

枯草芽孢杆菌培育生物絮团对池塘水体浮游生物的影响

聂伟¹, 刘立鹤¹, 刘稳¹, 付坦¹, 周哲², 吴鹏飞²

(1. 武汉轻工大学动物科学与营养工程学院, 武汉 430023;

2. 标优美生态工程股份有限公司, 南京 210019)

摘要:为探究枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)培育生物絮团对浮游生物的影响,以枯草芽孢杆菌作为试验菌种,以养殖池塘水为试验用水,在有机玻璃水族箱(100 cm×60 cm×50 cm)中进行为期40 d的生物絮团培育试验。试验以添加葡萄糖为处理组 I,同时添加枯草芽孢杆菌和葡萄糖为处理 II 组,仅添加枯草芽孢杆菌为处理 III 组,对照组不添加任何物质。试验过程中每 5 d 对各组水体取样,对形成的絮团物质进行显微观察,同时对各组水体中浮游生物进行定性和定量分析。结果表明,本试验条件下,处理 I 组和处理 II 组在第 15 天左右形成成熟生物絮团,生物絮团形成前期(试验开始至第 15 天),生物絮团组(处理 I 组和处理 II 组)水体中浮游植物丰度显著高于处理 III 组和对照组,而絮团形成后期(第 15~40 天),生物絮团组水体中蓝藻门的微囊藻属(*Microcystis*)、鞘丝藻属(*Lyngbya*)和绿藻门的扁藻属(*Platymonas*)、盘藻属(*Gonium*)和团藻属(*Volvax*)的丰度显著低于处理 III 组和对照组,表明生物絮团的形成前期对浮游植物有明显促进作用,生物絮团形成后期对蓝藻门中的微囊藻属、鞘丝藻属和绿藻门的扁藻属、盘藻属和团藻属有明显抑制效果;生物絮团形成后期,生物絮团组水体中轮虫、枝角类和桡足类浮游动物丰度显著高于处理对照 III 组和对照组,表明生物絮团对轮虫、枝角类和桡足类有明显促进作用。

关键词:枯草芽孢杆菌;生物絮团;浮游植物;浮游动物

中图分类号:Q148 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)05-0065-07

生物絮团技术作为当前水产养殖中较为先进的技术之一,近年来一直被广泛关注。生物絮团技术是指向养殖水体中添加有机碳源,保持适当碳氮比,定向调控养殖系统微生物群落,通过微生物将水体中无机氮转化成菌体蛋白的一种新型养殖技术,由污水处理中的活性污泥技术发展而来(Burford et al, 2004)。养殖水体中的有机质、无机物、浮游植物和浮游动物等通过异养微生物絮凝作用而形成的具有生物活性的絮团物质称为生物絮团(罗文等, 2014)。养殖水体中,浮游生物作为滤食性水产动物的饵料,在物质运输和能量传递中起到重要的调节作用,同时与养殖水体的稳定和生产力密切相关(黄进强等, 2011)。浮游生物是水生生物食物链的基础,在水生生态系统中占有重要地位,其数量的分布和变动直接或间接影响到渔业生产(赵文等, 2001;李宽意等, 2002)。浮游植物作为水体中主要

初级生产者和溶解氧的主要制造者,在水生态系统中担当重要角色(金相灿, 1990)。浮游动物作为水体中重要的消费者之一,很多浮游动物主要以浮游植物和水体中的细菌为食,同时其自身又是一些水产动物的优质饵料(Jurgens et al, 1994; Kim et al, 2000; Modenutti et al, 2003; Flores-Burgos et al, 2005)。因此,浮游生物在水产养殖中具有重要作用。

