类分为数量优势种和生物量优势种。两类优势种类均丰富,其中池塘微藻数量优势种多为蓝藻种类,如威利颤藻、狭细颤藻、点形平裂藻、细小平裂藻、褐色念珠藻、圆胞束球藻、坚实微囊藻、不定微囊藻等,镜检发现它们占有明显的数量优势,但微藻单胞体积较小,对微藻总生物量的贡献较小。此外,绿藻类的蛋白核小球藻、镰形纤维藻等,在养殖前期也成为数量优势种。

各池微藻生物量优势种的组成情况如表3所示,微藻生物量优势种多为裸藻、甲藻和隐藻类,如裸藻门的鱼形裸藻、秋鳞孔藻、琵琶扁裸藻、扭曲扁裸藻、钩状扁裸藻、糙膜陀螺藻等,其中养殖后期裸藻类优势种的种类演替较频。甲藻门的加顿多甲藻、多纹膝沟藻,隐藻门的具尾蓝隐藻和啮蚀隐藻也多次成为生物量优势种。这些微藻种类出现在养殖的各阶段,虽然在群落中数量相对较少,但微藻单胞体积比蓝藻、绿藻类大,所以在微藻总生物量上占有突出的优势地位。微藻生物量是微藻利用池塘营养物质光合作用的结果,对微藻群落和池塘生态系统有着重要影响。可见,仅以微藻数量来确定优势种的方法不足以科学地反映罗非鱼池藻相结构的真实状况,对生物量贡献值的比较也是衡量罗非鱼池初级生产力的重要指标。此

