

文章编号: 1007-2985(2010)03-0101-05

残饵-水界面氨氮的迁移及其在鱼类投饵 养殖中的潜在生态功能*

葛长宇

(山东大学威海分校海洋学院, 山东 威海 264209)

摘要:用“升索牌”牙鲆专用饵料作为残饵,以静水法培养法研究了氨氮在水-残饵界面的迁移速度.结果表明,在5, 10, 20和30℃时的迁移速度分别是 0.2898 ± 0.0572 , $R = -0.016 \pm 0.0004 t + 0.2855 \pm 0.0302$, 0.2691 ± 0.1490 和 0.2415 ± 0.0805 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.该残饵的鱼当量为0.04~0.54尾牙鲆.即对于牙鲆而言,如果投喂的饵料为“升索牌”饲料,那么残饵使养殖容量降低的比率为 $0.04 \sim 0.54(\frac{m}{cc} - \alpha)$,平均为 $0.23 \pm 0.14(\frac{m}{cc} - \alpha)$.

关键词:残饵;营养盐;水温;迁移速度;鱼当量

中图分类号:S962.3⁺;X502

文献标志码:A

随着沿海网箱养殖规模的扩张和养殖密度的增加,产业的自身污染越来越严重,也得到了越来越多的关注.在这类投饵型养殖海域,残饵和鱼粪等颗粒物是主要内源污染负荷,它们的积聚可导致水体、底质的物理、生物、化学环境发生改变,甚至恶化^[1].因此,开展了很多关于养殖鱼类颗粒态废物产出规律以及鱼类排粪率、摄食率等的研究^[2-3].

鱼类养殖系统遭受的胁迫主要是溶解氧水平的下降、水温的突然改变、氨氮等营养盐的积聚和激增等.尽管营养盐是维持水域初级生产的主要因素,但是当其浓度超过正常水平时,又会对水生生物造成生态胁迫.此外,它们的增加也可致水体的富营养化甚至是赤潮的发生.因此,氨氮等营养盐在水域生态系统中起特殊的作用,也正因如此,氨氮水平也是决定鱼类养殖容量的关键因子^[4].鱼类养殖系统内部营养盐来源主要是系统内养殖生物和污损生物的排泄、底质的释放、粪便或残饵的溶出等^[5].养殖鱼类、野生鱼类、污损生物对水体营养盐的贡献以及水-土界面的营养盐的扩散通量已有研究^[6-9],然而关于营养盐在水-残饵界面的迁移却鲜有涉及,更谈不上残饵对水体自身污染营养盐的贡献的定量化.本研究的目的在于确定氨氮从残饵中的释放速率,并以此为基础估算残饵对自身污染的贡献潜力.

1 材料和方法

1.1 材料

野生牙鲆 *Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel 的产量近年来大幅度降低,由于其过高的市场价格和旺盛的市场需求,及其能快速生长的特性,使之成为我国北方重要的养殖品种.牙鲆不同于其他鱼种,为海生种类,其养殖方式主要是工厂化养殖和浅海网箱养殖.在养殖过程中,主要投喂人工复合饲

* 收稿日期: 2010-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30700619); 山东省科技攻关项目(2008GG30005004)

作者简介: 葛长宇(1973-),男,山东日照人,博士,主要从事水生生态系统健康及养殖容量研究.

料,如‘升索牌’牙鲆专用饲料,本研究即以其作为投喂过程中产生的残饵。

1.2 方法

我国北方网箱养殖牙鲆的周期始自 4 月止于 12 月.而且,北方水域的水温可以用经验公式^[10] $13.1 - 9.2\cos(2\pi(t - 1.78)/12)$ 加以模拟.其中: t 是以月计算的数字,比如 1 月被记作 1.因为目的在于确定残饵对网箱养殖水体自身污染的贡献,故选择 5, 10, 20 和 30 °C 作为实验温度以涵盖养殖周期内的水温范围.

将 0.50 g 在 60 °C 烘至恒重的残饵放入装有 350 mL 经预处理的海水的玻璃瓶中.实验海水取自青岛近海,经脱脂棉过滤,并煮至微沸,再冷却到室温备用.在每一温度水平下,均设 3 个水平和 3 个空白对照.在放入残饵之前,测定海水的氨氮含量.当残饵分别在海水中培养 24, 48, 72, 120 h 后,从每个玻璃瓶中抽取 200 mL 水体测定营养盐含量,同时向每个容器中补充 200 mL 测定了营养盐含量且经过预处理的海水.实验中氨氮用靛酚蓝法测定.

