

张 艺. 不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团形成、水质及育苗效果的影响[J]. 渔业研究, xxxx, xx(x): 1–9.
Zhang Y. Effects of different carbon sources on the bioflocs formation, water quality and seeding effects of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) seedling water[J]. Journal of Fisheries Research, xxxx, xx(x): 1–9.

不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团形成、水质及育苗效果的影响



张 艺

(福建省闽东水产研究所, 福建 宁德 352100)

摘要: 【目的】生物絮团技术已被广泛应用于水产养殖, 发挥了节水减排的作用, 该技术目前已被应用于大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 人工育苗。本研究旨在探讨不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团形成、水质及育苗效果的影响。【方法】以葡萄糖、蔗糖和红糖为碳源并作为试验组, C/N 均为 15, 对照组不加碳源, 进行大黄鱼鱼苗培育试验。【结果】经过 30 d 的培育, 各试验组生物絮团沉降体积 (BFV) 和总固体颗粒悬浮物 (TSS) 含量极显著高于对照组 ($P<0.01$), 其中红糖组 BFV 值和 TSS 值显著高于葡萄糖组和蔗糖组; 各试验组生物絮团粗蛋白质含量显著高于对照组 ($P<0.05$), 其中红糖组生物絮团粗蛋白质含量显著高于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$); 各试验组间氨氮、硝酸盐含量差异不显著 ($P>0.05$), 均极显著低于对照组 ($P<0.01$); 各试验组亚硝酸盐含量均极显著低于对照组 ($P<0.01$), 其中红糖组亚硝酸盐含量显著低于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$); 各试验组 pH 值显著低于对照组 ($P<0.05$), 其中红糖组 pH 值最低, 显著低于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$); 各试验组大黄鱼鱼苗绝对生长量和特定生长率均显著高于对照组 ($P<0.05$), 其中红糖组大黄鱼鱼苗绝对生长量最大, 显著高于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$); 各试验组大黄鱼鱼苗存活率均显著高于对照组 ($P<0.05$), 其中红糖组存活率最高, 显著高于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$)。【结论】各试验组均获得了更好的养殖水质和养殖效果, 其中以红糖作为碳源效果最好。本研究结果可为优化大黄鱼生物絮团育苗技术提供参考。

关键词: 大黄鱼; 碳源; 生物絮团; 水质

中图分类号: S965.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096–9848 (xxxx) 00–0001–09

生物絮团技术由以色列养殖专家 Avnimelech^[1]于 1999 年首次提出, 该技术主要是通过人为向养殖水体中添加有机碳物质, 调节水体中的碳氮比 (C/N), 一方面利用异养菌吸收水体中无机氮; 另一方面快速繁殖的异养菌能够絮凝成生物絮团, 可以被养殖生物摄食, 减少饵料的投入。该理论提出后, 不同的碳源、C/N 在水产养殖中的应用引起了国内外专家们的兴趣^[2–6], 采用生物絮团技术可以实现水产养殖的少换水, 甚至零换水^[7–8]。Carb

等^[9]发现在罗非鱼养殖中使用生物絮团技术, 能减少换水率 14% 以上。一些研究认为, 不同碳源会影响生物絮团的结构和营养组成^[10–11], 如 Carb 等^[12]的研究表明, 不同碳源会影响生物絮团蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养成分的组成。在养殖水体中提供适合的碳源, 对于生物絮团的形成和利用有着重要的作用^[13]。

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 属石首鱼科 (Sciaenidae)、黄鱼属 (*Larimichthys*), 是中国较具特

收稿日期: 2024-12-05

修回日期: 2025-02-06

基金项目: 福建省科技厅 STS 计划配套项目 (2021T3059); 福建省属公益类科研院所基本科研专项 (2021R1036001)

第一作者: 张 艺, 男, 高级工程师, 研究方向为水产生物增殖技术。E-mail: 414327765@qq.com

©《渔业研究》编辑部。本文为使用 CC BY-NC-ND 4.0 许可协议的开放获取作品。

© Editorial Office of Journal of Fisheries Research. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

色区域性海水鱼类之一,主要分布在中国沿海,曾是“四大海产”之首。20 世纪 70 年代,酷渔滥捕导致大黄鱼资源趋于枯竭,之后在中国水产科技人员的努力下,实现了全人工繁育和养殖,并逐渐发展成为中国最大规模的海水养殖鱼类^[14],年产量超 25×10^4 t^[15],年育苗量超 30 亿尾。为了减少鱼苗下渔排(网箱)后的病害影响,对大黄鱼采用反季节育苗,即将正常的育苗时间由初夏提早到冬季或早春^[16],该方法可以使下渔排的大黄鱼鱼苗比正常水温下培育的多 2 个月的生长期,明显提高了大黄鱼鱼苗的生长速度和存活率,成为颇具特色的大黄鱼育苗技术,但也带来了升温育苗能耗较高和环境污染的问题。在大黄鱼育苗中采用生物絮团技术可以节约大量的育苗用水,且对于采用升温育苗技术的大黄鱼育苗来说,可以减少巨额的燃料成本和养殖排放。因此,本试验研究了不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团形成、水质指标及育苗效果的影响,以期为进一步优化大黄鱼生物絮团育苗技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在宁德市鼎诚水产有限公司育苗车间进行,鱼苗为 18 d 大黄鱼春苗,平均全长为 (20.3 ± 1.3) mm。试验使用的饲料为市售大黄鱼颗粒饲料,粗蛋白质含量为 47.0%,粗脂肪含量为 5.0%,粗纤维为 2.0%,粗灰分为 16.0%。试验用桶为容量 2.0 m^3 的玻璃钢桶,实际养殖水体体积为 1.6 m^3 。试验用碳源为葡萄糖(恒聚达牌分析纯)、蔗糖(科密欧牌分析纯)和红糖(甘芳牌纯甘蔗红糖)。福建省闽东水产研究所科技伦理审查委员会批准动物试验,批准编码为 MDS-2025-1。