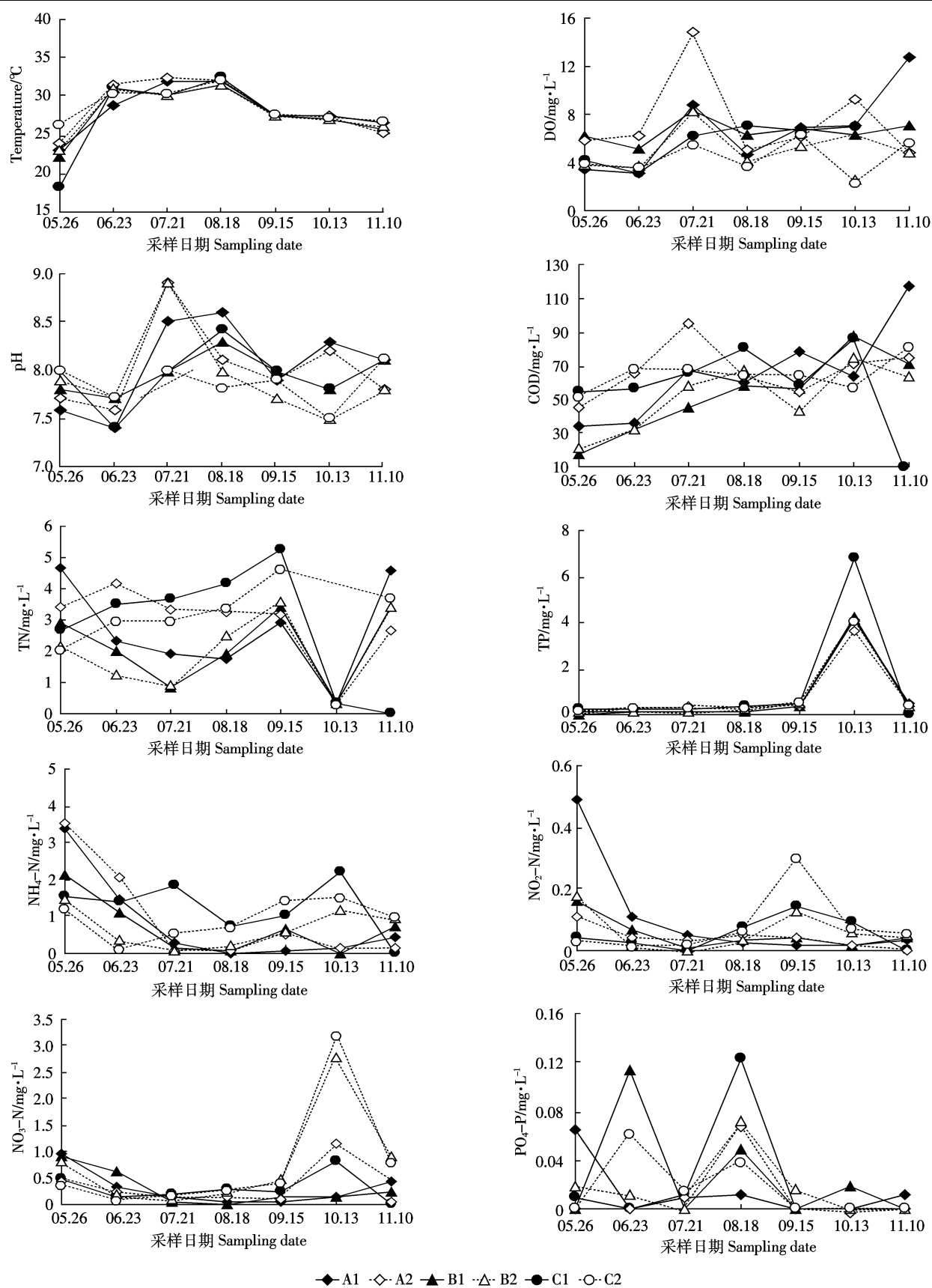


图1 罗非鱼池几种理化因子动态

Figure 1 Changes of some physical and chemical factors in *Tilapia*'s ponds

表 2 罗非鱼池的浮游微藻种类组成

Table 2 Composition of planktonic microalgae species in *Tilapia*'s ponds

种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume/m ⁻³	种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume/m ⁻³
绿藻门 <i>Chlorophyta</i>			易略颤藻 <i>Oscillatoria neglecta</i>		
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	+++	14.14	细微螺旋藻 <i>Spirulina subtilissima</i>	++	1.27
镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	+++	680.67	水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i>	++	65.45
四足十字藻 <i>Crucigenia tetrapedia</i>	++	23.41	柔细颤藻 <i>Oscillatoria subtilissima</i>	++	0.82
显微蹄形藻 <i>K.microscopica</i> Nygaard	++	34.56	居氏腔球藻 <i>Coelosphaerium kützingianum</i>	++	8.18
旋转单针藻 <i>Monoraphidium contortum</i>	++	65.97	坚实微囊藻 <i>Microcystis firma</i>	++	4.12
被甲栅藻 <i>Scenedesmus arcuatus</i>	++	44.89	石栖色球藻 <i>Chroococcus lithophilus</i>	++	220.89
四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	++	75.39	狭小颤藻 <i>Oscillatoria angusta</i>	++	4.71
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	++	87.11	广西颤藻 <i>Oscillatoria kwangsiensis</i>	++	125.66
球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>	++	87.11	多变鱼腥藻 <i>Anabaena variabilis</i>	+	29.68
布朗单针藻 <i>Monoraphidium braunii</i>	++	190.85	中华小尖头藻 <i>Raphidiopsis sinensis</i>	+	8.63
美丽网球藻 <i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	++	65.45	加斯文颤藻 <i>Oscillatoria jasorvensis</i>	+	19.67
异刺四星藻 <i>Tetrastrum heterocanthum</i>	++	18.85	旋折平裂藻 <i>Merismopedia convoluta</i>	+	37.69
螺旋弓形藻 <i>Schroederia spiralis</i>	++	188.49	等长鱼腥藻 <i>Anabaena aequalis</i>	+	62.83
不规则单针藻 <i>Monoraphidium irregulare</i>	++	18.33	喜碳颤藻 <i>Oscillatoria carboniciphila</i>	+	100.53
四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	++	28.27	格式隐球藻 <i>Aphanocapsa grevillei</i>	+	65.45
丰富栅藻 <i>Scenedesmus abundans</i>	++	51.31	高氏隐球藻 <i>Aphanocapsa koordersii</i>	+	14.14
格里佛单针藻 <i>Monoraphidium griffithii</i>	++	73.30	极小集胞藻 <i>Synechocystis minuscula</i>	+	4.19
钝角四角藻 <i>Tetraëdron muticum</i>	++	652.80	球状念珠藻 <i>Nostoc sphaeroides</i>	+	22.45
空星藻 <i>Coelastrum sphaericum</i>	++	143.79	密胞欧式藻 <i>Woronichinia compacta</i>	+	2.14
网球藻 <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	++	65.45	硅藻门 <i>Bacillariophyta</i>		
多突藻 <i>Polyedriopsis spinulosa</i>	+	438.24	孟氏小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	+++	490.87
肥蹄形藻 <i>Kirchneriella obesa</i>	+	42.41	新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	++	288.75
复线四鞭藻 <i>Carteria multifilis</i>	+	77.49	简单舟形藻 <i>Navicula simplex</i>	++	114.86
二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>	+	52.36	舍恩菲尔德舟形藻 <i>Navicula schoenfeldii</i>	++	335.76
细小卵囊藻 <i>Oocystis pusilla</i>	+	133.45	系带舟形藻 <i>Navicula cincta</i>	++	212.06
短刺四星藻 <i>Tetrastrum taurogeniaeforme</i>	+	25.12	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	++	314.16
拟多芒藻 <i>Golenkiniopsis solitaria</i>	+	523.59	意大利直链藻 <i>Melosira italica</i>	+	211.00
三叶四角藻 <i>Tetraëdron trilobulatum</i>	+	63.72	扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>	+	294.52
卷曲纤维藻 <i>Ankistrodesmus convolutus</i>	+	354.42	具星小环藻 <i>Cyclotella stelligera</i>	+	478.62
椭圆小球藻 <i>Chlorella ellipsoidea</i>	+	65.97	微小小环藻 <i>Cyclotella caspia</i>	+	1 767.15
柯氏并联藻 <i>Quadrigula chodatii</i>	+	109.96	条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	+	1 570.79
爪哇栅藻 <i>Scenedesmus javaensis</i>	+	117.29	隐头舟形藻 <i>Navicula cryptocephala</i>	+	381.70
狭形纤维藻 <i>Ankistrodesmus angustus</i>	+	60.82	平滑舟形藻 <i>Navicula laevisima</i>	+	235.61
膨胀四角藻 <i>Tetraëdron tumidulum</i>	+	594.76	短小舟形藻 <i>Navicula exigua</i>	+	214.41
端尖月牙藻 <i>Selenastrum westii</i>	+	56.55	线性舟形藻 <i>Navicula graciloides</i>	+	546.64
双眼鼓藻 <i>Cosmarium bioculatum</i>	+	293.73	范赫尔克舟形藻 <i>Navicula vanheurckii</i>	+	441.79
盘星藻长角变种 <i>Pediastrum biradiatum</i>	+	153.94	极小桥弯藻 <i>Cymbella perpusilla</i>	+	113.09
齿牙栅藻 <i>Scenedesmus denticulatus</i>	+	104.71	细小桥弯藻 <i>Cymbella pusilla</i>	+	67.26
针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>	+	209.43	甲藻门 <i>Dinophyta</i>		
奇异单针藻 <i>Monoraphidium mirabile</i>	+	73.30	加顿多甲藻 <i>Peridinium gatunense</i>	++	4 499.68
小形卵囊藻 <i>Oocystis parva</i>	+	196.35	多纹膝沟藻 <i>Gonyaulax polygramma</i>	++	9 483.68
脐突衣藻 <i>Chlamydomonas umbonata</i>	+	261.79	微小多甲藻 <i>Peridinium pusillum</i>	+	265.07
四棘藻 <i>Treubaria triappendiculata</i>	+	24.97	米氏凯伦藻 <i>Gymnodinium mikimotoi</i>	+	179.07
巴西栅藻 <i>Scenedesmus brasiliensis</i>	+	104.72	真蓝裸甲藻 <i>Gymnodinium eucyaneum</i>	+	2 672.37