1.3 计算方法

1.3.1 氨氮迁移速度 整个培养时间段内(0~ 24 h, 0~ 48 h, 0~ 72 h, 0~ 96 h 及 0~ 120 h),氨氮自水-残饵界面的迁移速度 R (单位 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 按照

$$R = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta n_i}{w \sum_{j=1}^5 T_j} \quad (1)$$

计算.其中: w 为残饵重量; Δn_i 为整个培养阶段水-残饵界面氨氮释放量; T_j 为培养时间.在本实验中, T_j 为 24 h, 而 $\Delta n =$ 依据

$$\Delta n = v(c_t - c_0 - \Delta c_e) \quad (2)$$

计算.其中: v 为水体体积; c_t 为采样时刻的氨氮浓度; Δc_e 依据

$$\Delta c_e = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 (c_{a_i} - c_{a_0}) \quad (3)$$

计算得到.其中: c_{a_i} 为采样时刻 t 空白对照的氨氮浓度; c_{a_0} 为 t 时刻前的空白对照的氨氮浓度.在未放入残饵之前, c_0 指培养水体最初的氨氮浓度.除此之外, c_0 依据

$$c_0 = \frac{15c_{t-1} + 20c_t}{35} \quad (4)$$

计算.其中: c_{t-1} 为采样时刻 $t - 1$ 时的氨氮浓度; c_t 为补充水体的氨氮浓度.

1.3.2 残饵鱼当量 从氨氮的补充角度看,1.0 g 残饵的生态功能以残饵鱼当量计算.

$$A_f = \frac{R}{f_e w_f} \quad (6)$$

其中: f_e 为养殖鱼类氨氮排泄率; w_f 为单尾鱼的平均体重.

1.4 统计分析

利用 Matlab 7.0 中的 corrcoef 函数判断氨氮的平均释放速度和培养时间的关系,显著性水平为 5%.如果两者之间没有显著相关关系,以培养时间为 72 h 的平均速度作为氨氮的释放速度^[11];否则,则建立平均速度和培养时间的拟合方程 $f(T)$.在 Matlab 7.0 中,用逐步回归的方法获得 $f(T)$,各个同类拟合方程的比较依据是 RMSE(root mean squared error),具有较小 RMSE 的方程的拟合效果较好^[12].

2 结果

2.1 氨氮在水-残饵界面的迁移速度

除了在 30 °C 时,残饵既充当水体氨氮的源又呈现汇的功能外,在其他温度水平下,残饵在整个培养过程中(0~ 24 h, 0~ 48 h, 0~ 72 h, 0~ 96 h 及 0~ 120 h),都是水体氨氮的源.即残饵的存在有增加水体氨氮浓度的效应(图 1).水温为 20, 30 °C 时,迁移速度随时间的增加而增快.而在其他温度水平下,氨氮在水-残饵界面的迁移速度则随着残饵浸泡时间的延长而降低.最大的释放速度发生在 5 °C 时的 0~ 72 h 内,而最小的释放速度在 5 °C 时的 0~ 120 h 内.吸附仅发生在 30 °C 时的 0~ 24 h 内.

氨氮在水-残饵界面的迁移速度和培养时间的相关分析结果列于表 1。从表 1 可以看出, 仅在温度水平为 10 °C 时, 迁移速度和培养时间存在显著相关。故在 5, 20, 30 °C 时, 迁移速度表示为常数, 即培养时间为 72 h 的平均迁移速度; 而 10 °C 的速度表示为方程

$$R = -0.0016 \pm 0.0004t + 0.2855 \pm 0.0302$$

在该温度水平, 迁移速度随着培养时间的延长而降低。

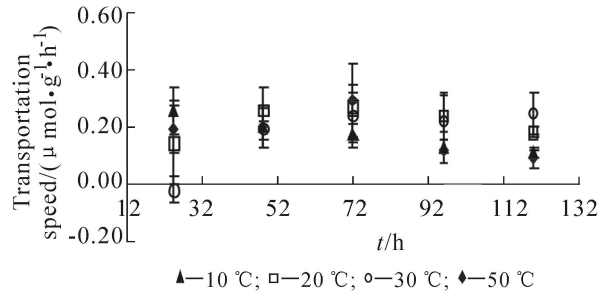


图 1 氨氮在水-残饵界面的迁移速度

Fig. 1 Ammonia Transportation Speed at the Water-Feed Remains Interface

表 1 氨氮在水-残饵界面的迁移速度

Tab. 1 Ammonia Transportation Speed at the Water-Feed Remains Interface

温度水平/°C	相关系数	概率	迁移速度/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	RMSE
5	-0.586 1	0.299 0	0.289 7 $\pm 0.057 2$	
10	-0.991 3	0.001 0	$R = -0.0016 \pm 0.0004t + 0.2855 \pm 0.0302$	0.009 0
20	0.181 7	0.770 0	0.269 1 $\pm 0.149 2$	
30	0.790 0	0.106 3	0.241 5 $\pm 0.080 5$	

