

孟顺龙, 李丹丹, 裴丽萍, 等. 添加藻类和有机肥对罗非鱼养殖水体浮游植物群落结构的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2099–2105.

MENG Shun-long, LI Dan-dan, QIU Li-ping, et al. Effect of organic fertilizer and algae addition to tilapia aquaculture water on the community structure of phytoplankton[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(10): 2099–2105.

添加藻类和有机肥对罗非鱼养殖水体 浮游植物群落结构的影响

孟顺龙^{1,2}, 李丹丹¹, 裴丽萍¹, 胡庚东¹, 范立民¹, 宋超¹, 吴伟^{1,2}, 郑尧¹,
陈家长^{1,2*}, 邢旭文^{1,2*}

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部长江下游渔业资源环境科学观测试验站, 中国水产科学研究院内陆渔业生态
环境和资源重点开放实验室, 江苏 无锡 214081; 2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081)

摘要:为阐明施肥及添加外源藻类在水产养殖增产、增效及废物资源化利用方面的内在机理,以鸡粪和牛粪为试验有机肥,以小球藻和栅藻为外源添加藻类,设置空白组(Control)、加藻组(Algae)、鸡粪-藻组(Chicken-A)、牛粪-藻组(Cattle-A)、鸡粪-牛粪-藻组(C-C-A)5种处理方式,采用香农-威纳多样性指数和Pielou均匀度指数评价了施用有机肥和添加藻类对罗非鱼养殖水体中浮游植物群落结构的影响。结果表明,空白组、加藻组、鸡粪-藻组、牛粪-藻组、鸡粪-牛粪-藻组分别鉴定出19、26、34、27和31种藻类,种类数总体表现为:Chicken-A>C-C-A>Cattle-A>Algae>Control;总丰度分别变化在 $1.52\times 10^7\sim 6.99\times 10^7$ cells·L⁻¹、 $4.18\times 10^7\sim 6.58\times 10^7$ cells·L⁻¹、 $1.24\times 10^7\sim 9.58\times 10^7$ cells·L⁻¹、 $4.37\times 10^6\sim 5.36\times 10^7$ cells·L⁻¹、 $1.06\times 10^7\sim 8.63\times 10^7$ cells·L⁻¹之间,试验组和对照组的藻类总丰度都呈先降低后升高的变化趋势。对照组蓝藻比例先升高后降低,试验组蓝藻比例都不断降低;试验组蓝藻比例的降低幅度高于对照组,且鸡粪-藻组的降低幅度最大。对照组和试验组的绿藻比例都不断升高,但试验组的升高幅度高于对照组,且鸡粪-藻组的升高幅度最大。试验组的藻类多样性指数和均匀度指数都高于对照组,且多样性指数的变化顺序表现为:Chicken-A>C-C-A>Cattle-A>Algae>Control。在养殖水体中添加有机肥和藻类具有抑制蓝藻生长、促进绿藻生长、改善浮游植物群落结构的功效,且鸡粪优于牛粪或鸡粪-牛粪混合。

关键词:鸡粪;牛粪;罗非鱼;浮游植物;结构特征

中图分类号:S965.125 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)10-2099-07 doi:10.11654/jaes.2017-0417

Effect of organic fertilizer and algae addition to tilapia aquaculture water on the community structure of phytoplankton

MENG Shun-long^{1,2}, LI Dan-dan¹, QIU Li-ping¹, HU Geng-dong¹, FAN Li-min¹, SONG Chao¹, WU Wei^{1,2}, ZHENG Yao¹, CHEN Jia-zhang^{1,2*}, BING Xu-wen^{1,2*}

(1. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences; Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture; Key Open Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 2. Wuxi Fishery College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract: The aim of this study was to explain the mechanism by the addition of organic fertilizers and algae to aquaculture water which could increase the yield, raise efficiency, and help in waste reclamation. For this purpose, experiments were carried out using chicken ma-

收稿日期:2017-03-22 录用日期:2017-06-15

作者简介:孟顺龙(1982—),男,安徽颍上人,博士,副研究员,硕士生导师,从事渔业环境保护和水生生物学研究。E-mail: mengsl@ffrc.cn

*通信作者:陈家长 E-mail: chenjz@ffrc.cn; 邢旭文 E-mail: bingxw@ffrc.cn

基金项目:国家科技支撑计划项目(2015BAD13B03);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46)