1.2 试验方法

1.2.1 养殖管理

设置以葡萄糖、蔗糖、红糖为碳源的 3 个试验组和不加碳源的对照组,按照试验饲料中蛋白质的含氮量,根据 Avnimelech^[1] 的计算公式设置试验组 C/N 为 15,每个组设置 3 个平行。每桶放养体质健康、活力良好的大黄鱼苗 3 000 尾,试验期间水温控制在 $24 \sim 25$ °C 之间,充分曝气,使溶解氧浓度保持在 5 mg/L 以上,每天换水 10%,试验周期为 30 d。

1.2.2 生物絮团指标测定

每 3 d 取样测定 1 次生物絮团沉降体积(Bio-

flocs volume, BFV)。采用锥形沉淀漏斗取 1 L 水样,经过 30 min 沉淀,读取沉淀漏斗的沉积量数值。

总固体颗粒悬浮物(Total suspended solids, TSS)含量根据 CJ/T 52—2004《城市污水 悬浮固体的测定 重量法》进行测定,取水样 1 L,使用津腾牌微孔滤膜抽滤,在烘箱中 105 °C 烘干 2 h 后称重。

1.2.3 水质指标的测定

每 3 d 取样测定 1 次水体中的氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、pH,其中 pH 采用 pH 计(PSH-3E)测定;水体中的氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮含量参照《水和废水监测分析法》(第四版)^[17]进行测定。

1.2.4 生物絮团营养成分测定

试验结束后,利用 200 目筛绢网过滤收集水体中的生物絮团,置于烘箱中 100 °C 烘干 3 h,将干燥产物进行营养成分测定。粗蛋白质含量采用国家标准 GB/T 2005.9—2010 第一法进行测定;粗纤维含量采用国家标准 GB/T 6434—2022 过滤法进行测定;粗脂肪含量采用国家标准 GB/T 6433—2006 索氏抽提法进行测定。

1.2.5 大黄鱼苗生长、存活情况测定

试验结束后,每组取 30 尾大黄鱼测量全长,计算绝对增长量、特定生长率,并统计各组死亡情况,计算成活率。

$$\text{绝对增长量 (mm)} = L_2 - L_1 \quad (1)$$

$$\text{特定生长率 (\%)} = (\ln L_2 - \ln L_1) / t \times 100 \quad (2)$$

$$\text{成活率 (\%)} = N_2 / N_1 \times 100 \quad (3)$$

式(1)~式(2)中: L_1 、 L_2 分别为初期和末期的全长; N_1 、 N_2 分别为初期和末期大黄鱼苗数量; t 为试验周期。

1.3 统计分析

试验数据利用 WPS Office 表格进行处理,采用平均值±标准差表示。使用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),以 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团形成的影响

各试验组生物絮团 BFV 值随试验的开始快速上升,葡萄糖组和蔗糖组在 18 d 时 BFV 值达到最高;红糖组 BFV 值在 21 d 达到最高,为 39.4 mL/L;之后,各试验组 BFV 值略微下降后再缓慢上升。在 30 d 时,红糖组 BFV 值为 40.1 mL/L,显著高

于其他试验组 ($P<0.05$)。各试验组 BFV 值均极显著高于对照组 ($P<0.01$) (图 1)。

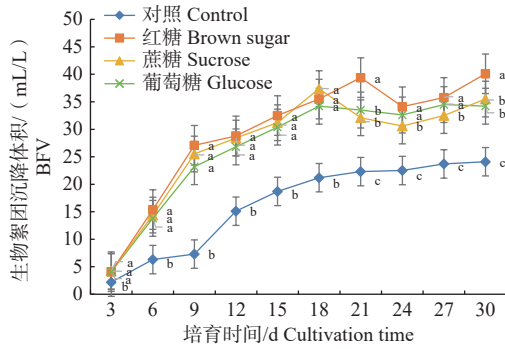


图 1 不同碳源对大黄鱼育苗水体 BFV 值的影响

Fig. 1 Effect of different carbon sources on the values of BFV in different groups in *L. crocea* seedling water

注: 同一培育时间下不同小写字母表示组间差异显著 ($P<0.05$), 相同则差异不显著 ($P>0.05$)。图 2~图 5 和表 1 同此。

Notes: Different lowercase letters in the same incubation time indicate there are significant differences among groups ($P<0.05$), while the same letters indicate no significant differences ($P>0.05$). It's the same as figure 2 – figure 5 and table 1.