大量研究表明,生物絮团可有效降低水体中有害氮含量(刘颖等, 2004; Azim & Little, 2008),提高水产动物免疫力(Crab et al, 2012; Xu et al, 2012),同时生物絮团可作为罗非鱼及对虾等的天然饵料,在水产养殖中具有较好效果(Azim & Little, 2008; Avnimelech & Kochba, 2009; Avnimelech & Kochba, 2009; 鲁璐等, 2010; Crab et al, 2012; Zhao et al, 2012; 李朝兵, 2012)。然而,生物絮团的研究主要集中在碳源及碳氮比调节、絮团成分分析和生物絮团对水质影响等方面(Crab et al, 2012; Zhao et al, 2012; 李朝兵, 2012);而关于生物絮团的形成机理及其形成过程中对水体浮游生物影响的研究却鲜有报道。因此,本试验以葡萄糖作为有机碳源,向养殖池塘水体中添加枯草芽孢杆菌以培育生物絮团,旨在探究生物絮团形成过程中水体中浮游生物种类和

收稿日期:2016-07-12

基金项目:江苏省省级工业和信息产业转型专项(编号 2015187);
湖北省教育厅教改项目(2016337)。

作者简介:聂伟, 1989 年生,男,硕士研究生,研究方向为水生生物资源学。E-mail: niewei112@163.com

通信作者:刘立鹤,男,博士,副教授。E-mail: liulihe06@126.com

数量的变化情况,为池塘养殖废水处理和生物絮团的进一步研究提供参考数据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验菌种选择具有絮凝活性的枯草芽孢杆菌,由标优美生态工程股份有限公司技术研发部提供。预试验中分别以葡萄糖、蔗糖、淀粉、麦芽糖和果糖做为碳源,以枯草芽孢杆菌作为絮凝菌种培育生物絮团,其中以葡萄糖为碳源组培育生物絮团效果最佳,故本试验中以葡萄糖作为有机碳源。

1.2 试验设计

本试验于2015年5-8月在标优美生态工程股份有限公司技术研发部生理与生化试验室进行,试验在有机玻璃水族箱(100 cm×60 cm×50 cm)中进行,试验水体为养殖池塘水体,有效水体250 L;试验共设定3个处理组和1个对照组,每组设置3个重复,分组情况见表1。

参照 Avnimelech (1999) 提出的计算公式,葡萄糖添加量以使水体中碳氮比达到 20 : 1 为标准,且处理 I 组和处理 II 组葡萄糖的添加量相同;枯草芽孢杆菌的添加量以添加后水体中该菌的数量达到 10⁹CFU/L 为标准。试验持续40 d。试验过程中,水温控制在(25.0±0.5)℃,保持持续充气,光照控制在黑暗和光照各12 h,整个试验过程中除补充因蒸发和取样损失的水外,不换水。每5 d取水样1次,取样时间为08:30~09:00。

表1 试验分组信息
Tab.1 Experimental design

添加物	处理 I 组	处理 II 组	处理 III 组	对照组
葡萄糖	+	+	-	-
菌株 BX-13	-	+	+	-

注:“+”示添加该物质,“-”表示不添加该物质。
Note:“+” substance added,“-” substance not added.

1.3 指标测定

生物絮团形成量检测参照 Avnimelech (1999) 的方法;浮游植物、浮游动物的采集、处理与定性定量分析按照《内陆水域渔业自然资源调查手册》进行(张许光,2013)。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 和 SPSS 17.0 统计软件对数据进行统计分析,并采用 One-way ANOVA 单因素方差分析;若差异显著,再进行 Duncan's 多重比较, P < 0.05 为差异显著。

2 结果

试验过程中,对生物絮团形成量检测(图1)及对试验组水样镜检发现,处理 I 组和处理 II 组在第15天左右形成成熟的生物絮团物质,且絮团结构较为稳定。因此可将试验开始至第15天确定为生物絮团形成期,第20天至试验结束为生物絮团形成后期。

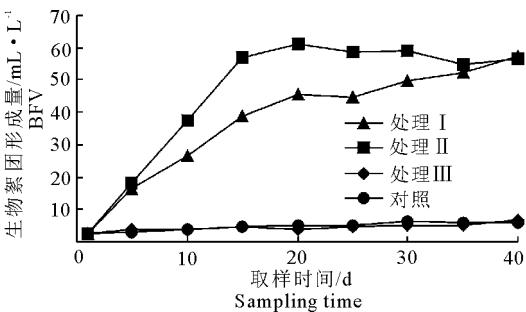
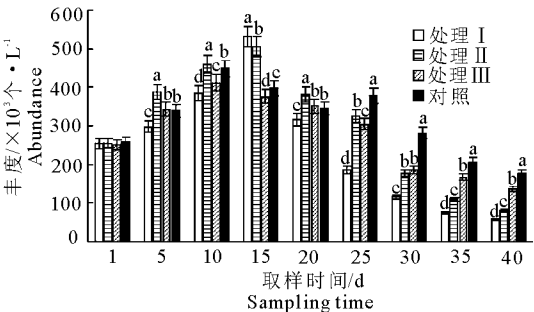