表 2(续) 罗非鱼池的浮游微藻种类组成

种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume/m ⁻³	种类 Species	丰富度 Abundance	体积 Volume/m ⁻³
多棘栅藻 <i>Scenedesmus spinosus</i>	+	51.31	隐藻门 <i>Cryptophyta</i>		
华丽四星藻 <i>Tetrastrum elegans</i>	+	4.19	具尾蓝隐藻 <i>Chroomonas caudata</i>	++	1 374.41
加勒比单针藻 <i>Monoraphidium caribeum</i>	+	73.30	嗜蚀隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	++	1 799.87
简单网球藻 <i>Dictyosphaerium simplex</i>	+	113.09	卵形隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>	+	2 948.82
孔纹四星藻 <i>Tetrastrum punctatum</i>	+	41.88	裸藻门 <i>Euglenophyta</i>		
尖细栅藻 <i>Scenedesmus acuminatus</i>	+	26.18	多形裸藻 <i>Euglena polymorpha</i>	++	2 540.19
疏刺多芒藻 <i>Golenkiniopsis paucispina</i>	+	268.08	鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i>	++	2 319.31
二角盘星藻纤细变种 <i>Pediastrum duplex</i>	+	153.94	秋鳞孔藻 <i>Lepocinclis autumnalis</i>	++	8 305.34
三角四角藻 <i>Tetraëdron trigonum</i>	+	105.47	河生陀螺藻 <i>Strombomonas fluviatilis</i>	++	530.13
弓形单针藻 <i>Monoraphidium arcuatum</i>	+	229.27	膝曲裸藻 <i>Euglena geniculata</i>	++	2 353.77
双对栅藻 <i>Scenedesmus bijuga</i>	+	143.99	纤细裸藻 <i>Euglena gracilis</i>	++	1 717.66
整齐四角藻扭曲变种 <i>Tetraëdron regulare</i>	+	74.22	剑尾陀螺藻 <i>Strombomonas ensifera</i>	++	6 220.35
双细胞藻 <i>Dicellula geminata</i>	+	188.49	伪编织鳞孔藻 <i>Lepocinclis pseudo-texta</i>	++	3 337.94
施氏四棘藻 <i>Treubaria schmidlei</i>	+	68.82	奇形扁裸藻 <i>Phacus anomalus</i>	++	5 220.54
四刺微芒藻 <i>Micractinium quadrisetum</i>	+	87.11	琵琶扁裸藻 <i>Phacus platala</i>	++	7 696.67
十字顶棘藻 <i>Lagerheimiella wratislaviensis</i>	+	50.26	扭曲扁裸藻 <i>Phacus tortus</i>	++	8 167.90
长棘藻 <i>Diacanthos belanophorus</i>	+	35.28	纵纹鳞孔藻 <i>Lepocinclis longistriata</i>	++	4 566.30
多瑙河蹄形藻 <i>Kirchneriella danubiana</i>	+	32.99	梭形裸藻 <i>Euglena acus</i>	++	12 026.05
波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i>	+	791.94	皱囊陀螺藻 <i>Strombomonas tambowika</i>	+	11 775.00
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	+	76.96	糙膜陀螺藻 <i>Strombomonas schauinslandii</i>	+	2 147.57
扁球微芒藻 <i>Micractinium depressum</i>	+	143.79	多养扁裸藻 <i>Phacus polytrophos</i>	+	1 884.90
集星藻 <i>Actinastrum hantzschii</i>	+	47.12	钩状扁裸藻 <i>Phacus hamatus</i>	+	9 359.32
蓝藻门 <i>Cyanophyta</i>			纺锤鳞孔藻 <i>Lepocinclis fusiformis</i>	+	5 399.61
威利颤藻 <i>Oscillatoria willei</i>	+++	9.82	矩圆囊裸藻 <i>Trachelomonas oblonga</i>	+	6 383.72
圆胞束球藻 <i>Gomphosphaeria aponina</i>	+++	65.45	皱囊陀螺藻 <i>Strombomonas tambowika</i>	+	11 775.00
不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>	+++	0.52	宽扁裸藻 <i>Phacus pleuronectes</i>	+	34 163.81
狭细颤藻 <i>Oscillatoria angustissima</i>	+++	0.90	梨形扁裸藻 <i>Phacus pyrum</i>	+	1 539.38
顿顶节旋藻 <i>Arthrospira platensis</i>	+++	113.09	爪形扁裸藻 <i>Phacus onyx</i>	+	15 268.14
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	+++	0.52	哑铃扁裸藻 <i>Phacus peteloti</i>	+	15 707.96
点形平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>	+++	5.58	平滑鳞孔藻 <i>Lepocinclis teres</i>	+	7 640.35
卷曲螺旋藻 <i>Spirulina spirulinoides</i>	+++	68.72	椭圆鳞孔藻 <i>Lepocinclis steinii</i>	+	2 090.67
褐色念珠藻 <i>Nostoc fuscescens</i>	+++	33.51	尾棘囊裸藻 <i>Trachelomonas armata</i>	+	3 975.96
绿色颤藻 <i>Oscillatoria chlorina</i>	+++	26.15	细粒囊裸藻 <i>Trachelomonas granulosa</i>	+	2 004.40
栖蕨柱胞藻 <i>Cylindrospermum muscicola</i>	++	47.25	珍珠囊裸藻 <i>Trachelomonas margaritifera</i>	+	13 744.06
微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>	++	65.45	金藻门 <i>Chrysophyta</i>		
粘连色球藻 <i>Chroococcus cohaerens</i>	++	8.18	淡红金粒藻 <i>Chrysococcus rufescens</i>	++	523.59
附生色球藻 <i>Chroococcus epiphyticus</i>	++	1.78	卵形棕鞭藻 <i>Ochromonas ovalis</i>	+	265.07

注:“+++”代表数量优势种;“++”代表常见种;“+”代表稀有种。Note:+. rare species;++. common species;+++. dominant species.