各组 TSS 的变化趋势与 BFV 基本相同, 其中葡萄糖组和蔗糖组在 18 d 时 TSS 值达到最高; 红糖组 TSS 值在 21 d 达到最高, 为 315.2 mg/L; 之后, 各试验组 TSS 值下降后基本趋于平稳。在 30 d 时, 红糖组的 TSS 值为 322.5 mg/L, 显著高于其他 2 个试验组 ($P<0.05$)。各试验组 TSS 值均极显著高于对照组 ($P<0.01$) (图 2)。

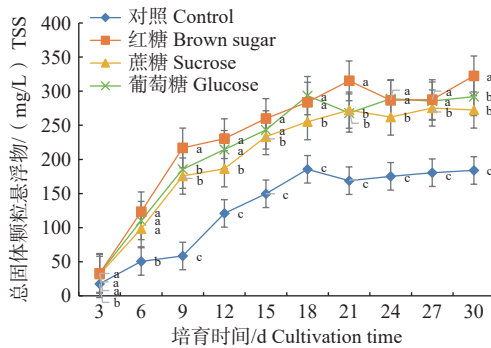


图 2 不同碳源对大黄鱼育苗水体 TSS 值的影响

Fig. 2 Effect of different carbon sources on the values of TSS in different groups in *L. crocea* seedling water

2.2 不同碳源对大黄鱼育苗水体水质指标的影响

2.2.1 对氨氮含量的影响

各试验组氨氮含量在 9 d 时均达到最高, 之后开始下降; 当 18 d 时, 各试验组氨氮含量降低至 1.2 mg/L 左右; 18 d 后, 对照组鱼苗摄食量开始明显低于试验组, 损耗明显增加, 其氨氮含量逐渐上

升, 各试验组氨氮含量在 1.0~1.5 mg/L 之间上下波动。在试验结束时, 各试验组氨氮含量极显著低于对照组 ($P<0.01$), 但试验组之间差异不显著 ($P>0.05$) (图 3)。

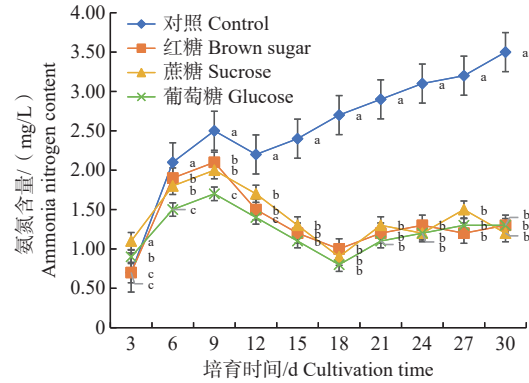


图 3 不同碳源对大黄鱼育苗水体氨氮含量的影响

Fig. 3 The influence of different carbon sources on the ammonia nitrogen content in *L. crocea* seedling water

2.2.2 对亚硝酸盐含量的影响

各组水体中亚硝酸盐含量均随试验的进行而上升, 在 18 d 前, 各试验组亚硝酸盐含量持续上升; 在 18 d 后, 红糖组亚硝酸盐含量下降; 在 21 d 后, 葡萄糖组和蔗糖组亚硝酸盐含量开始下降; 在 30 d 时, 红糖组亚硝酸盐含量显著低于其他 2 个试验组 ($P<0.05$), 蔗糖组和葡萄糖组间亚硝酸盐含量差异不显著 ($P>0.05$)。对照组亚硝酸盐含量一直呈上升趋势, 达到 0.41 mg/L, 极显著高于各试验组 ($P<0.01$) (图 4)。

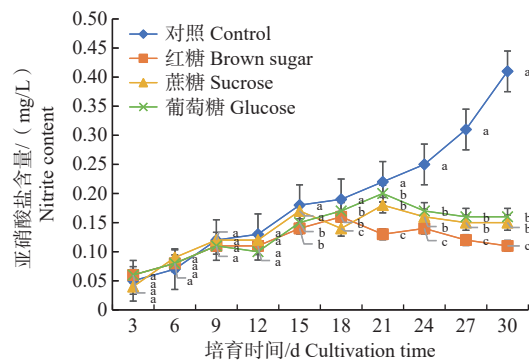


图 4 不同碳源对大黄鱼育苗水体亚硝酸盐含量的影响

Fig. 4 The influence of different carbon sources on nitrite content in *L. crocea* seedling water

2.2.3 对硝酸盐含量的影响

各组硝酸盐含量随试验的进行而上升, 3 个试验组上升较慢。在 30 d 时, 各试验组硝酸盐含量均低于 4 mg/L, 试验组间差异不显著 ($P>0.05$); 对

照组硝酸盐含量持续上升，在 30 d 时达到最高，超过 10 mg/L，极显著高于各试验组 ($P<0.01$) (图 5)。

2.2.4 不同碳源对大黄鱼育苗水体 pH 值的影响

试验组和对照组水体的 pH 值均随着培育时间的延长而降低，至 30 d 时，各试验组 pH 值均显著低于对照组 ($P<0.05$)，其中红糖组 pH 值最低，为 6.88，显著低于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$) (表 1)。