2.2 残饵鱼当量

依据线薇薇和朱鑫华的结果^[13], 估算得到残饵的鱼当量, 结果列于表 2。由表 2 可知, 除在残饵培养温度为 10 °C 时与培养时间有关外, 其他培养温度下的鱼当量与培养时间无关。由于本实验残饵的培养时间的上限为 120 h, 所以残饵培养温度为 10 °C 时的鱼当量的范围为 0.04~0.53 ind·g⁻¹。

表 2 残饵鱼当量

Tab. 2 Fish Equivalent of the Feed Remains

温度水平/°C	温度/°C	体重/g	残饵鱼当量/(ind·g ⁻¹)
5	13.5	1.5~115.9	0.32
	18.0	1.8~90.9	0.23
	21.5	2.0~91.8	0.17
	24.0	1.9~100.1	0.14
	27.0	4.3~12.7	0.54
10	13.5	1.5~115.9	-0.001 8t + 0.319 8
	18.0	1.8~90.9	-0.001 3t + 0.228 4
	21.5	2.0~91.8	-0.000 9 t + 0.165 4
	24.0	1.9~100.1	-0.000 8t + 0.137 0
	27.0	4.3~12.7	-0.003 0t + 0.532 9
20	13.5	1.5~115.9	0.30
	18.0	1.8~90.9	0.22
	21.5	2.0~91.8	0.16
	24.0	1.9~100.1	0.13
	27.0	4.3~12.7	0.50
30	13.5	1.5~115.9	0.27
	18.0	1.8~90.9	0.19
	21.5	2.0~91.8	0.14
	24.0	1.9~100.1	0.12
	27.0	4.3~12.7	0.45

3 讨论

3.1 影响营养盐在水-残饵界面迁移的因素

关于水-沉积物界面营养盐通量的研究得到了很多的关注.然而,关于残饵对水体营养盐影响的研究则比较少.许多因素影响水-土界面的营养盐的迁移与转化,比如盐度、潮汐、生物扰动以及底栖硅藻等^[14].然而在鱼类养殖场中最易变的因子是溶解氧水平和温度.由于本研究的目的是残饵对养殖区域内营养盐的影响,故仅讨论溶解氧和温度以及静止水体培养残饵对营养盐在水-残饵界面迁移的影响.

溶解氧是影响水-界面营养盐扩散通量的因子.因为溶解氧水平会影响沉积环境的氧化与还原水平,影响底栖生物包括细菌的活性,在溶解氧不充分的情况下,氨氮的迁移速度将下降^[14].在本研究中,实验水体没有充气,所以笔者所测定的迁移速度可能小于在实际水体中的速度.

另一影响水-沉积物界面营养盐扩散通量的因素则是温度.一般来讲,随温度变化沉积物会作为营养盐的“源”与“汇”不断地转换角色.本实验中,在培养时间为 24 h,且水温为 30 ℃时,残饵呈现为“汇”的功能;而在该培养时段(0~24 h)内其他温度水平时,残饵均作为水体氨氮的“源”.培养时间为 48, 72, 96, 120 h 时,对于水体中的氨氮,残饵均呈现为“源”的功能.而在不同的取样时间段内(例如 24~48 h, 48~72 h 等),残饵则成为水体营养盐的缓冲剂,在“源”与“汇”的转化过程中不断转换角色.当它表现为“汇”时,说明它能缓冲水体营养盐浓度的突然升高.这种角色的转换,很大程度上来自于培养水体因采样和补充水体而导致的营养盐浓度的变化.

颗粒物再悬浮会大量释放营养盐,这在海洋和湖泊的现场试验中均得到了证实^[15,16].其中一个可能的原因是发生再悬浮时,水体混合均匀,有利于使颗粒物质吸附的营养盐物质释放.而当水体静止时,水体内部的营养盐混合不均,颗粒物的附近的营养盐浓度可能高于其他位置水体的营养盐.假设营养盐的扩散动力来自于浓度梯度差,水体的静止会导致营养盐释放的速度降低.本实验方法为静水法,所以实验的结果可能低于在实际水体中的释放速度.

3.2 残饵对养殖水体的生态贡献

自身污染的表达方法一般以水体的有机或无机营养盐负荷、底质中的硫化物含量甚至是水体中赤潮生物的含量来表示.但是,这些表示方法是从总量上来说明自身污染的程度,而无法分清是由哪部分污染源造成的.比如残饵和粪便是网箱养殖区内源污染的主要内源之一,且得到了公认.但是,到底它造成的危害有多大,则难以量化.而选择其对养殖容量的贡献作为其对养殖系统自身污染的贡献则更为合理.假设在不考虑残饵的生态效应时的养殖容量为 cc , 养殖鱼类的摄食率为 α 投喂的饵料干重 m , 在养殖的过程中产生的残饵量为 $m - \alpha \times cc$, 那么由这些残饵产生的生态效应,是使养殖容量变为 $cc - A_f m + A_f \alpha cc$. 即意味着养殖容量的减少率为 $A_f (\frac{m}{cc} - \alpha)$. 对于牙鲆而言,如果投喂的饵料为‘升索牌’饲料,那么残饵使养殖容量降低 0.04~0.54 ($\frac{m}{cc} - \alpha$), 平均为 $0.23 \pm 0.14 (\frac{m}{cc} - \alpha)$.