Project supported: The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China(2015BAD13B03); China Agriculture Research System(CARS-46)

nure and cattle manure as organic fertilizers, and *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda* as exogenous algae. The experiments used the following groups: Control group, algae group (Algae), a mix of chicken manure and algae group (Chicken-A), a mix of cattle manure and algae group (Cattle-A), and a mix of chicken-cattle manure and algae group (C-C-A). The Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index were used to evaluate the effect on phytoplankton community structure of adding organic fertilizers and algae to tilapia aquaculture water. The results showed that there were 19, 26, 34, 27, and 31 species of phytoplankton in the Control, Algae, Chicken-A, Cattle-A, and C-C-A groups, respectively, following the order Chicken-A > C-C-A > Cattle-A > Algae > Control. The total abundance of phytoplankton in the Control, Algae, Chicken-A, Cattle-A, and C-C-A groups changed from 1.52×10^7 to 6.99×10^7 cells $\cdot L^{-1}$, 4.18×10^7 to 6.58×10^7 cells $\cdot L^{-1}$, 1.24×10^7 to 9.58×10^7 cells $\cdot L^{-1}$, 4.37×10^6 to 5.36×10^7 cells $\cdot L^{-1}$, and 1.06×10^7 to 8.63×10^7 cells $\cdot L^{-1}$, respectively. The total abundance of phytoplankton in the control and all the test groups first decreased and then increased. The proportion of cyanophyta accounting for the total phytoplankton population in the Control group first increased and then decreased, and that in the Algae, Chicken-A, Cattle-A, and C-C-A groups decreased gradually. Moreover, the overall decrease in the cyanophyta proportion was higher in the test groups than in the Control group, with the largest decrease in the Chicken-A group. The Shannon-Wiener and Pielou indexes were higher in the test groups than in the Control group. The former followed the order Chicken-A > C-C-A > Cattle-A > Algae > Control. These results showed that the use of organic fertilizers and algae in tilapia aquaculture water could inhibit cyanophyta growth, facilitate chlorophyta growth, and improve phytoplankton community structure. Chicken manure was found to be better than cattle manure or a mixture of chicken manure and cattle manure.

Keywords: chicken manure; cattle manure; tilapia; phytoplankton; structural characteristics

肥料是鱼类的间接饵料,施肥养鱼是淡水养殖的成功经验^[1],已在我国和世界上许多国家广泛应用。目前,水产养殖中使用的肥料包括有机肥和无机肥;有机肥主要有人粪尿和畜禽粪便,例如牛粪、猪粪、鸡粪等;无机肥主要是含氮、磷、钾等营养物质的化学肥料。由于肥料中含有的氮、磷、钾等可以直接被水生植物吸收利用,促使其大量繁殖,也使那些以水生植物为食的水生动物很快繁殖起来,从而为鱼类提供大量的天然饵料^[2]。因此,施肥养鱼的生产方式不仅降低了饵料系数^[3],而且有机肥的广泛使用还为畜禽工厂化高密度养殖产生的大量鸡粪、牛粪、猪粪等的后续处理找到了一条可持续发展的道路。

目前,在施肥提高池塘渔产力、降低饵料系数方面的研究较多^[4-6],然而在施肥改善浮游植物群落结构方面的研究较少^[7],而有关肥料和外源藻类交互作用对养殖水体浮游植物群落结构影响的研究则未见报道。为此,本研究以鸡粪和牛粪为试验有机肥,以小球藻和栅藻为外源添加藻类,探索了在罗非鱼养殖水体中施用有机肥和添加外源藻类对浮游植物群落结构的影响,为阐述施肥及添加外源藻类在增产、增效及资源化利用方面的内在机理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在容积为 1.2 t 的圆形塑料桶(直径 1.3 m, 高 1 m)中进行。试验时装入 1 t 自来水,水深 0.77 m,

充分曝气 20 d。为使试验水体中的浮游植物等与实际养殖水体接近,用 25# 浮游生物网从周边池塘水源水太湖中捞取浮游植物若干升,向每个塑料桶中放入 1000 mL,之后用功率均为 $2000 L \cdot h^{-1}$ 的水泵(SOBO WPR 4000)串联所有塑料桶,充分循环泵水 24 h,从而保证每个试验桶中的水质初始条件完全一致。

1.2 施肥与加藻方式

试验于 2016 年 6 月 14 日开始,8 月 13 日结束,共计 60 d。试验设置 5 种不同的处理方式,分别是空白组(Control)、加藻组(Algae)、鸡粪-藻组(Chicken-A)、牛粪-藻组(Cattle-A)、鸡粪-牛粪-藻组(C-C-A)。空白组不施肥,也不添加藻类;加藻组不施肥,每次添加小球藻和栅藻各 5 mL;鸡粪-藻组同时添加鸡粪和藻类,每次添加鸡粪量为 $0.5 g \cdot L^{-1}$,每次添加小球藻和栅藻各 5 mL;牛粪-藻组同时添加牛粪和藻类,每次添加牛粪量为 $0.5 g \cdot L^{-1}$,每次添加小球藻和栅藻各 5 mL;鸡粪-牛粪-藻组同时添加鸡粪、牛粪和藻类,每次添加鸡粪和牛粪量均为 $0.25 g \cdot L^{-1}$,每次添加小球藻和栅藻各 5 mL。每种处理方式设置 3 个平行。本试验使用的鸡粪肥和牛粪肥均为经过发酵后的腐熟肥料。施肥方法是有机肥包入纱布中,沉入水底。根据水体透明度情况,并考虑到数据分析的方便,前 20 d 每 10 d 施肥、加藻 1 次,之后每 20 d 1 次;试验期间共施肥、添加藻 4 次。试验期间有机肥和藻类使用量见表 1。