2.3 不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团营养成分的影响

在试验结束时，各试验组生物絮团中蛋白质含量显著高于对照组 ($P<0.05$)，其中红糖组蛋白质含量最高，达 37.43%，显著高于葡萄糖组和蔗糖组 ($P<0.05$)。各试验组脂肪含量也显著高于对照组 ($P<0.05$)，其中红糖组脂肪含量显著高于蔗糖组和葡萄糖组 ($P<0.05$) (表 2)。

2.4 不同碳源对大黄鱼鱼苗培育效果的影响

经过 30 d 培育，各试验组鱼苗的绝对增长量、

特定生长率和存活率均显著高于对照组 ($P<0.05$)，其中红糖组鱼苗的绝对增长量、特定生长率显著高于其他 2 个试验组 ($P<0.05$) (表 3)。

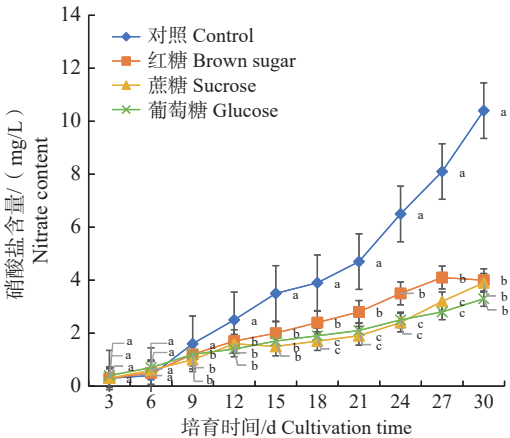


图 5 不同碳源对大黄鱼育苗水体硝酸盐含量的影响
Fig. 5 The influence of different carbon sources on nitrates content in *L. crocea* seedling water

表 1 不同碳源对大黄鱼育苗水体 pH 值的影响

Tab. 1 The impact of different carbon sources on the pH of *L. crocea* seedling water

组别 Groups	培育时间/d Cultivation time									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
对照 Control	8.02±0.04 ^a	7.98±0.03 ^a	7.95±0.02 ^a	7.88±0.03 ^a	7.85±0.02 ^a	7.53±0.01 ^a	7.52±0.01 ^a	7.31±0.02 ^a	7.42±0.02 ^a	7.21±0.02 ^a
红糖 Brown sugar	8.01±0.04 ^a	7.92±0.04 ^b	7.81±0.02 ^b	7.77±0.03 ^b	7.75±0.03 ^c	7.43±0.01 ^b	7.21±0.09 ^c	7.11±0.09 ^b	7.02±0.08 ^c	6.88±0.04 ^c
蔗糖 Sucrose	7.99±0.12 ^a	7.95±0.07 ^a	7.83±0.06 ^b	7.75±0.06 ^b	7.76±0.03 ^c	7.45±0.06 ^b	7.28±0.04 ^c	7.18±0.08 ^b	7.09±0.10 ^b	7.01±0.10 ^b
葡萄糖 Glucose	7.98±0.11 ^a	7.88±0.11 ^b	7.85±0.09 ^b	7.73±0.08 ^b	7.71±0.03 ^b	7.53±0.09 ^a	7.38±0.10 ^b	7.29±0.08 ^a	7.12±0.08 ^b	7.08±0.03 ^b

表 2 各组生物絮团营养成分

Tab. 2 Nutrient composities of bioflocs in each group

指标 Indices	组别 Groups			
	对照 Control	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	红糖 Brown sugar
粗蛋白质 Crude proteins	25.33±0.11 ^C	34.70±0.45 ^B	36.35±2.21 ^B	37.43±1.92 ^A
粗脂肪 Crude fats	6.33±0.18 ^C	8.47±0.32 ^B	8.38±0.13 ^B	9.66±0.14 ^A
粗灰分 Crude ash	18.16±0.34 ^A	16.15±0.14 ^B	16.42±0.13 ^B	14.37±0.14 ^C
水分 Water	50.17±0.55 ^A	38.67±0.84 ^B	40.10±0.72 ^B	38.54±0.56 ^B

注：同一指标中不同大写字母表示组间差异显著 ($P<0.05$)，相同则差异不显著 ($P>0.05$)。表 3 同此。
Notes: Values in the same index with different capital letters mean there are significant differences among groups ($P<0.05$), while the same letters mean no significant differences. It's the same as table 3.