外,金藻类的淡红金粒藻、硅藻类的孟氏小环藻在养殖前期也成为生物量优势种类。

还有一些微藻种类在数量和生物量上均成为优势种,如蓝藻类的绿色颤藻,绿藻类的空星藻、双对栅藻,隐藻类的嗜蚀隐藻等,它们在养殖前期快速滋生,占据优势地位。而蓝藻类的卷曲螺旋藻、顿顶节旋藻

则在养殖中后期向着单一性的方向大量繁殖,优势度可达到 0.38,具有较强的耐污性。

2.6 微藻群落的多样性

Shannon–Wiener 指数反映了池塘微藻群落的生态信息含量大小,可衡量群落抗干扰的能力高低。对 6 个池塘分析来看(表 4),数量多样性指数平均为2.20~

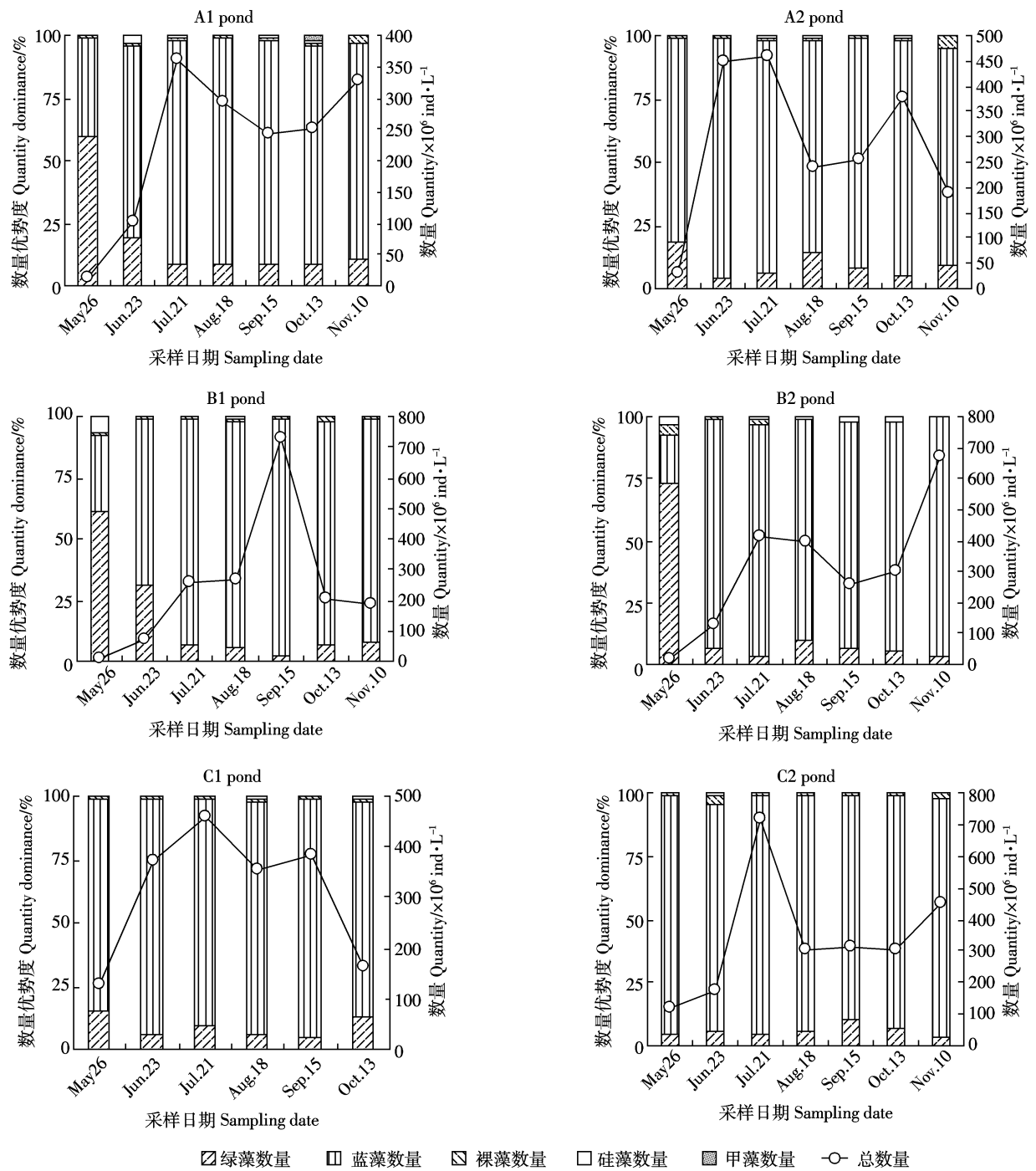


图 2 罗非鱼池浮游微藻数量的变动

Figure 2 Changes of microalgae's biomass in *Tilapia*'s ponds

3.15,生物量多样性指数平均为 2.94~3.32。参照生物多样性阈值(表 5)的比较发现,两种多样性指数等级多为Ⅳ和Ⅴ,反映罗非鱼池微藻多样性丰富,微藻群落结构稳定性较好。其中生物量多样性指数水平相对较高,说明微藻群落对资源的利用更加充分和高效,对抵御外来干扰的贡献能力更高。

各池养殖前期的多样性指数平均值为 3.06,中

期为 2.93,后期为 2.78,说明在养殖前期微藻的物种多样性较丰富,群落结构较为复杂,稳定性较强,而在中后期物种多样性逐渐下降,显示随着微藻优势种类的优势度逐渐升高,微藻群落对环境的反馈能力逐步下降。但 C1 池和 C2 池前期的微藻多样性指数相对较低,显示两池前期的藻相结构相对较为简单。