1.3 养殖试验

根据罗非鱼养殖生产实际,每个塑料桶中放养体

表 1 试验期间有机肥和藻类使用量

Table 1 Amount of manure and algae used in tank during the experiment

添加物	Control	Algae	Chicken-A	Cattle-A	C-C-A
鸡粪/kg	0	0	2.0	0	1.0
牛粪/kg	0	0	0	2.0	1.0
小球藻/mL	0	20	20	20	20
栅藻/mL	0	20	20	20	20

重 2.49 ± 0.58 g、体长 3.85 ± 0.34 cm ($n=30$) 的罗非鱼 (GIFT *Oreochromis niloticus*) 50 尾。养殖期间的日投喂量约为鱼体重量的 5% (每周从对照组中随机取 5 尾鱼称重,并据此改变饵料投喂量),分 3 次投喂,投喂时间分别为 9:00、12:30、16:00。试验期间不换水,只注水以补充因蒸发或样品采集时失去的水量;遇大雨则排水,使塑料桶中水的体积在整个试验期间保持不变。试验期间使用水产养殖电磁式空气压缩机充气,采样前 2 h 停止充气。

1.4 浮游植物采集、鉴定和计数

由于试验水体较小,浮游植物样品仅采集定量样品,不采集定性样品。浮游植物定量样品采集方法参照文献[8]。浮游植物鉴定参照文献[9-11]。

1.5 评价方法

根据浮游植物的香农-威纳多样性指数 (D , Shannon-Wiener index)、Pielou 均匀度指数 (J , Pielou) 对浮游植物的生态学特征进行分析评价。上述各项指数的计算方法参照文献[8, 12-13]。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成及丰度

试验期间,空白组 (Control)、加藻组 (Algae)、鸡粪-藻组 (Chicken-A)、鸡粪-牛粪-藻组 (C-C-A) 均鉴定出 5 门,分别为绿藻、硅藻、蓝藻、裸藻、隐藻;牛粪-藻组 (Cattle-A) 鉴定出 4 门,分别为绿藻、硅藻、蓝藻、裸藻 (表 2)。试验期间,空白组鉴定出藻类 19 种、加藻组 26 种、鸡粪-藻组 34 种、牛粪-藻组 27 种、鸡粪-牛粪-藻组 31 种。空白组、加藻组、鸡粪-藻组、牛粪-藻组、鸡粪-牛粪-藻组的藻类总丰度分别变化在 $1.52 \times 10^7 \sim 6.99 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $4.18 \times 10^7 \sim 6.58 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $1.24 \times 10^7 \sim 9.58 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $4.37 \times 10^6 \sim 5.36 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $1.06 \times 10^7 \sim 8.63 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 之间 (图 1),施肥组和对照组的藻类总丰度都呈先降低后升高的变化趋势。对各个采样时间下的藻类种类数分析显示 (图 1),试验期间的藻类种类数总体表现为:

Chicken-A>C-C-A>Cattle-A>Algae>Control。

2.2 蓝、绿藻丰度及其所占比例

试验期间,空白组、加藻组、鸡粪-藻组、牛粪-藻组、鸡粪-牛粪-藻组的蓝藻丰度分别变化在 $1.30 \times 10^7 \sim 4.10 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $1.55 \times 10^7 \sim 3.28 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $4.50 \times 10^6 \sim 3.28 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $2.00 \times 10^6 \sim 3.28 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $4.70 \times 10^6 \sim 3.28 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 之间;在试验的前 20 d,对照组的蓝藻丰度高于同期有机肥-藻组,而低于加藻组;在试验 40 d 后,对照组的蓝藻丰度高于所有试验组,且鸡粪-藻组的蓝藻丰度最低 (图 2)。对蓝藻占总藻类的百分比分析表明,对照组蓝藻比例呈先升高后降低的变化趋势,4 个试验组的蓝藻比例都呈现出不断降低的变化趋势;试验组蓝藻比例的降低幅度高于对照组,且鸡粪-藻组的降低幅度最大。试验期间,空白组、加藻组、鸡粪-藻组、牛粪-藻组、鸡粪-牛粪-藻组的绿藻丰度分别变化在 $2.00 \times 10^6 \sim 2.05 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $7.76 \times 10^6 \sim 4.22 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $7.40 \times 10^6 \sim 7.88 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $2.35 \times 10^6 \sim 3.50 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 、 $5.20 \times 10^6 \sim 6.44 \times 10^7$ cells $\cdot$ L $^{-1}$ 之间,试验组和对照组的绿藻丰度都呈升高趋势 (图 2)。对绿藻占总藻类的百分比分析表明,对照组和 4 个试验组的绿藻比例都呈现出不断升高的变化趋势,但 4 个试验组的升高幅度高于对照组,且鸡粪-藻组的升高幅度最大。