表 3 不同碳源对大黄鱼鱼苗生长的影响

Tab. 3 Effects of different carbon sources on the growth of *L. crocea* fry

指标 Indices	组别 Groups			
	对照 Control	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	红糖 Brown sugar
初全长/mm Initial total length	20.3±1.3 ^A	20.3±1.3 ^A	20.3±1.3 ^A	20.3±1.3 ^A
末全长/mm Final total length	43.3±2.8 ^B	46.3±3.1 ^B	47.6±3.2 ^B	50.7±2.9 ^A
绝对增长量/mm Absolute growth	23.1±1.2 ^C	26.0±1.3 ^B	27.3±1.1 ^B	30.4±1.9 ^A
特定生长率/% Specific growth rate	2.52±0.02 ^C	2.75±0.02 ^B	2.84±0.13 ^B	3.05±0.09 ^A
存活率/% Survival rate	55.53±2.12 ^C	72.17±1.88 ^B	73.23±1.97 ^B	78.73±1.75 ^A

3 讨论

3.1 不同碳源对大黄鱼育苗水体生物絮团形成的影响

适量添加碳源使养殖水体达到一定的 C/N, 可以有效促进异养菌吸收水体中的氮盐转化成菌蛋白^[1], 进而起到降低水体营养盐指标的作用。本试验中, 各试验组水体中 BFV 值和 TSS 值在 18 d 或 21 d 时达到高点, 再略微下降后上升趋于缓慢, 说明添加的碳源有效地促进了异养菌的繁殖, 进而形成了明显多于对照组的生物絮团量, 并且生物絮团量达到 1 个高点后开始下降, 也符合细菌的生长曲线^[18]。卢炳国等^[19]在草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 生物絮团养殖试验中, 发现生物絮团量在 28 d 达到最高后开始下降; 杨章武等^[20]在凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 生物絮团育苗试验中, 发现生物絮团量也呈先上升后下降的变化, 这些均与本研究的结果相近。

不同的碳源对生物絮团形成的影响也有区别, 本研究中红糖组生物絮团 BFV 和 TSS 的最高值均出现在 21 d, 迟于葡萄糖组和蔗糖组的 18 d; 30 d 后红糖组生物絮团的 BFV 和 TSS 值显著高于葡萄糖组和蔗糖组。杨章武等^[20]认为蔗糖比葡萄糖、淀粉更易于形成生物絮团。张哲等^[2]在凡纳滨对虾育苗粗试验中也得出蔗糖能获得更多的生物絮团沉积量的结论。本研究使用的葡萄糖和蔗糖分别属于单糖和二糖, 红糖的主要成分也是蔗糖, 均易溶于水而被异养菌吸收使用^[21], 因此 3 个试验组生物絮团的量均很快超过了对照组。而红糖组生物絮团的量高于其他 2 个试验组, 可能是因为其含有少量的维生素和铁等微量元素, 这些微量元素对异养菌的繁殖有一定的促进作用。

额外添加碳源能够提高生物絮团的蛋白质含量^[22], 如徐武杰^[7]发现在凡纳滨对虾养殖系统中, 越高 C/N 值的养殖系统的生物絮团蛋白质含量越高; Azim 等^[23]在尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 养殖系统中培育的生物絮团的蛋白质含量可达 38.41%; Ballester 等^[24]在圣保罗对虾 (*Farfantepenaeus paulensis*) 养殖系统获得的生物絮团的平均蛋白质含量为 30.4%。本研究中, 试验组生物絮团的蛋白质含量在 34.7%~37.43% 之间, 在同等 C/N 值的情况下, 红糖组生物絮团中蛋白含量最高, 造成这种差别的原因可能是不同碳源培育的生物絮团的胞外聚合物有差异^[25], 生物絮团菌群从不同碳源

中获得的益处也存在差异。

3.2 不同碳源对大黄鱼育苗水体水质指标的影响

养殖生物代谢产生的氨氮是水体中氮源的重要来源, 水中氨氮含量升高对养殖生物的毒性会不断增强^[26-28], 在碳源充足的情况下, 异养菌可有效利用水体中的氮源转化为自身的菌蛋白^[29]。本研究中, 各试验组的氨氮含量在 9 d 时达到一个高峰后快速下降, 此后一直处于较低水平。卢炳国等^[19]对草鱼养殖池水质的研究中, 其氨氮的高峰期出现在第 28 天; 王广军等^[30]对杂交鳢 (*Channa argus* ♂ × *C. maculata* ♀) 的研究中, 氨氮的峰值出现在第 5 天, 这些与本研究氨氮含量的变化趋势相似。养殖水体中生物絮团的成熟需要一个过程, 随着水体中异养菌的快速繁殖, 吸收氨氮的能力不断增加, 当达到 1 个平衡点后, 就可以有效地转化吸收水体中的氨氮, 使其保持在较低水平。在不同的研究中, 氨氮的峰值出现在不同的时间, 可能是不同试验的水温和饲料蛋白质含量等差异造成的。本研究中, 亚硝酸盐的峰值出现在 18、21 d, 红糖组峰值要早于其他 2 个试验组, 最终水体亚硝酸盐含量也显著低于其他 2 个试验组, 推测是转化亚硝酸盐的菌群繁殖速度低于直接利用氨氮的菌群, 而红糖更有利于该菌群的繁殖, 因此红糖组获得了更好的亚硝酸盐处理效果。试验组中大量的氨氮被异养菌利用, 因此其硝酸盐的积累也明显低于对照组。

养殖水体受饵料投喂和养殖生物排泄等影响, pH 值下降^[31-32]。本研究中各试验组的 pH 值均显著低于对照组, 而以红糖组 pH 值最低, 结合红糖组在生物絮团生成量和亚硝酸盐吸收上的优势, 推测试验组大黄鱼鱼苗生长更快, 同时异养菌繁殖活动更旺盛, 从而造成了其水体 pH 值降低。