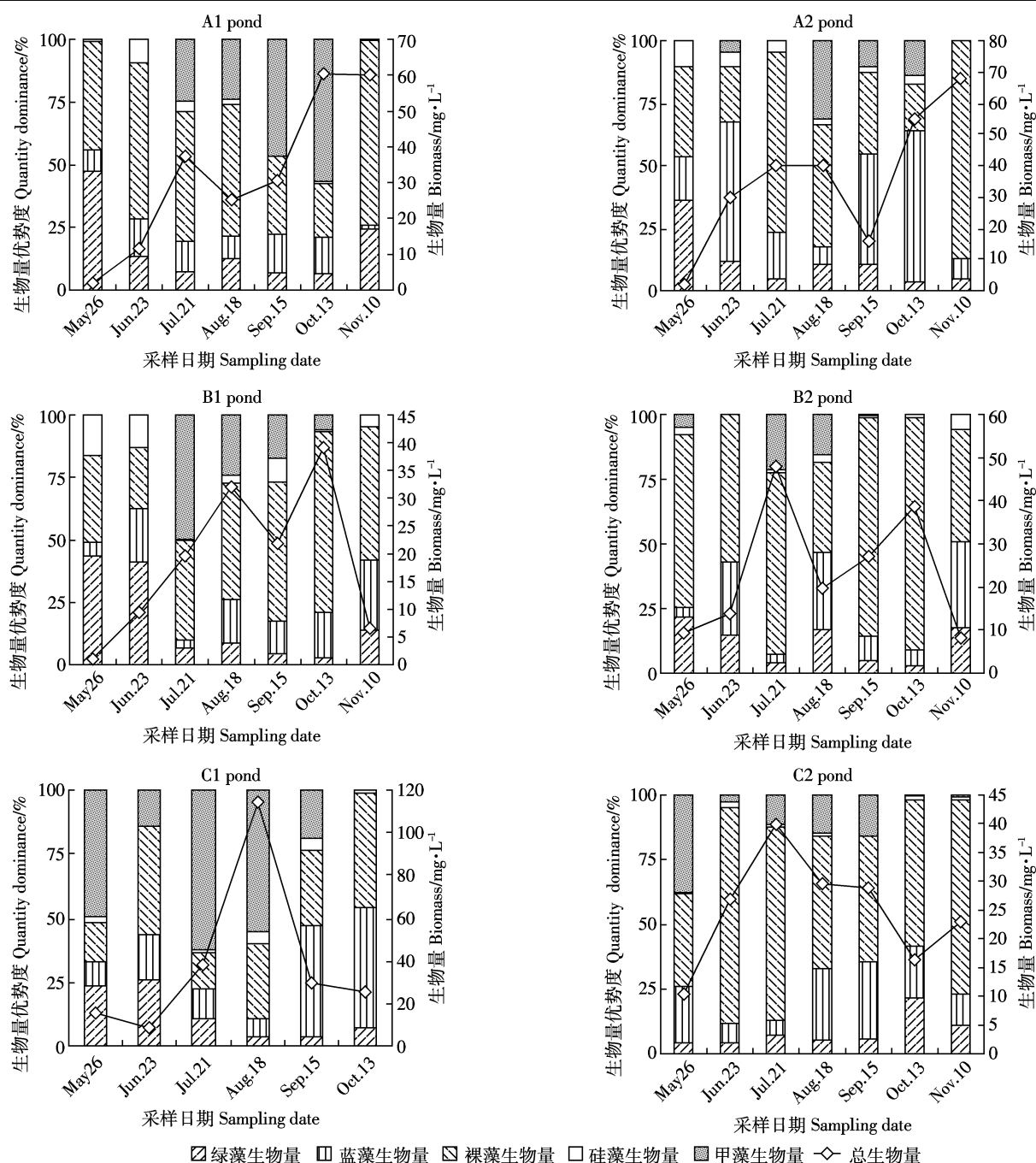


图3 罗非鱼池浮游微藻生物量的变动

Figure 3 Changes of microalgae's quantities in *Tilapia*'s ponds

2.7 微藻与水质因子的相关性分析

对罗非鱼池浮游微藻与水质因子所做的相关性分析表明,不同池塘微藻的总数量和总生物量与理化因子的相关性差异较大,个别池塘微藻与理化因子的相关性不显著。如表6所示,微藻一般与COD、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N等反映营养水平的因子呈显著性相关,如B2池微藻数量、A1池微藻生物量均与COD呈显著性正相关关系,说明两池微藻的繁殖随着养殖池

塘中还原性有机物的升高而不断加强。微藻总数量和生物量与无机三氮水平多呈显著负相关关系,这种情况可能与微藻对无机三氮不同时期的吸收利用造成其水平的消减有关。

3 讨论

研究发现,罗非鱼养殖池塘微藻群落结构复杂,种类丰富,优势种类较多。这主要与罗非鱼河口养殖

表 3 罗非鱼池的微藻生物量优势种的组成

Table 3 Composition of the dominant species about microalgae biomass in *Tilapia's* ponds

Date	A1 pond	A2 pond	B1 pond	B2 pond	C1 pond	C2 pond
May26	空星藻(0.13)# 双对栅藻(0.12)# 琵琶扁裸藻(0.33)	琵琶扁裸藻(0.21) 嗜蚀隐藻(0.12)	具尾蓝隐藻(0.40) 秋鳞孔藻(0.20) 具尾蓝隐藻(0.40)	嗜蚀隐藻(0.16)# 琵琶扁裸藻(0.19)	加顿多甲藻(0.34) 嗜蚀隐藻(0.30) 鱼形裸藻(0.10)	加顿多甲藻(0.34) 鱼形裸藻(0.12)
Jun.23	扭曲扁裸藻(0.27) 嗜蚀隐藻(0.11)	嗜蚀隐藻(0.18) 钝顶节旋藻(0.12)	具尾蓝隐藻(0.44) 淡红金粒藻(0.19)	绿色颤藻(0.68)# 嗜蚀隐藻(0.21) 秋鳞孔藻(0.18)	秋鳞孔藻(0.25) 鱼形裸藻(0.13) 孟氏小环藻(0.12)	纵纹鳞孔藻(0.29) 鱼形裸藻(0.15) 秋鳞孔藻(0.14)
Jul.21	秋鳞孔藻(0.33) 加顿多甲藻(0.22)	秋鳞孔藻(0.47) 鱼形裸藻(0.12)	秋鳞孔藻(0.31) 加顿多甲藻(0.27) 多纹膝沟藻(0.20)	鱼形裸藻(0.42) 秋鳞孔藻(0.13) 多纹膝沟藻(0.11)	加顿多甲藻(0.41)	秋鳞孔藻(0.68) 加顿多甲藻(0.11)
Aug.18	鱼形裸藻(0.19) 嗜蚀隐藻(0.19) 加顿多甲藻(0.17)	具尾蓝隐藻(0.20) 嗜蚀隐藻(0.15) 加顿多甲藻(0.15)	秋鳞孔藻(0.30) 加顿多甲藻(0.22)	鱼形裸藻(0.20) 加顿多甲藻(0.13)	嗜蚀隐藻(0.47) 多纹膝沟藻(0.22) 具尾蓝隐藻(0.11)	秋鳞孔藻(0.27) 嗜蚀隐藻(0.13)
Sep.15	加顿多甲藻(0.34) 秋鳞孔藻(0.14)	哑铃扁裸藻(0.17) 卷曲螺旋藻(0.11)	秋鳞孔藻(0.29) 鱼形裸藻(0.25) 加顿多甲藻(0.16)	鱼形裸藻(0.27) 秋鳞孔藻(0.24) 多纹膝沟藻(0.20)	卷曲螺旋藻(0.28)# 多纹膝沟藻(0.18) 秋鳞孔藻(0.11)	钝顶节旋藻(0.18)# 秋鳞孔藻(0.28) 爪形扁裸藻(0.11)
Oct.13	卷曲螺旋藻(0.34)# 加顿多甲藻(0.54)	顿顶节旋藻(0.48) 多纹膝沟藻(0.14)	纺锤鳞孔藻(0.18)	秋鳞孔藻(0.57) 宽扁裸藻(0.15)	卷曲螺旋藻(0.38)# 钩状扁裸藻(0.14)	秋鳞孔藻(0.39)
Nov.10	秋鳞孔藻(0.49) 复线四鞭藻(0.17)	秋鳞孔藻(0.57) 鱼形裸藻(0.12)	多形裸藻(0.23) 膝曲裸藻(0.28)	皱囊陀螺藻(0.44)		粘膜陀螺藻(0.38) 鱼形裸藻(0.21)