2.3 多样性和均匀度

对藻类多样性指数的分析表明,试验期间,空白组、加藻组、鸡粪-藻组、牛粪-藻组、鸡粪-牛粪-藻组的多样性指数分别变化在 1.08~2.16、1.44~2.46、1.44~3.48、1.44~2.91、1.44~3.20 之间,平均值分别为 1.55、2.16、2.80、2.38、2.62;4 个试验组的藻类多样性指数随着养殖时间的延长而升高,且高于同期对照组。各试验组的藻类多样性指数的大小顺序表现为:Chicken-A>C-C-A>Cattle-A>Algae>Control。

对藻类均匀度指数的分析表明,试验期间,空白组、加藻组、鸡粪-藻组、牛粪-藻组、鸡粪-牛粪-藻组的均匀度指数分别变化在 0.36~0.75、0.42~0.77、0.42~0.88、0.42~0.87、0.42~0.87 之间,平均值分别为 0.55、0.66、0.74、0.72、0.72;有机肥组的藻类均匀度指数高于同期对照组。各试验组的藻类均匀度指数平均值的大小顺序表现为:Chicken-A>C-C-A=Cattle-A>Algae>Control (表 3)。

3 讨论

浮游植物是水生态系统中重要的初级生产者^[8],

表 2 试验组藻类种类及平均丰度

Table 2 The average abundance and species of phytoplankton in every test group

藻类种类		藻类丰度/10 ⁴ cells·L ⁻¹				
		Control	Algae	Chicken-A	Cattle-A	C-C-A
绿藻门(Chlorophyta)	爪哇栅藻(<i>Scenedesmus javaensis</i>)	171.3	60.0	385.0	62.5	232.5
	四尾栅藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)	344.6	863.4	248.4	275.9	615.9
	小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)		308.8	711.3	586.3	420.0
	二角盘星藻(<i>Pediastrum duplex</i>)	400.0		20.0	50.0	
	空球藻(<i>Eudorina elegans</i>)	500.0	500.0	260.0	100.0	400.0
	衣藻(<i>Chlamydomonas</i>)			5.0		
	狭形纤维藻(<i>Ankistrodesmus angustus</i>)	46.8		31.3		12.5
	多芒藻(<i>Golenkinia radiata</i>)	3.8	2.5	31.3	25.0	
	集星藻(<i>Actinastrum hantzschii</i> Lag)	1.3		127.5	80.0	105.0
	三角四角藻(<i>Tetraedron trigonum</i>)			13.8		2.5
	盘星藻(<i>Pediastrum clathratum</i>)				100.0	
	网状空星藻(<i>Coelastrum shansiensis</i>)		102.5			200.0
	弓形藻(<i>Schroederia setigera</i>)	58.1	1.9	1.9	1.9	25.6
	螺旋弓形藻(<i>Schroederia spiralis</i>)		41.3	2.5	6.3	12.5
	肥壮蹄形藻(<i>Krichneriella obesa</i>)			57.5		60.0
	四角十字藻(<i>Crucigenia quadrata</i>)			100.0		200.0
	小新月藻(<i>Closterium venus</i>)			31.3		22.5
	小空星藻(<i>Coelastrum microporum</i>)			300.0	50.0	10.0
	实球藻(<i>Pandorina morlzm</i>)		100.0			
	扁鼓藻(<i>Cosmarium depressum</i>)	28.8	81.3	3.8	13.8	8.8
	波吉卵囊藻(<i>Oocystis borgei</i>)		10.0	55.0	30.0	10.0
	月牙藻(<i>Selenastrum bibrainum</i>)			68.8	12.5	
	并联藻(<i>Quadrigula chodatii</i>)			87.5	43.8	30.0
	韦氏藻(<i>Westella botryoides</i>)		200.0	40.0		
	四月藻(<i>Tetralantos lagerkeimii</i>)				10.0	
蓝藻门(Cyanophyta)	针状蓝纤维藻(<i>Dactylococcopsis acicularis</i>)		350.0		263.8	5.0
	巨颤藻(<i>Oscillatoria princeps</i>)			231.3		
	伪鱼腥藻(<i>Pseudanabaena mucicola</i>)		520.0	68.8	18.8	15.0
	两栖颤藻(<i>Oscillatoria amphibian</i>)	18.8	652.5	131.5	295.0	120.0
	惠氏微囊藻(<i>Microcystis wesenbergii</i>)	2 776.8	753.1	828.1	858.6	878.1
	小席藻(<i>Phormidium tenue</i>)	44.1	114.1	99.1	44.1	419.1
	束球藻(<i>Gomphosphaeria</i>)	216.3	76.3	48.0	122.5	150.0
	小颤藻(<i>Oscillatoria tenuis</i>)					97.5
硅藻门(Bacillariophyta)	羽纹硅藻(<i>Pinnularia</i>)			6.3		
	尖针杆藻(<i>Synedra acus</i> var)	87.3	49.8	57.3	49.8	102.3
	简单舟形藻(<i>Navicula simplex</i>)	3.1	3.1	19.4	3.6	14.4
	梅尼小环藻(<i>Cyclotella meneghiniana</i>)	0.9	0.9	5.9	0.9	7.2
	普通肋缝藻(<i>Frustulia vulgaris</i>)	6.6	6.6	6.6	6.6	16.6
裸藻门(Euglenophyta)	血红裸藻(<i>Euglena sanguinea</i>)		12.5			25.0
	尖尾裸藻(<i>Euglena oxyuris</i>)	7.2	0.9	13.4	0.9	0.9
	鳞孔藻(<i>Lepocinclis</i>)		12.5			
隐藻门(Cryptophyta)	卵形隐藻(<i>Cryptomonas ovata</i>)	26.3	31.3	21.3		5.0
平均丰度		4 741.7	4 854.9	4 118.2	3 112.2	4 223.7