3.3 不同碳源对大黄鱼鱼苗培育效果的影响

水产生物的健康生长需要优良的水环境。高密度养殖水体容易快速积累氨氮, 进而产生亚硝酸盐, 影响养殖生物的健康。水体中的氨氮会侵袭养殖生物的黏膜, 特别是鳃表皮和肠黏膜, 造成养殖生物中毒^[33]。氨氮含量升高会抑制养殖生物的摄食^[34-35], 破坏肝肾器官, 甚至造成死亡^[36]。亚硝酸盐中, NO₂ 可以将鱼血液血红蛋白的亚铁血红素亚基中的亚铁氧化, 形成没有携氧能力的高铁血红蛋白, 降低血液载氧能力^[37-38]。在水产养殖水体中, 采用生物絮团技术可以有效降低水体营养盐的含量^[2,19,30], 进而促进养殖生物的生长^[39-40]。本研究中, 试验组均获得了显著高于对照组的存活率和

生长速度,与张哲等^[2]的研究结果一致。在相同 C/N 值的情况下,不同碳源获得的养殖效果也有所差别。本研究中,红糖组大黄鱼苗生长速度和存活率显著高于其他 2 个试验组,分析其原因,一方面是红糖组在降低亚硝酸上的效果优于其他组,亚硝酸盐含量最早达到峰值且最终值低于其他组;另一方面,红糖组形成的生物絮团蛋白质含量也优于其他组。此外,生物絮团中的菌蛋白还可以为养殖生物提供饵料^[31,41]。生物絮团的粒径较小,悬浮于水中,相对沉性颗粒饲料有较强的适口性。各试验组大黄鱼苗的生长速度均优于对照组,其中生物絮团蛋白质含量最高的红糖组获得了最快的生长速度,说明生物絮团很可能部分替代了大黄鱼鱼苗的饲料,并且对其生长有益。

4 结论

在大黄鱼育苗水体中添加碳源可以有效降低水体中的营养盐含量。不同的碳源在促进生物絮团的形成和吸收营养盐上的效果有所不同,红糖作为碳源获得了更优的亚硝酸盐吸收效果和更高的生物絮团蛋白质含量,且鱼苗生长速度最快,存活率也最高,因此红糖是大黄鱼生物絮团育苗技术中推荐使用的碳源。

参考文献 (References):

- [1] Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems[J]. *Aquaculture*, 1999, 176(3-4): 227 - 235.
- [2] 张哲, 杨章武, 葛辉, 等. 不同碳源对凡纳滨对虾育苗标粗水体生物絮团的结构、营养成分、细菌群落及其水质的影响 [J]. *水产学报*, 2019, 43 (3): 639 - 649.
Zhang Z, Yang Z W, Ge H, *et al.* Effects of different carbon sources on the biofloc formation, nutritional ingredients and bacterial community and water quality in *Litopenaeus vannamei* culture tank[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(3): 639 - 649.
- [3] Zhao P, Huang J, Wang X H, *et al.* The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus*[J]. *Aquaculture*, 2012, 354-355: 97 - 106.
- [4] Bakhshi F, Najdegerami E H, Manaffar R, *et al.* Use of different carbon sources for the biofloc system during the grow-out culture of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings[J]. *Aquaculture*, 2018, 484: 259 - 267.
- [5] 姜艳霞, 杨俊, 管桂萍, 等. 生物絮团养殖中水质调控的碳源策略初探 [J]. *水产养殖*, 2021, 42 (12): 30 - 34.
Jiang Y X, Yang J, Guan G P, *et al.* Research of carbon source strategy for water quality control in biofloc breed[J]. *Journal of Aquaculture*, 2021, 42(12): 30 - 34.
- [6] 刘杜娟, 潘晓艺, 尹文林, 等. 生物絮团在罗氏沼虾育苗中的应用 [J]. *上海海洋大学学报*, 2013, 22 (1): 47 - 53.
Liu D J, Pan X Y, Yin W L, *et al.* Bio-flocs technology application in breeding of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2013, 22(1): 47 - 53.
- [7] 徐武杰. 生物絮团在凡纳滨对虾零水交换养殖系统中功能效应的研究与应用 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
Xu W J. Research and application of bioflocs technology in zero-water exchange shrimp culture system[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [8] Luo G Z, Hou Z W, Tian L Q, *et al.* Comparison of nitrate-removal efficiency and bacterial properties using PCL and PHBV polymers as a carbon source to treat aquaculture water[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020, 5(2): 92 - 98.
- [9] Crab R, Kochva M, Verstraete W, *et al.* Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia[J]. *Aquacultural Engineering*, 2009, 40(3): 105 - 112.
- [10] Hollender J, Van Der Krol D, Kornberger L, *et al.* Effect of different carbon sources on the enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2002, 18(4): 359 - 364.
- [11] Wilén B M, Nielsen J L, Keiding K, *et al.* Influence of microbial activity on the stability of activated sludge flocs[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2000, 18(2): 145 - 156.
- [12] Crab R, Chielens B, Wille M, *et al.* The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae[J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(4): 559 - 567.
- [13] Ray A J, Lewis B L, Browdy C L, *et al.* Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based