注：“()”内数据表示微藻生物量优势度；“#”表示既是数量优势种又是生物量优势种。
Note：“()”:The date in it equal to microalgae's biomass dominance, “#”:Show that the microalgae is not only number dominant,but also biomass dominant.

表 4 罗非鱼池浮游微藻的多样性指数

Table 4 The diversity index of planktonic microalgae in *Tilapia's* ponds

采样日期 date	A1 pond		A2 pond		B1 pond		B2 pond		C1 pond		C2 pond	
	Hq'	Hb'	Hq'	Hb'	Hq'	Hb'	Hq'	Hb'	Hq'	Hb'	Hq'	Hb'
May26	3.74	3.12	2.58	3.99	3.62	2.86	4.02	2.48	2.57	2.77	1.96	3.24
Jun.23	3.63	3.78	2.75	3.82	3.80	2.77	1.89	3.14	1.40	3.72	2.43	3.39
Jul.21	3.12	3.26	3.27	2.94	2.20	2.74	1.91	2.94	2.18	3.34	1.31	2.02
Aug.18	1.79	3.43	3.41	3.80	3.41	3.29	3.13	3.60	3.21	2.51	3.21	3.41
Sep.15	3.33	3.29	3.22	3.54	2.09	2.92	3.30	2.96	2.75	3.31	2.20	3.28
Oct.13	3.03	2.56	2.51	2.87	3.46	3.43	2.78	2.31	2.86	2.67	2.60	3.33
Nov.10	3.38	2.53	3.15	2.28	2.62	3.31	1.72	3.17	—	—	1.70	2.94
平均值 Average	3.15	3.14	2.98	3.32	3.03	3.05	2.68	2.94	2.50	3.05	2.20	3.09

表 5 生物多样性阈值的分级评价标准^[14]
Table 5 Evaluation standard for biodiversity threshold

评价等级	阈值	等级描述
I	<0.6	多样性差
II	0.6~1.5	多样性一般
III	1.6~2.5	多样性较好
IV	2.6~3.5	多样性丰富
V	>3.5	多样性非常丰富

池塘的环境特征相关。首先,检出的微藻多为喜淡水性的种类,如许多绿藻、蓝藻、裸藻、隐藻的种类,与盐度 10~40 的精养虾池微藻结构相比^[15-17],罗非鱼池塘微藻种类更加丰富,单一性较低,一些喜高盐的硅藻、甲藻种类较少;其次,罗非鱼养殖周期长,投饲量大,

换水少,这些情况致使中后期水体富营养化加重,透明度下降,溶氧较低,粘性较大,一些耐污性微藻种类势必会在群落中占有繁殖优势,如蓝藻类的卷曲螺旋藻、坚实微囊藻、圆胞束球藻等,裸藻类的鱼形裸藻、秋鳞孔藻、扁裸藻类等,它们利用水体丰富的营养盐大量繁殖,形成数量或生物量优势;再次,罗非鱼对微藻具有较强的滤食作用^[18-19],细胞生物量大的微藻在滤食中可能会被优先利用,如裸藻、甲藻、微囊藻种类^[19-21],受此摄食影响,这些微藻种类的数量结构会较为简单,密度趋向降低。另外,单胞体积较大的微藻之间因个体生长空间的竞争也或制约其成为数量优势种。温度也显著影响微藻总数量和生物量的变化,进入 10 月份以后,受水温下降的影响,各池微藻的总

表 6 罗非鱼池微藻与理化因子的相关关系

Table 6 The correlation coefficient of microalgae and water quality factors in *Tilapia*'s ponds

项目 Items	池号 Pond	COD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DO	pH	透明度 Transparency	水温 Temperature	TN	TP
微藻总数量 The total quantity of microalgae	A1	0.745	-0.875**	-0.811*	-0.732	0.458	0.680	0.331	0.046	-0.340	0.126
	A2	0.708	-0.463	-0.556	0.134	0.678	0.501	0.213	0.552	-0.069	0.289
	B1	0.338	-0.423	-0.442	-0.601	0.468	0.381	-0.555	-0.156	0.252	-0.012
	B2	0.763*	-0.278	-0.517	0.014	0.184	0.210	-0.535	-0.700	0.311	0.019
	C1	-0.146	-0.364	-0.147	-0.839*	-0.018	0.048	0.040	0.758	0.724	-0.538
	C2	0.542	-0.120	-0.820	-0.530	0.343	0.358	0.561	0.285	0.187	-0.049
微藻总生物量 The total biomass of microalgae	A1	0.791*	-0.710	-0.691	-0.477	0.273	0.365	-0.191	-0.456	-0.312	0.617
	A2	0.651	-0.743	-0.885**	0.141	0.174	0.274	0.107	-0.191	-0.507	0.427
	B1	0.700	-0.845*	-0.704	-0.738	0.284	0.289	-0.236	0.179	-0.641	0.665
	B2	0.459	-0.365	-0.394	0.214	0.388	0.498	-0.203	0.421	-0.561	0.437
	C1	0.572	-0.581	0.176	-0.107	0.586	0.810	0.496	0.505	0.309	-0.170
	C2	0.545	-0.506	0.099	-0.454	0.313	0.189	0.652	0.747	0.542	-0.372