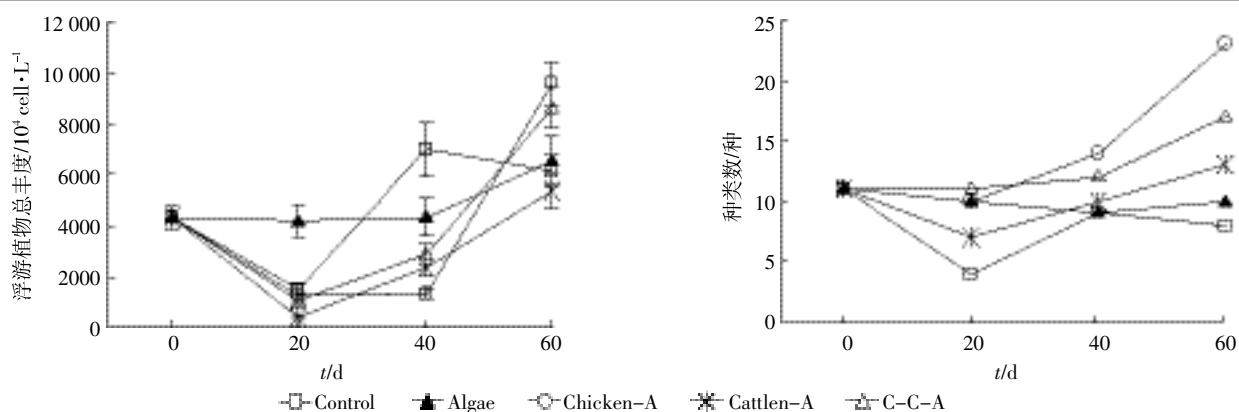


图 1 浮游植物丰度和种类数变化

Figure 1 Abundance and species of phytoplankton

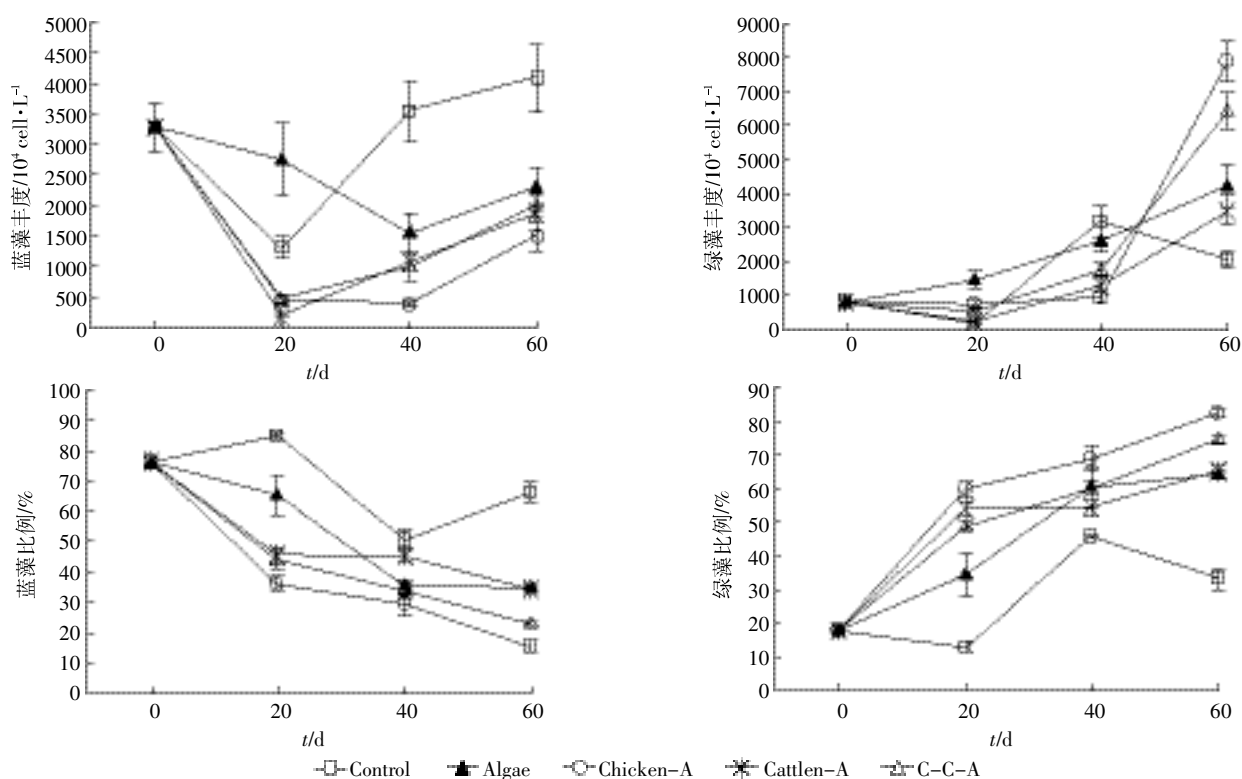


图 2 蓝、绿藻丰度及其所占比例变化

Figure 2 Cyanophyta and chlorophyta abundance and their proportions of the total phytoplankton

是水生食物链的关键环节,能通过光合作用固定无机碳和释放氧气^[14],并能吸收水体中的氮、磷等营养盐使之转化为有机物^[15]。因此,养殖水体中的藻类在改善水质的同时,也为经济水生动物提供了优质饵料资源,能弥补饲料中缺乏的某些营养素^[16]。然而,并非所有藻类都能被经济水生动物利用,某些有害藻类,如微囊藻等,由于不能被鱼类等水生生物利用,在特定条件下会爆发性增殖而形成水华,使水质恶化、变臭,导致鱼虾大量死亡^[17-18]。有害藻类的异常增殖给经济水生动物生长带来了严重危害^[19]。因此,在促进有益

藻类生长、繁殖的同时抑制有害藻类的生长、繁殖,从而实现利用藻类调节改善养殖生态环境,将大幅提高水体初级生产力^[17]。

浮游植物数量和丰度主要受水体营养盐、水温等因素的影响^[8,20],在养殖池塘中施肥能够促进浮游植物的生长,不仅为鱼类提供天然饵料,而且还能调节水体透明度、增加溶解氧含量^[16,21]。本研究对蓝藻和绿藻所占比例的分析结果显示,有机肥加藻组的蓝藻丰度和蓝藻比例均低于同期对照组,而绿藻比例均高于同期对照组,表明有机肥加藻组的蓝藻丰度、蓝藻比

表 3 浮游植物均匀度指数和多样性指数
Table 3 The evenness and diversity index of phytoplankton

t/d	均匀度指数					多样性指数				
	Control	Algae	Chicken-A	Cattle-A	C-C-A	Control	Algae	Chicken-A	Cattle-A	C-C-A