图1 各组水体生物絮团形成量的变化
Fig.1 Variation of biofloc volume (BFV) in each group

2.1 浮游植物丰度变化

生物絮团形成过程中对水体浮游植物丰度的影响见图2。可见在整个试验过程中,各处理组水体中浮游植物总丰度均呈先上升、后降低的趋势,而对照组则处于波动变化。试验开始时,处理组和对照组中浮游植物的总丰度为 2.5 × 10⁵ 个/L,之后开始上升。处理 I 组和处理 II 组中浮游植物总丰度在第15天达到峰值,分别为 5.3 × 10⁵ 个/L, 5.0 × 10⁵ 个/L;处理 III 组和对照组在第10天达到最大值,最大值为 3.7 × 10⁵ 个/L 和 4.0 × 10⁵ 个/L。第5天,处理 I 组和处理 II 组中浮游植物总丰度较其他各组差异显著(P < 0.05),处理 III 组与对照组间差异不显著(P > 0.05);试验第15天,各组间浮游植物总



(同一时间不同字母为差异显著,相同字母为差异不显著)
图2 各组水体中浮游植物总丰度的变化
(Different letters for the same sampling time indicate significant difference, otherwise it is not significant)
Fig.2 Variation of phytoplankton abundance in each group

丰度差异均显著 ($P < 0.05$); 第 25 天, 对照组中浮游植物总丰度首次高于其他各处理组且差异显著 ($P < 0.05$); 试验结束 (第 40 天) 时, 试验组和对照组浮游植物总丰度的关系为: 对照组 > 处理 III 组 > 处理 II 组 > 处理 I 组, 且各组间差异显著

($P < 0.05$)。对处理 II 组和对照组中浮游植物种类比较发现 (表 2), 浮游植物中蓝藻门的微囊藻属 (*Microcystis*)、鞘丝藻属 (*Lyngbya*) 以及绿藻门的扁藻属 (*Platymonas*)、盘藻属 (*Gonium*) 和团藻属 (*Volvox*) 的丰度均显著 ($P < 0.05$) 低于对照组。

表 2 处理 II 组和对照组中部分浮游植物丰度变化
Tab. 2 Comparison of phytoplankton abundance for several species in Treatment II and control

浮游植物		不同时间各组别浮游植物丰度/ $\times 10^3$ 个 $\cdot L^{-1}$		
		组别	第 1 天	第 40 天
蓝藻门 (Cyanophyta)	微囊藻属 (<i>Microcystis</i>)	处理 II	26.13 $\pm$ 1.32	15.76 $\pm$ 0.82 ^a
		对照	30.45 $\pm$ 2.01	87.19 $\pm$ 1.06 ^b
	鞘丝藻属 (<i>Lyngbya</i>)	处理 II	21.07 $\pm$ 1.12	16.62 $\pm$ 1.54 ^a
		对照	21.53 $\pm$ 1.36	39.85 $\pm$ 0.33 ^b
绿藻门 (Chlorophyceae)	扁藻属 (<i>Platymonas</i>)	处理 II	23.82 $\pm$ 0.92	3.36 $\pm$ 0.21 ^a
		对照	22.81 $\pm$ 1.01	25.63 $\pm$ 1.53 ^b
	盘藻属 (<i>Gonium</i>)	处理 II	29.71 $\pm$ 1.33	3.67 $\pm$ 0.14 ^a
		对照	31.57 $\pm$ 1.08	33.67 $\pm$ 1.28 ^b
	团藻属 (<i>Volvox</i>)	处理 II	20.14 $\pm$ 1.76	1.89 $\pm$ 0.02 ^a
		对照	21.05 $\pm$ 1.08	28.94 $\pm$ 0.86 ^b

注: 同一时间不同字母为差异显著, 相同字母为差异不显著。
Note: Different letters for the same sampling time indicate significant difference, otherwise it is not significant.