- feed in minimal-exchange, superintensive culture systems [J]. *Aquaculture*, 2010, 299(1-4): 89-98.
- [14] 崔晓翠, 王印庚, 陈霞, 等. 槟榔、川楝子复方中草药对大黄鱼 4 种酶活性的影响及对刺激隐核虫的杀灭效果分析 [J]. *中国水产科学*, 2017, 24 (2): 362-373.
- Cui X C, Wang Y G, Chen X, *et al.* Effects of a Chinese herbal compound on non-specific immune activities and extermination of parasite *Cryptocaryon irritans* in *Larimichthys crocea* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 362-373.
- [15] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2021 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 26.
- Bruea of Fisheries, Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2021 China fisheries statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 26.
- [16] 黄伟卿, 刘家富, 刘招坤. 大黄鱼养殖技术 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2019: 119-120.
- Huang W Q, Liu J F, Liu Z K, *et al.* Large yellow croaker cultivation techniques [M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2019: 119-120.
- [17] 国家环境保护总局, 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- State Environmental Protection Administration, Editorial Board of Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods formulated by the National Environmental Protection Administration. Water and wastewater monitoring and analysis methods [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [18] 沈萍. 微生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 129-134.
- Shen P. Microbiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 129-134.
- [19] 卢炳国, 王海英, 谢骏, 等. 不同 C/N 水平对草鱼池生物絮团的形成及其水质的影响 [J]. *水产学报*, 2013, 37 (8): 1220-1228.
- Lu B G, Wang H Y, Xie J, *et al.* Effect of C/N ratio on bioflocs formation and water quality in zero-water exchange grass carp tanks [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(8): 1220-1228.
- [20] 杨章武, 张哲, 葛辉, 等. 几种不同碳源对凡纳滨对虾生物絮团技术育苗效果的影响 [J]. *福建水产*, 2015, 37 (5): 347-352.
- Yang Z W, Zhang Z, Ge H, *et al.* The effects of different carbon sources on larval rearing of *Litopenaeus vannamei* by biofloc technology [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2015, 37(5): 347-352.
- [21] Avnimelech Y. Biofloc technology: a practical guide book [M]. 2nd ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2012.
- [22] Wilén B M, Jin B, Lant P. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties [J]. *Water Research*, 2003, 37(9): 2127-2139.
- [23] Azim M E, Little D C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2008, 283(1-4): 29-35.
- [24] Ballester E L C, Abreu P C, Cavalli R O, *et al.* Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(2): 163-172.
- [25] Wilén B M, Onuki M, Hermansson M, *et al.* Microbial community structure in activated sludge floc analysed by fluorescence in situ hybridization and its relation to floc stability [J]. *Water Research*, 2008, 42(8-9): 2300-2308.
- [26] Bodík I, Blšťáková A, Sedláček S, *et al.* Biodiesel waste as source of organic carbon for municipal WWTP denitrification [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(8): 2452-2456.
- [27] 罗国芝, 吴慧芳, 谭洪新. 自养硝化过程去除循环水养殖系统水体中氨氮的研究进展 [J]. *淡水渔业*, 2019, 49 (2): 83-88.
- Luo G Z, Wu H F, Tan H X. Progress on removing ammonia nitrogen from autotrophic nitrification in recirculating aquaculture system [J]. *Freshwater Fisheries*, 2019, 49(2): 83-88.
- [28] 陈晓庆. 絮团粒径、碳源添加方式和絮团量对生物絮团养殖系统氨氮控制的影响研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.