数量和生物量均呈不同程度的下降趋势。温度变化可明显影响微藻的生长和演替,因为季节更替会导致水环境因子的变化,而各种微藻的生长都有着最适生态位需求,环境条件改变势必会扰乱微藻正常繁殖生长所需要的生态位范围,使得一些适应高温环境的微藻繁殖情况出现变动,如养殖后期喜高温的颤藻优势种类较为少见,颤藻类数量减少对后期微藻总数量的下降有着重要影响。而裸藻类则继续正常生长,后期裸藻类优势种和常见种较多,有报道称裸藻类对秋冬季节的适应性较好^[13]。

微藻在罗非鱼池形成的优势种的持续时间在不同藻种间存在着明显差异。各个池塘中,蓝藻类的狭细颤藻、威利颤藻、点形平裂藻在养殖前中期均存有数量优势,而坚实微囊藻、卷曲螺旋藻、圆胞束球藻主要是在养殖后期持续存在,占据显著的优势地位。这应与罗非鱼池的营养盐水平相关。养殖前期营养水平已经较为丰富,如各池前期 NH₃-N 含量平均为 1.64 mg·L⁻¹,微藻最先利用的水体无机氮是 NH₃-N^[22-23],营养盐的丰富促使微藻快速繁殖生长;随着养殖时间的延续,水体逐渐富营养化,各池后期 TN 含量平均为 3.55 mg·L⁻¹,远超过水体富营养化阈值水平^[24],透明度平均为 14.45 cm,COD 水平持续增高,平均达到 76.67 mg·L⁻¹,说明水体中还原性有机物含量丰富,营养负荷较大,故如螺旋藻、微囊藻等耐污性种类大量滋生,占据优势地位。喜淡水环境的裸藻、隐藻种类^[13]在养殖早期也在丰富营养的刺激下开始繁殖,伴随着营养的丰富积累,生物量也逐渐增大,其中扁裸藻类较为常见。甲藻类的加顿多甲藻、多纹膝沟藻从中期

开始也多次演替为生物量优势种,同裸藻类一起占据了微藻生物量结构的重要部分。绿藻类是罗非鱼池生物多样性的重要组成基础,检出的绿藻种类组成丰富,约占检出微藻种类数的 42%,养殖前期的优势种有空星藻、蛋白核小球藻、双对栅藻,但随着养殖进行,绿藻门种类的优势地位逐渐丧失,说明在营养负荷加重的环境下,绿藻类的繁殖竞争力弱于蓝藻类,且出现的多为单胞体积较小的种类,生长潜力和持久度也不及裸藻种类,但是绿藻类始终是养殖全程各池微藻群落的组成部分,说明绿藻门种类与其他各门微藻具有较好的共存性,对环境适应性较强,为微藻的多样性和群落稳定做出了重要贡献。检出的硅藻类多为适应淡水的小环藻类、舟形藻类、新月菱形藻等,种类较少,在微藻群落中优势地位不明显。

根据放苗日期、放苗量的区别可大致将所有池塘分为 A、B、C 3 组,其中 B、C 组放苗量接近,且均大于 A 组,B、C 组的收获量也明显高于 A 组。造成 A 组产量低下的部分原因应与放苗量相对较少有关。而 A1、A2 池中后期微藻生物量持续升高的特点却明显不同于其他两组池塘,两池微藻在后期富营养化的水体中继续繁殖优势,生物量均达到 60 mg·L⁻¹ 以上。一些研究表明,在池塘中放入罗非鱼后,由于罗非鱼可以通过捕食浮游动物,进而促使浮游微藻的生产力提高^[7,25],或通过罗非鱼排泄的营养盐促进浮游微藻的生长^[26]。本研究结果似与之不同,究其原因可能与水体富营养化的程度有关,在水体富营养化水平较低的环境,罗非鱼对提高微藻密度的下行效应影响可能更显著^[7,25]。而在较高富营养化水平的环境中,微藻

生产力较大,此时罗非鱼对较大体积微藻的捕食作用应不容忽视,如有研究发现罗非鱼可有效降低池塘甲藻的优势度^[21]以及利用罗非鱼对微囊藻的摄食特点来控制蓝藻水华^[24]等。A组池塘罗非鱼的产量明显低于B、C组,则其对较大体积微藻的摄食作用有可能相对弱化,促使了该池裸藻类、甲藻类的继续繁殖,在中后期他们的生物量百分比都超过50%。微藻的大量繁殖会消耗水体中CO₂的存有水平,促使水体pH值的升高,而微藻繁殖也会促使无机营养盐如NH₃-N水平的大量消耗。在对所有池塘中后期水体pH、NH₃-N水平的比较中,A组两池的pH值平均水平最高,达到8以上,而其NH₃-N水平则最低,在0.2 mg·L⁻¹以下,显示出罗非鱼产量可能对池塘微藻群落结构和水质因子指标有着显著的影响。

参考文献:

- [1] Krom M D, Erez J, Porter C B, et al. Phytoplankton nutrient uptake dynamics in earthen marine fishponds under winter and summer conditions[J]. *Aquaculture*, 1989, 76(3-4):237-253.
- [2] Neori A, Krom M D, Cohen I, et al. Water quality conditions and particulate chlorophyll of new intensive seawater fishponds in Eilat, Israel: daily and diel variations[J]. *Aquaculture*, 1989, 80:63-78.
- [3] Tatrai I. Response of nutrients, plankton communities and macrophytes to fish manipulation in a small eutrophic wetland lake[J]. *International Review Hydrobiology*, 2005, 90(5-6):511-522.
- [4] Sondergaard M. Lake restoration: Successes, failures and long-term effects[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44:1095-1105.
- [5] 王朝晖, 韩博平, 胡 韧, 等. 广东省典型水库浮游植物群落特征与富营养化研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4):402-405.
WANG Chao-hui, HAN Bo-ping, HU Ren, et al. Phytoplankton community structure and eutrophication of reservoirs in Guangdong Province, China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4):402-405.
- [6] 宋 鑫, 姜作发, 唐富江, 等. 大力加湖鲢鱼放养场浮游植物及鱼产潜力[J]. 水产学杂志, 2006, 19(1):68-71.
SONG Xin, JIANG Zuo-fa, TANG Fu-jiang, et al. Phytoplankton composition in Dalijia Lake[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2006, 19(1):68-71.
- [7] 赵 文, 董双林, 李德尚, 等. 盐碱池塘浮游植物初级生产力研究[J]. 水生生物学报, 2003, 27(1):47-54.
ZHOA Wen, DONG Shuang-lin, LI De-shang, et al. The primary productivity of phytoplankton in saline-alkaline ponds[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(1):47-54.
- [8] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
HU Hong-jun, WEI Yin-xin. The freshwater algae of China[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [9] B 福迪. 罗迪安(译). 藻类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
Bohuslav Fott. Algenkunde[M]. Shanghai: Science and Technology Press of Shanghai, 1980.
- [10] 毕列爵, 胡征宇. 中国淡水藻志[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Bi Lie-jue, Hu Zheng-yu. Chinese freshwater algae records[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [11] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
SHEN Guo-ying, SHI Bing-zhang. Marine ecology[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [12] 孙 军, 刘东艳, 钱树本. 浮游植物生物量研究 I: 浮游植物生物量细胞体积转化法[J]. 海洋学报, 2004, 21(2):75-85.
SUN Jun, LIU Dong-yan, QIAN Shu-ben. Study on phytoplankton biomass: I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 21(2):75-85.
- [13] 麦雄伟. 南美白对虾温棚化养殖水体生态特征研究[D]. 广州: 中山大学, 2003.
MAI Xiong-wei. The study on characteristics of water ecology in *Litopenaeus vannamei*'s greenhouse culture ponds[D]. Guangzhou: Zhongshan University, 2003.
- [14] 陈清潮, 黄良民, 尹健强, 等. 南海群岛海区浮游动物多样性研究 [C]//中国科学院南沙综合科学考察队. 南海群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京: 海洋出版社, 1994:42-50.
CHEN Qing-chao, HUANG Liang-min, YIN Jian-qiang, et al. Zooplankton diversity in water around South China sea islands[C]. Beijing: Ocean Press, 1994:42-50.
- [15] 查广才, 麦雄伟, 周昌清, 等. 凡纳滨对虾低盐度养殖池浮游藻类群落研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(1):1-7.
ZHA Guang-cai, MAI Xiong-wei, ZHOU Chang-qing, et al. Study on the planktonic algae community in low salinity culture ponds of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Marine Fisheries Research*, 2006, 27(1):1-7.
- [16] 张汉华, 李卓佳, 郭志勋, 等. 有益微生物对海水养虾池浮游生物生态特征的影响研究[J]. 南方水产, 2005, 1(2):7-14.
ZHANG Han-hua, LI Zhuo-jia, GUO Zhi-xun, et al. Study on the influences of probiotics on ecological characteristics of plankton in the maricultural ponds[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(2):7-14.
- [17] 谢立民, 林小涛, 许忠能, 等. 不同类型虾池的理化因子及浮游植物群落的调查[J]. 生态科学, 2003, 22(1):34-47.
XIE Li-ming, LIN Xiao-tao, XU Zhong-neng, et al. Phytoplankton communities and physical and chemical factors in different types of shrimp ponds[J]. *Ecologic Science*, 2003, 22(1):34-37.
- [18] 李思发. 我国罗非鱼产业的发展前景和瓶颈问题[J]. 农技服务, 2004(4):4-6.
LI Si-fa. China's tilapia industry development prospects and bottleneck problem[J]. *Agricultural Services*, 2004(4):4-6.
- [19] 陆开宏, 金春华, 王扬才. 罗非鱼对蓝藻的摄食消化及对富营养化水体水华的控制[J]. 水产学报, 2005, 29(6):811-818.
LU Kai-hong, JIN Chun-hua, WANG Yang-cai. Control of cyanobacterial blooms in eutrophication lakes tilapia[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(6):811-818.
- [20] 刘国祥. 水产养殖池塘裸藻水华的特点、危害和调控[J]. 中国水产, 2009, 2:59-60.
LIU Guo-xiang. The characteristics, hazards and regulation of *Euglena algal* blooms in aquaculture ponds[J]. *China Fisheries*, 2009, 2:59-60.

- [21] Gophen M. The impact of zooplankton status on the management of lake Kinneret (Israel)[J]. *Hydrobiologia*, 1984, 113(1):249-258.
- [22] Sergio O L. Effects of different nitrogen sources on the growth and biochemical profile of 10 marine microalgae in batch culture[J]. *An evaluation for Aquaculture*, 2002, 42(2):158-168.
- [23] 蒋汉明, 高坤山. 氮源及其浓度对三角褐指藻生长和脂肪酸组成的影响[J]. 水生生物学报, 2004, 28(5):545-551.
JIANG Han-ming, GAO Kun-shan. Effects of nitrogen sources and concentrations on the growth and fatty acid composition of *Phaeodactylum tricornutum*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28(4):545-551.
- [24] 王 霞, 吕宪国, 白淑英, 等. 松花湖富营养化发生的阈值判定和概率分析[J]. 生态学报, 2006, 26(12):3989-3997.
WANG Xia, LV Xian-guo, BAI Shu-ying, et al. Probability and threshold values for recognizing eutrophication in Lake Songhua [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12):3989-3997.
- [25] 阮景荣, 戎克文, 王少海, 等. 罗非鱼对微型生态系统浮游生物群落和初级生产力的影响[J]. 应用生态学报, 1993, 4(1):65-73.
RUAN Jing-rong, RONG Ke-wen, WANG Shao-hai, et al. Effect of Nile tilapia on plankton community and primary productivity of freshwater microcosms[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, 4(1):65-73.
- [26] Figueredo C C, Giani A. Ecological interactions between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and the phytoplanktonic community of the Furnas Reservoir (Brazil)[J]. *Freshwater Biology*, 2005, 50:1391-1403.