0	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
20	0.75	0.69	0.88	0.80	0.79	1.51	2.28	2.94	2.26	2.72
40	0.68	0.77	0.88	0.87	0.87	2.16	2.45	3.35	2.90	3.12
60	0.36	0.74	0.77	0.79	0.78	1.08	2.46	3.48	2.91	3.20
平均	0.55	0.66	0.74	0.72	0.72	1.55	2.16	2.80	2.38	2.62

例、绿藻比例都优于对照组,显示出在养殖水体中添加藻类和有机肥具有抑制蓝藻生长、促进绿藻生长功效。张萍等^[7]在研究有机肥对克氏原螯虾池塘浮游藻类及水质的影响时,发现在养殖水体中施用有机肥,能够改变池塘生态环境,使其不适合蓝藻等有害藻类繁殖;Fallahi 等^[22]研究发现在养殖水体中施用牛粪肥能够降低蓝藻数量。这与本研究结果一致。一般认为,藻类正常利用水体中 N、P 的比例约为 7:1,当 N/P 大于 7 时容易产生 P 限制,N/P 小于 7 时容易出现 N 限制^[1]。本试验对养殖水质的同步监测显示,各组养殖水体中 N、P 含量均随养殖时间的延长呈上升趋势,即投饵、施肥输入的 N、P 量超过藻类需求并在水体内积累,不会因水体中 N、P 缺乏对藻类产生限制作用,N/P 比例对于评判 N 限制或 P 限制缺乏指示意义^[1]。施肥降低养殖水体中蓝藻含量可能与施肥带入高浓度的氮有关,过量的氮会使固氮性蓝藻失去竞争优势,使蓝藻在生长竞争中处于不利地位,而使绿藻及其他微藻成为优势种^[23];同时,添加外源绿藻增加了绿藻的竞争优势,也在一定程度上强化了上述过程。比较不同有机肥对蓝、绿藻所占比例的影响情况可见,蓝藻比例总体表现为鸡粪加藻组最低,绿藻比例表现为鸡粪加藻组最高,表明鸡粪优于牛粪或鸡粪-牛粪混合。此外,本研究显示,对照组水体中的蓝藻所占比例也有一定程度的降低趋势。这可能与本试验的养殖鱼类为罗非鱼有关,研究认为罗非鱼有控制蓝藻的作用^[24-25],也在一定程度上验证了前人的研究结论。