2.2 浮游动物丰度变化

试验过程中, 浮游动物丰度变化情况见图 3 ~ 图 6。原生动物丰度变化显示, 处理 I 组和处理 II 组中均呈先快速上升、后下降的趋势, 处理 I 组在第 10 天达到峰值 (230 $\pm$ 3) 个/L, 之后开始快速下降, 处理 II 组中原生动物的丰度在第 15 天达到最大值 (227 $\pm$ 5) 个/L, 之后开始下降, 处理 III 组和对照组先缓慢上升后缓慢下降。通过对各组水体中轮虫的定性和定量分析发现, 共观察到 3 种轮虫, 分别为裂足轮虫、前节晶囊轮虫和萼花臂尾轮虫。试验过程中处理 I 组和处理 II 组中轮虫的丰度呈上升趋势, 处理 III 组和对照组为先缓慢上升、后下降的趋势。从第 15 天开始, 处理 I 组和处理 II 组中轮虫丰度显著 ($P < 0.05$) 高于处理 III 组和对照组。

试验共观测到 5 种桡足类, 分别为中华哲水蚤、广布中剑水蚤、尖角哲水蚤、直额裸腹蚤和角突网纹蚤。整个试验过程中, 处理 I 组和处理 II 组桡足类的丰度呈上升趋势, 处理 III 组和对照组呈缓慢下降趋势。从试验的第 5 天开始, 处理 I 组和处理 II 组桡足类的丰度较处理 III 组和对照组差异显著 ($P < 0.05$)。试验结束时, 处理 I 组和处理 II 组桡足类浮游动物丰度显著 ($P < 0.05$) 高于处理 III 组和对照组。而观察到的枝角类浮游动物共有 3 种, 分别为微型裸腹蚤、长肢秀体蚤和透明蚤。试验过程中, 处理 I 组和处理 II 组枝角类浮游动物丰度呈先上升、后下降趋势, 而处理 III 组和对照组均呈缓

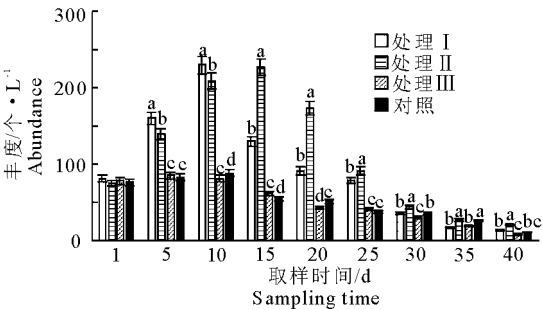


图 3 各组水体中原生动物的丰度变化
(Different letters for the same sampling time indicate significant difference, otherwise it is not significant)

Fig. 3 Variation of protozoan abundance for each group

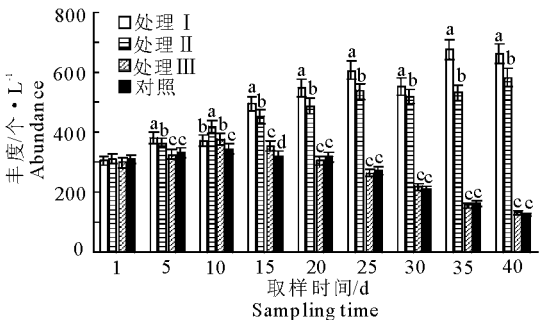
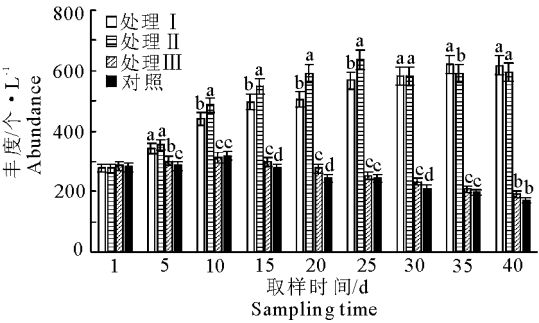