参考文献:

- [1] 刘家寿, 崔奕波, 刘健康. 网箱养鱼对环境的影响的研究进展 [J]. 水生生物学报, 1997, 21(2): 174-184.
- [2] CROMEY C J, NICKELL T D, BLACK K D. DEPOM OD- Modeling the Deposition and Biological Effects of Waste Solids from Marine Cage Farms [J]. Aquaculture, 2002, 214: 211-239.
- [3] 孙耀, 张波, 唐启升. 摄食水平和饵料种类对黑鲷能量收支的影响 [J]. 海洋水产研究, 2001, 22(2): 32-37.
- [4] BISWAS J K, SARKAR D, CHAKRABOTY P, et al. Density Dependent Ambient Ammonium as the Key Factor for Optimization of Stocking Density of Common Carp in Small Holding Tanks [J]. Aquaculture, 2006, 261: 952-959.
- [5] 葛长宇. 浅海网箱养殖自身污染营养盐的主要来源 [J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2009, 30(5): 82-86.
- [6] GE C. Z, FANG J G, GUAN C T, et al. Metabolism of Marine Net Pen Fouling Organism Community in Summer [J]. Aquaculture Research, 2007, 38(10): 1106-1109.
- [7] 葛长宇, 方建光. 网箱养殖区野生许氏平鲷的种群数量 [J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2006, 27(6): 99-102.
- [8] 葛长宇, 方建光, 关长涛, 等. 海水网箱养殖的关键生物过程研究: 花鲈生理代谢 [J]. 海洋水产研究, 2007, 28(2): 45-50.

- [9] 蒋增杰, 崔毅, 陈碧鹃. 唐岛湾网箱养殖区沉积物-水界面溶解无机氮的扩散[J]. 环境科学, 2007, 28(5): 1 001-1 005.
- [10] 武晋宣. 桑沟湾养殖海域氮、磷收支及环境容量模型[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [11] 范成新, 张路, 秦伯强, 等. 太湖沉积物-水界面生源要素迁移机制及量化1: 铵态氮释放速率的空间差异及源-汇通量[J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 10-20.
- [12] 赵祥, 梁顺林, 刘素红, 等. 高光谱遥感数据的改正暗目标大气校正方法研究[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(12): 1 653-1 659.
- [13] 钱薇薇, 朱鑫华. 褐牙鲆内源氮排泄与体重和温度的关系[J]. 海洋科学集刊, 2002, 44: 194-198.
- [14] 刘敏, 许世远, 侯立军. 长江口潮滩沉积物-水界面营养盐环境生物地球化学过程[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [15] 陈聚法, 赵俊, 孙耀, 等. 桑沟湾贝类养殖水域沉积物再悬浮的动力机制及其对水体中营养盐的影响[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 105-111.
- [16] 范成新, 张路, 秦伯强, 等. 风浪作用下太湖悬浮态颗粒物中磷的动态释放估算[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(8): 760-768.

Transportation of Ammonia Across the Water-Feed-Remains Interface and Its Potential Ecological Effects on Pisciculture

GE Chang-zi

(Marine College, Shandong University at Weihai, Weihai 264209, Shandong China)

Abstract: The transportation speed of ammonia across the water-feed-remains interface was determined by one static water system, during which the feedstuff with the trademark Shengsuo was used as the feed-remains. At 5, 10, 20, 30 °C, the speed was 0.2898 ± 0.0572 , $R = -0.016 \pm 0.0004t + 0.2855 \pm 0.0302$, 0.2691 ± 0.1490 , $0.2415 \pm 0.0805 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. And the fish equivalent of this kind of feedstuff was 0.04~0.54 inds/g. From the point of the ammonia excretion of *P. olivaceus* Temminck et Schlegel, if the cultivated *P. olivaceus* Temminck et Schlegel is fed by the feedstuff with the trademark Shengsuo, the mean reduction ratio of holding capacity which caused by the feed-remains is $0.23 \pm 0.14(\frac{m}{cc} - \alpha)$ and the range is $0.04 \sim 0.54(\frac{m}{cc} - \alpha)$.

Key words: feed-remains; nutrients; water temperature; transportation speed; fish equivalent

(责任编辑 易必武)