- Chen X Q. Study on the effects of floc particle size, carbon source addition methods and flocs level on ammonia nitrogen control in bioflocs system[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [29] Azim M E, Asaeda T. Periphyton structure, diversity and colonization[M]// Azim M E, Verdegem M C J, Van Dam A A, *et al.* Periphyton: ecology, exploitation and management. Wallingford: CABI Publishing, 2005: 15 – 33.
- [30] 王广军, 王一飞, 夏耘, 等. 不同碳氮比对杂交鳊稚鱼生长及养殖水质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2016, 51(4): 7 – 13, 19.
- Wang G J, Wang Y F, Xia Y, *et al.* Effect of C/N ratio on the growth performance of hybrid snakehead and water quality of the tanks[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2016, 51(4): 7 – 13, 19.
- [31] 高远, 李蕊, 董登攀, 等. 凡纳滨对虾养殖系统中异养和自养型生物絮团的微生物特性及其与养殖水环境的关系[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(6): 864 – 873.
- Gao Y, Li M, Dong D P, *et al.* Microbial characteristics of heterotrophic and autotrophic biofloc in *Litopenaeus vannamei* culturing systems and their relationship with water quality[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(6): 864 – 873.
- [32] 宋红桥, 管崇武, 张宇雷. 生物絮团养殖模式养殖密度对南美白对虾生长和水质的影响[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(23): 116 – 120.
- Song H Q, Guan C W, Zhang Y L. Effects of culture density on growth of *Penaeus vannamei* and water quality in biofloc model[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(23): 116 – 120.
- [33] 熊小琴, 王岚, 史庆超, 等. 氨氮对鱼类的毒性效应研究进展[J]. *贵州农业科学*, 2021, 49(7): 81 – 87.
- Xiong X Q, Wang L, Shi Q C, *et al.* Research progress on toxic effects of ammonia nitrogen on fish[J]. *Guizhou Agriculture Sciences*, 2021, 49(7): 81 – 87.
- [34] Brinkman S F, Woodling J D, Vajda A M, *et al.* Chronic toxicity of ammonia to early life stage rainbow trout[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2009, 138(2): 433 – 440.
- [35] Foss A, Siikavuopio S I, Sæther B S, *et al.* Effect of chronic ammonia exposure on growth in juvenile Atlantic cod[J]. *Aquaculture*, 2004, 237(1–4): 179 – 189.
- [36] 胡毅, 黄云, 钟蕾, 等. 氨氮胁迫对青鱼幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶、组织结构及血清部分生理生化指标的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(4): 538 – 545.
- Hu Y, Huang Y, Zhong L, *et al.* Effects of ammonia stress on the gill Na^+/K^+ -ATPase, microstructure and some serum physiological-biochemical indices of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(4): 538 – 545.
- [37] Wang Y B, Zhang W J, Li W F, *et al.* Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2006, 32(1): 49 – 54.
- [38] Sampaio L A, Wasielesky W, Miranda-Filho K C. Effect of salinity on acute toxicity of ammonia and nitrite to juvenile *Mugil platanus*[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, 68(5): 668 – 674.
- [39] 劳锦程, 李佳洋, 谭洪新, 等. 黄连对生物絮团系统氨氮处理效率的影响[J]. *渔业现代化*, 2023, 50(5): 8 – 14.
- Lao J C, Li J Y, Tan H X, *et al.* Effects of different concentrations of *Rhizoma coptidis* on ammonia nitrogen treatment capacity of biofloc technology system[J]. *Fishery Modernization*, 2023, 50(5): 8 – 14.
- [40] 王瑞龙, 陈钊, 李健. 溶解碳源与固体碳源对对虾生物絮团养殖系统的影响[J]. *渔业现代化*, 2023, 50(2): 7 – 15.
- Wang R L, Chen Z, Li J. Effects of dissolved and solid carbon sources on shrimp biofloculation system[J]. *Fishery Modernization*, 2023, 50(2): 7 – 15.
- [41] 贺希, 罗国芝, 谭洪新. 枯草芽孢杆菌添加剂对生物絮团菌群结构和营养成分的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(4): 873 – 882.
- He X, Luo G Z, Tan H X. Effect of adding bacillus subtilis on the microbial community structure and nutrition of bioflocs[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(4): 873 – 882.

Effects of different carbon sources on the bioflocs formation, water quality and seeding effects of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) seedling water

ZHANG Yi

(Mindong Fisheries Research Institute of Fujian Province, Ningde 352100, China)

Abstract: [Objective] The bioflocs technology has been widely used in aquaculture, playing a role in water conservation and emission reduction. This technology is currently applied to artificial breeding of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). The study aims to discuss the effects of different carbon sources on the formation of bioflocs, water quality and seeding effects in the water of *L. crocea* fry cultivation. [Methods] Glucose, sucrose, and brown sugar were used as carbon sources. Three experiment groups with a carbon-nitrogen ratio (C/N) of 15 and one control group without carbon sources were set up for *L. crocea* fry cultivation experiments. [Results] The results showed that after 30 days of cultivation, the bioflocs volume (BFV) and total suspended solids (TSS) values of each experiment group were significantly higher than those of the control group ($P < 0.01$), while the BFV and TSS values of the brown sugar group were significantly higher than those of the glucose group and the sugar group. The crude protein content of bioflocs in each experiment group was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$), while the crude protein content of bioflocs in the brown sugar group was significantly higher than that in the glucose group and the sugar group ($P < 0.05$). The differences in ammonia nitrogen and nitrate content values among the experiment groups were not significant ($P > 0.05$), but were significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$). The nitrite content values in each experiment group were significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$), and the nitrite content in the brown sugar group was significantly lower than that in the glucose group and the sugar group ($P < 0.05$). The pH values of each experiment group were significantly lower than those of the control group ($P < 0.05$), and the brown sugar group had the lowest pH value, which was significantly lower than the glucose group and the sugar group. The absolute growth rate and specific growth rate of *L. crocea* yellow croaker fry in each experiment group was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$). The brown sugar group had the highest absolute growth rate of *L. crocea* fry, which was significantly higher than the glucose group and the sugar group ($P < 0.05$). The survival rate of *L. crocea* fry in each experiment group was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$), while the brown sugar group had the highest survival rate, which was significantly higher than the glucose group and sugar groups ($P < 0.05$). [Conclusion] The experimental findings revealed that all test groups successfully enhanced aquaculture water quality and efficiency, with brown sugar emerging as the most effective carbon source. The results of this study could provide a reference for optimizing the bioflocs breeding technology of *L. crocea*.

Key words: *Larimichthys crocea*; carbon source; bioflocs; water quality