图 4 各组水体中轮虫丰度的变化
(Different letters for the same sampling time indicate significant difference, otherwise it is not significant)

Fig. 4 Variation of rotifer abundance for each group

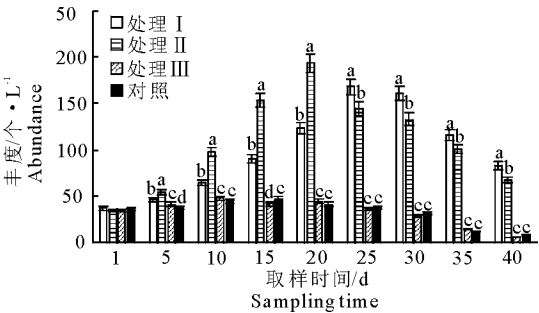


(同一时间不同字母为差异显著,相同字母为差异不显著)

图5 各组水体中桡足类丰度的变化

(Different letters for the same sampling time indicate significant difference, otherwise it is not significant)

Fig.5 Variation of copepod abundance for each group



(同一时间不同字母为差异显著,相同字母为差异不显著)

图6 各组水体中枝角类丰度的变化

(Different letters for the same sampling time indicate significant difference, otherwise it is not significant)

Fig.6 Variation of cladocera abundance for each group

慢下降趋势。处理 I 组枝角类浮游动物丰度在第 25 天达到峰值,处理 II 组枝角类浮游动物丰度在第 20 天达到峰值,处理 III 和对照组中的枝角类浮游动物丰度在整个试验的过程中均不超过 50 个/L。

3 分析与讨论

3.1 生物絮团对池塘水体浮游植物的影响

养殖水体中浮游植物群落结构及生物量会受到光照、温度、营养物质、养殖动物和浮游动物摄食等因素的影响(朱生博等,2008)。本试验是在室内养殖系统中进行,因此水温和光照等外界因素变化较小,可排除其对浮游植物的影响。生物絮团组(处理 I 组和处理 II 组)浮游植物的总丰度呈先上升、后下降趋势,第 5 天时,处理 II 组中浮游生物总丰度显著高于其他各组,可能是因为处理 II 组中同时添加了葡萄糖和枯草芽孢杆菌。试验开始后,枯草芽孢杆菌快速生长增殖过程中将水体中葡萄糖及其

他有机物质转化成无机物质,为浮游植物的生长提供营养,使得浮游植物能够快速生长增殖。Asaduzzaman 等(2010)研究发现,当水体中的碳氮比达到 20:1 时可以显著增加浮游植物的数量。本试验前 15 d 浮游植物丰度的快速上升与之相吻合。第 15 天,处理 I 组和处理 II 组浮游植物总丰度快速下降,在显微镜下观察试验组水体中的生物絮团物质发现,生物絮团形成过程中絮团内的浮游植物多为死亡和老化的藻类,因此推测可能是由于生物絮团的形成过程中微生物的絮凝作用将水体中浮游植物凝聚形成絮团物质,絮团中藻类的大量凝集,造成其内部的藻类营养和氧气不足,导致部分藻类死亡;再者,絮团内微生物分泌的胞外产物对浮游植物的生长也可能有一定的抑制作用。

对浮游植物蓝藻门和绿藻门的丰度变化分析可知,试验开始至第 15 天,其丰度呈上升趋势,第 15 天后开始快速下降,处理 I 组和处理 II 组蓝藻门和绿藻门浮游植物的丰度均呈上升趋势,尤其蓝藻门的微囊藻属、鞘丝藻属和绿藻门的扁藻属、盘藻属和团藻属种类变化较为明显。蓝藻门和绿藻门浮游植物变化的原因可能是在絮团形成过程中,水体的异养微生物(水体土著种类和试验添加的枯草芽孢杆菌)利用水体中碳源和氮源进行快速生长增殖,该过程将水体中的有机物分解成藻类可以利用的无机营养物质,同时异养微生物生长过程中的代谢物质也促进一些藻类的生长,一些藻类的生长增殖又为生物絮团的形成提供了必要的条件。有研究表明,水体中异养微生物能利用溶解和非溶解性营养物,异养细菌与初级生产者(浮游植物)竞争水体溶解的无机营养物质(Stramski et al,2002)。本试验表明,培育的生物絮团对水体蓝藻门和绿藻门浮游生物的生长有明显抑制作用,絮团形成后(第 20 天后),尤其对微囊藻属、鞘丝藻属、扁藻属、盘藻属和团藻属种类的抑制作用明显,但其具体抑制作用的机理还有待进一步研究。