物种多样性是衡量一定区域生物资源丰富程度的一个客观指标,用于评价群落中种类组成的稳定程度及其数量分布均匀程度和群落组织结构特征,并常作为描述群落演替方向、速度和稳定程度的指标。本研究对浮游植物多样性指数的分析表明,施肥和添加藻类的水体的浮游植物多样性指数均高于同期对照组,施肥或添加藻类组的浮游植物多样性优于对照组,显示出在养殖水体中添加藻类和施用有机肥能够

改善浮游植物群落结构。孙卫明等^[21]在研究不同施肥组合对凡纳滨对虾池塘中浮游植物的影响时,发现施用鸡粪的养殖水体中的浮游植物多样性显著提高;赵文等^[26]在研究施肥对罗非鱼池塘浮游植物群落的影响时,发现施用有机肥能够提高浮游植物多样性指数。这与本研究结果一致。同时,比较不同处理方式对浮游植物多样性的影响情况,可见多样性指数的大小顺序为 Chicken-A>C-C-A>Cattle-A>Algae>Control,表明施用鸡粪并同时添加藻类可使浮游植物群落处于更加稳定的状态,鸡粪优于牛粪或鸡粪-牛粪混合。这与根据蓝、绿藻所占比例进行判断的结果一致。

4 结论

(1)在养殖水体中添加有机肥和藻类能够抑制蓝藻生长、促进绿藻生长。与其他各组相比,鸡粪加藻组的蓝藻比例降低幅度以及绿藻比例升高幅度都最大,表明本试验条件下鸡粪加藻是最优组合。

(2)外源性添加有机肥和藻类能够提高养殖水体的浮游植物种类数、多样性指数和均匀度指数,改善浮游植物群落结构,且鸡粪优于牛粪或鸡粪-牛粪混合。

参考文献:

[1] 戴杨鑫,唐金玉,王 岩,等. 不同施肥方法对鱼蚌综合养殖水体水化学的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(3):407-416.
DAI Yang-xin, TANG Jin-yu, WANG Yan, et al. Effect of three fertilization programs on the chemical water quality for integrated culture of freshwater pearl mussel and fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(3):407-416.
[2] 杨文磊. 养鱼的饵料和肥料[J]. 农村·农业·农民, 2000(4):22-22.
YANG Wen-lei. Feed and fertilizer in aquaculture[J]. *Country·Agri-culture·Farmer*, 2000(4):22.
[3] Zoccarato I, Benatti G, Calvi S L, et al. Use of pig manure as fertilizer with and without supplement feed in pond carp production in northern Italy[J]. *Aquaculture*, 1995, 129(1-4):387-390.
[4] Boyd C E. Comparison of five fertilization programs for fish ponds[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1981, 110(4):541-