3.2 生物絮团对池塘水体浮游动物的影响

浮游动物是水域生态系统食物链中一个重要环节,它可以通过摄食控制浮游植物来调节水体生态平衡,对水域生态系统的结构和功能起重要的调控作用(武丹等,2013),浮游动物的生长繁殖与水温等水化条件密切相关(刘丙阳等,2011)。本试验中,生物絮团形成期,生物絮团组(处理 I 组和处理 II 组)原生动物丰度显著高于对照组,生物絮团形成后期,原生动物丰度开始下降。生物絮团形成期,原

生动物丰度的快速上升,可能是由于水体中异养微生物利用葡萄糖等物质进行快速生长增殖,同时一些藻类也大量生长增殖,为原生动物提供了生长繁殖所需的营养物质。生物絮团形成后期,由于水体营养的大量消耗以及轮虫等其他浮游动物数量的增多,对原生动物的捕食作用增强也是其数量减少的重要原因;另外,有研究表明,水体中的悬浮物质可直接妨碍浮游动物的摄食行为及对食物的吸收(Kirk & Gilbert, 1990),同时可通过影响浮游植物的组成及数量来影响浮游动物的摄食(Song et al, 2010)。

本试验中,处理 I 组和处理 II 组由于生物絮团形成量的不断增多,且水体保持不断曝气状态,水体中生物絮团处于悬浮状态,絮团悬浮物质浓度处于较高水平,可能也是本试验中原生动物丰度变化的原因。生物絮团组水体中轮虫和桡足类浮游动物丰度呈上升趋势,可能由于桡足类在水体中运动速度较快,主动摄食能力较强,降低了生物絮团悬浮物对其影响(Thorpe & Covich, 2001)。周礼斌和陈非洲(2015)研究发现,在强再悬浮条件下,再悬浮强度对桡足类有一定的负面影响。由于轮虫也具有较强的摄食能力,可摄食生物絮团物质促进自身生长增殖,能很好地适应生物絮团造成的高浓度悬浮物条件(Kirk & Gilbert, 1990)。蒋伟伟等(2010)研究发现,随着水体中固体悬浮颗粒物浓度的升高,浮游动物有向小型化转变的趋势。本试验中,生物絮团组中轮虫和桡足类浮游动物的丰度呈上升趋势,但显微观察发现,生物絮团形成后,轮虫和桡足类浮游动物的个体较试验开始时变小,本结果与之相符合。生物絮团组水体中的枝角类浮游动物先增加、后缓慢降低,可能由于随着生物絮团不断形成,水体中的生物絮团悬浮物浓度过高对其影响所致。国外研究表明,水体中悬浮颗粒物浓度过高会降低枝角类等大型浮游动物对食物的摄食和吸收,并且使得浮游动物体重增加,从而导致呼吸作用所需能量增加,直接或间接降低其怀卵率和存活率(Löffle, 1979; Arruda et al, 1983; McCabe & Ó'Brien, 1983; Zurek, 1983);另有研究表明,水动力引起的悬浮质增加等物理因子的改变影响浮游动物的摄食,进而改变浮游动物的组成和数量(Chen et al, 2002),与本试验中生物絮团形成后期枝角类缓慢降低相吻合。由本试验可以看出,生物絮团形成过程对轮虫、枝角类和桡足类等浮游动物有一定的促进作用,但其作用机理还有待进一步研究。

参考文献

- 黄进强,王建福,刘哲,等, 2011. 黄河上游池塘浮游生物群落结构的研究[J]. 安徽农业科学, (19): 11669 - 11670.
- 蒋伟伟,刘正文,郭亮,等, 2010. 沉积物再悬浮对浮游动物群落结构影响的模拟实验[J]. 湖泊科学, 22(4): 557 - 562.
- 金相灿, 1990. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 李朝兵, 2012. 生物絮团作为鲢饵料的研究与应用[D]. 上海: 上海海洋大学.
- 李宽意,刘正文,高光,等, 2002. 低洼盐碱地鱼虾混养塘中的浮游生物[J]. 湖泊科学, 14(4): 369 - 373.
- 刘丙阳,赵文,郭凯,等, 2011. 辽宁汤河水库浮游动物的群落结构其时空格局[J]. 大连海洋大学学报, 26(6): 526 - 531.
- 刘颖,丁桂珍,胡传红, 2004. 枯草芽孢杆菌对养殖水体水质影响研究[J]. 淡水渔业, 34(5): 12 - 14.
- 鲁璐,罗国芝,谭洪新,等, 2010. 生物絮凝技术处理水产养殖用水效果的初步研究[J]. 渔业现代化, 37(6): 6 - 10.
- 罗文,王广军,龚望宝,等, 2014. 生物絮团技术对彭泽鲫生长及养殖水质的影响[J]. 南方农业学报, (2): 318 - 322.
- 武丹,王海英,张震, 2013. 天津于桥水库夏季浮游生物调查及群落结构变化[J]. 湖泊科学, 25(5): 735 - 742.
- 张许光, 2012. 生物絮团技术在凡纳滨对虾工厂化养殖中的应用与研究[D]. 青岛: 中国海洋大学.
- 赵文,董双林,张美昭,等, 2001. 盐碱池塘浮游动物的种类组成和生物量[J]. 水产学报, 25(1): 26 - 31.
- 周礼斌,陈非洲, 2015. 沉积物再悬浮对食浮游动物鱼类捕食浮游动物的影响[J]. 湖泊科学, 27(5): 911 - 916.
- 朱生博,王岩,王小东,等, 2008. 不同放养和管理模式下三角帆蚌养殖水体中的浮游生物和初级生产力[J]. 生态学杂志, 27(3): 401 - 407.
- Arruda J A, Marzolf G R, Faulk R T, 1983. The role of suspended sediments in the nutrition of zooplankton in turbid reservoirs[J]. Ecology, 64(5): 1225 - 1235.
- Asaduzzaman M, Rahman M M, Azim M E, et al, 2010. Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds [J]. Aquaculture, 306(1/2/3/4): 127 - 136.
- Avnimelech Y, Kochba M, 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using ¹⁵N tracing [J]. Aquaculture, 287(1/2): 163 - 168.
- Avnimelech Yoram, 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems [J]. Aquaculture, 176(3): 227 - 235.