- 545.
- [5] Terziyski D, Grozev G, Kalchev R, et al. Effect of organic fertilizer on plankton primary productivity in fish ponds[J]. *Aquaculture International*, 2007, 15(3): 181-190.
- [6] Gerald M Ludwig. The Effects of increasing organic and inorganic fertilizer on water quality, primary production, zooplankton, and sunshine bass, *Morone chrysops* × *M. saxatilis*, fingerling production[J]. *Journal of Applied Aquaculture*, 2002, 12(2): 1-29.
- [7] 张 萍, 周 鑫, 秦 伟, 等. 不同饵料培养基对克氏原螯虾池塘浮游藻类及水质的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(8): 1474-1480. ZHANG Ping, ZHOU Xin, QIN Wei, et al. Effects of different culture media on phytoplankton and water quality in ponds with *Procambarus clarkii* as the major cultured species[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(8): 1474-1480.
- [8] 孟顺龙, 陈家长, 胡庚东, 等. 2008年太湖梅梁湾浮游植物群落周年变化[J]. 湖泊科学, 2010, 22(4): 577-584. MENG Shun-long, CHEN Jia-zhang, HU Geng-dong, et al. Annual dynamics of phytoplankton community in Meiliang Bay, Lake Taihu, 2008 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(4): 577-584.
- [9] 郑洪萍. 福建省大中型水库常见淡水藻类图集[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012. ZHENG Hong-ping. Common freshwater algae in large and medium-scaled reservoirs in Fujian Province[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2012.
- [10] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995. HAN Mao-sen, SHU Yun-fang. Chinese freshwater organism map[M]. Beijing: Ocean Press, 1995.
- [11] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类[M]. 北京: 科学出版社, 2006. HU Hong-jun, WEI Yin-xin. Chinese freshwater algae[M]. Beijing: Sciences Press, 2006.
- [12] 孟顺龙, 肖 代, 陈小丽, 等. 里下河腹地典型水体秋季浮游植物生态学特征[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 1998-2005. MENG Shun-long, XIAO Dai, CHEN Xiao-li, et al. Phytoplankton ecological characteristics in the typical water bodies of Lixia River hinterland in autumn[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(11): 1998-2005.
- [13] 刘娅琴, 刘福兴, 宋祥甫, 等. 农村污染河道生态修复中浮游植物的群落特征[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(1): 162-169. LIU Ya-qin, LIU Fu-xing, SONG Xiang-fu, et al. Characteristics of phytoplankton community in country contaminated ditches during ecological restoration[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(1): 162-169.
- [14] 李 兴, 李建茹, 徐效清, 等. 乌梁素海浮游植物功能群季节演替规律及影响因子[J]. 生态环境学报, 2015, 24(10): 1668-1675. LI Xing, LI Jian-ru, XU Xiao-qing, et al. Seasonal succession of phytoplankton functional groups and their relationship with environmental factors in Wuliangsu Lake[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2015, 24(10): 1668-1675.
- [15] 何宝南, 何江涛, 王 健, 等. 顺义潮白河再生水受水区反硝化作用初探[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(8): 1565-1572. HE Bao-nan, HE Jiang-tao, WANG Jian, et al. Preliminary investigation on the denitrification of reclaimed water intake area of the Chaobai River[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(8): 1565-1572.
- [16] 汤江武, 吴逸飞, 薛智勇, 等. 肥料在水产养殖中的应用及前景[J]. 淡水渔业, 2003, 33(4): 62-63. TANG Jiang-wu, WU Yi-fei, XU Zhi-yong, et al. Outlook to fertilizer utilization in aquaculture[J]. *Freshwater Fisheries*, 2003, 33(4): 62-63.
- [17] 金丽娜, 徐小清. 微囊藻毒素对鱼类毒性影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 2003, 27(6): 644-647. JIN Li-na, XU Xiao-qing. A review of the toxic effect of microcystin on fish[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(6): 644-647.
- [18] 葛 虹, 张 扬. 水体富营养化及对鱼类的毒性[J]. 水生生态学杂志, 2006, 26(6): 79-81. GE Hong, ZHANG Yang. Water eutrophication and its toxicity to fishes [J]. *Reservoir Fisheries*, 2006, 26(6): 79-81.
- [19] 戴国飞, 张 伟, 彭宁彦, 等. 枯水期鄱阳湖及其滨湖水体氮磷等污染物分布与藻华风险研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(5): 838-844. DAI Guo-fei, ZHANG Wei, PENG Ning-yan, et al. Study on distribution of N and P pollutants and risk of cyanobacteria bloom in Poyang Lake and waters around the lake during drought periods[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2015, 24(5): 838-844.
- [20] 滕益莉, 王沛芳, 任凌霄, 等. 锌和铁对浅水湖泊中浮游植物复苏影响研究: 以玄武湖为例[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(3): 540-547. TENG Yi-li, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, et al. Impact of zinc and iron on phytoplankton community structure during recruitment: A case study in Lake Xuanwu, Nanjing [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(3): 540-547.
- [21] 孙卫明, 董双林, 赵夕旦, 等. 不同施肥组合对盐碱地凡纳滨对虾池塘中浮游生物的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(S1): 30-34. SUN Wei-ming, DONG Shuang-lin, ZHAO Xi-dan, et al. Plankton community responses to various fertilization combinations in saline-alkaline pond of shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(S1): 30-34.
- [22] Fallahi M, Amiri A, Arshad N, et al. Culture of Chinese carps using anaerobic fermented cow manure (slurry) and comparison of survival and growth factors versus traditional culture[J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2013, 12(1): 56-75.
- [23] Smith V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton[J]. *Science*, 1983, 221: 669-671.
- [24] 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 by tilapia[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(6): 811-818.
- [25] 尹春华, 宣劲松, 吕 乐, 等. 罗非鱼治理蓝藻水华研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(23): 11112-11114. YI Chun-hua, XUAN Jin-song, LÜ Le, et al. Study on controlling cyanobacteria bloom with tilapia[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(23): 11112-11114.
- [26] 赵 文, 董双林, 郑伟刚, 等. 罗非鱼对盐碱池塘围隔浮游生物群落的影响[J]. 动物学研究, 2000, 21(2): 108-114. ZHAO Wen, DONG Shuang-lin, ZHENG Wei-gang, et al. Effects of Nile tilapia on plankton in enclosures with different treatments in saline-alkaline ponds[J]. *Zoological Research*, 2000, 21(2): 108-114.