- Azim M E, Little D C, 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 283(1): 29–35.
- Burford M A, Thompson P J, McIntosh R P, et al, 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system[J]. *Aquaculture*, 232: 525–537.
- Chen W M, Qin B Q, Xu Q J, 2002. Simulated experimental study on succession of zooplankton caused by water flow [J]. *Studia Marina Sinica*, 44: 43–51.
- Crab R, Defoirdt T, Bossier P, et al, 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges[J]. *Aquaculture*, 356(4): 351–356.
- Flores-Burgos J, Sarma S S S, Nandini S, 2005. Effect of Single Species or Mixed Algal (*Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus*) Diets on the Life Table Demography of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera: Brachionidae)[J]. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 33(6): 614–621.
- Jurgens K, Arndt H, Rothaupt K O, 1994. Zooplankton-mediated changes of bacterial community structure[J]. *Microbial Ecology*, 27: 27–42.
- Kim H W, Hwang S J, Joo G J, 2000. Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in a regulated large river (Nakdong River, Korea)[J]. *Journal of Plankton Research*, 22(8): 1559–1577.
- Kirk K L, Gilbert J J, 1990. Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans[J]. *Ecology*, 71(5): 1741–1755.
- Löffle H, 1979. Neusiedlersee: the limnology of a shallow lake in central Europe; Monographiae Biologicae 37. In: Illies J ed. The zooplankton of the open lake[M]. The Hague-Boston-London; Dr. W. Junk Publ: 281–335.
- McCabe G D, Ó'Brien W J, 1983. The effects of suspended silt on feeding and reproduction of *Daphnia pulex*[J]. *American Midland Naturalist*, 110: 324–337.
- Modenutti B, Queimalifios C, Balseiro E, et al, 2003. Impact of different zooplankton structures on the microbial food web of a South Andean oligotrophic lake[J]. *Acta Oecologica*, 24: 289–298.
- Song X L, Liu Z W, Yang G J, et al, 2010. Effects of resuspension and eutrophication level on summer phytoplankton dynamics in two hypertrophic areas of Lake Taihu, China [J]. *Aquatic Ecology*, 44: 41–54.
- Stramski D, Scliandra A, Claustre H, 2002. Effects of temperature, nitrogen, and light limitation on the optical properties of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* [J]. *Limnol Oceanogr*, 47(2): 392–403.
- Thorpe J H, Covich A P, 2001. Ecology and classification of north American freshwater invertebrates[A]. In: Williamson C E, Reid J W eds. *Copepoda*[C]. San Diego CA: Academic Press: 915–954.
- Xu W J, Pan L Q, Zhao D H, et al, 2012. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks[J]. *Aquaculture*, 353(3): 147–153.
- Zhao P, Huang J, Wang X H, et al, 2012. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus* [J]. *Aquaculture*, 354/355(3): 97–106.
- Zurek R, 1983. Effect of suspended materials on zooplankton. 2. Laboratory investigations of *Daphnia hyalina* Leydig[J]. *Acta Hydrobiologica*, 24: 233–251.

(责任编辑 万月华)

Effect of a *Bacillus subtilis* Biofloc on Plankton in Pond Water

NIE Wei¹, LIU Li-he¹, LIU Wen¹, FU Tan², ZHOU Zhe², WU Peng-fei²

(1. College of Animal Science and Nutritional Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, P. R. China;

2. BIOMAX Ecological Engineering Limited by Share Ltd, Nan jing 210019, P. R. China)

Abstract: Biofloc is an advanced technology in aquaculture and can effectively reduce excessive nitrogen in water, improve the immunity of aquatic animals and provide natural food for some fish species and shrimp. In this study, a biological flocculation test was conducted to evaluate the effects of biofloc on the species number and quantity of plankton in pond water, aiming to provide a reference for treatment of pond culture wastewater and to extend existing research on biofloc technology. From May to August, 2015, a biological flocculation test was carried out in an aquarium (100 cm × 60 cm × 50 cm) with 250 L of pond water, using glucose as the carbon source and *Bacillus subtilis* as the experimental strain. Four groups were set for the experiment: a control group; Treatment I, supplemented with glucose; Treatment II, supplemented with both glucose and *Bacillus subtilis*; Treatment III, supplemented with *Bacillus subtilis*. The quantity of glucose added in Treatments I and II resulted in a carbon-nitrogen ratio of 20 : 1 and *Bacillus subtilis* was added to give 10⁹ CFU/L in Treatments II and III. During the 40 day test, plankton and biofloc were monitored at five day intervals. Biofloc formation was enhanced by the addition of glucose to culture water. The addition of glucose and *Bacillus subtilis* shortened the formation time of a mature biofloc by about five days, compared to addition of glucose alone. In Treatments I and II, the formation of a mature biofloc both peaked on day 15. Early in the test, phytoplankton abundance in Treatments I and II was significantly higher than in Treatment III and the control, but later the abundance of *Microcystis*, *Lyngbya* and *Platymonas*, *Gonium* and *Volvox* in Treatments I and II was significantly lower than those in Treatment III and control. These results indicate that the formation of a biofloc initially increases phytoplankton abundance and then later inhibits the growth of *Microcystis*, *Lyngbya* and *Platymonas*, *Gonium* and *Volvox*. The abundance of rotifers, cladocera and copepods in Treatments I and II was also significantly higher than in Treatment III and control late in the experimental period, suggesting that the biofloc promotes the growth of rotifers, cladocera and copepods.

Key words: *Bacillus subtilis*; biofloc; phytoplankton; zooplankton