

柘林湾网箱鱼类养殖环境氮磷负荷研究

靳祖雷¹, 许忠能¹, 林小涛¹, 马叶胜¹, 杨远航^{1,2}

(1. 暨南大学 水生生物研究所 广东省高校水体富营养化与赤潮防治重点实验室, 广东 广州, 510632; 2. 山东科技职业学院, 山东 潍坊 261053)

摘要: 通过建立模型估算了柘林湾网箱养殖因投饵所产生的环境氮磷总负荷及不同来源、形式的氮磷负荷组成。结果显示, 2006 年柘林湾网箱养殖因投喂冰鲜鱼饵料产生的氮负荷为 2 760.39 t、磷负荷为 679.11 t, 其中残饵氮 1 695.24 t, 占氮负荷的 61.4%, 残饵磷 441.36 t, 占磷负荷的 65.0%, 残饵是构成氮磷负荷的主要组成。对源自残饵的氮磷负荷进一步分析发现残饵鱼体软组织在残饵氮中所占的比重最大为 768.62 t, 而残饵骨在残饵磷负荷中所占比重最大为 241.73 t。氮磷负荷按其状态分: 固态氮为 1 717.38 t, 占氮负荷的 62.2%, 溶解态氮为 1 043.01 t, 约占氮负荷的 37.8%; 固态磷为 595.15 t, 占磷负荷的 87.6%, 溶解态磷为 83.96 t, 占磷负荷的 12.4%。

关键词: 柘林湾; 网箱鱼类养殖; 残饵; 氮磷负荷

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)04-0055-06

柘林湾是位于粤东的半封闭型海湾, 1983 年开始发展网箱养殖, 至今网箱养鱼的年总产量已超过 16 000 t。养殖品种主要有斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)、花尾胡椒鲷(*Plectorhynchus cinctus*)、眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)等 30 多种, 已成为广东省重要的海水网箱养殖基地之一。

随着海水养殖业和周边地区工农业的快速发展, 柘林湾海域环境质量明显下降。1997~1999 年, 该湾发生了多次棕囊藻赤潮, 造成经济损失过亿元, 海水增养殖业和生态环境遭到沉重打击^[1]。目前, 已经有许多学者对柘林湾海域生态环境进行了研究, 如柘林湾网箱养殖区域水体和表层沉积物中的营养状况^[2-4], 柘林湾水体溶氧的分布特征和营养盐的关系^[5], 柘林湾细菌分布及其与环境因素的关系^[6]等。但关于该湾海水养殖氮磷污染物环境负荷的来源和组成的研究尚未见报道。作者主要研究柘林湾网箱鱼类养殖过程中因投饵引起的氮磷负荷的数量及其来源, 为探讨网箱养殖自身污染的机制及其防控措施提供科学依据。

1 材料方法

1.1 柘林湾网箱养殖情况调查

2007 年 11 月~2008 年 3 月对柘林湾网箱鱼类养殖情况进行现场调查。分别走访了当地水产主管

部门、海洋与渔业环境和质量监测部门、网箱养殖户, 实地调查了柘林湾网箱养殖的空间分布、面积、养殖品种、养殖产量、饲料种类和养殖管理措施等。

柘林湾主要网箱养殖区域如图 1 所示。网箱养鱼主要集中在汛洲岛与西澳岛周围, 其中两岛之间网箱分布最为密集。上述网箱养殖区间插有牡蛎养殖, 面积约为网箱养鱼面积的 20%。除汛洲岛与西澳岛周围, 三百门也有一个网箱养殖区。此外, 沿岸线离岸 1~2 km 范围内约 5%~10% 的面积有零星网箱分布。

1.2 养殖鱼类及饲料的氮磷含量

根据柘林湾主要养殖鱼类品种和使用的饲料, 参考作者和其他相关文献, 得出其氮磷含量(表 1)。

1.3 环境氮磷负荷及不同来源氮磷组成的估算模型

网箱鱼类养殖系统中氮磷的输入最主要来自投喂的饲料, 针对由投喂饲料而产生的环境氮磷负荷可通过质量平衡法根据投饵氮磷量(F_{NP})和鱼体净增氮磷量(G_{NP})估算^[9-10]。

收稿日期: 2010-04-07; 修回日期: 2010-07-07

基金项目: 广东省重大科技专项(2007A032600004); 广东省海洋渔业科技推广专项(A200899J01)

作者简介: 靳祖雷(1985-), 男, 山东德州人, 在读硕士研究生, 主要从事水产经济动物和养殖环境研究, 电话: 13570360782, E-mail: jinzl0411@163.com; 林小涛, 通信作者, E-mail: tlinxt@jnu.edu.cn

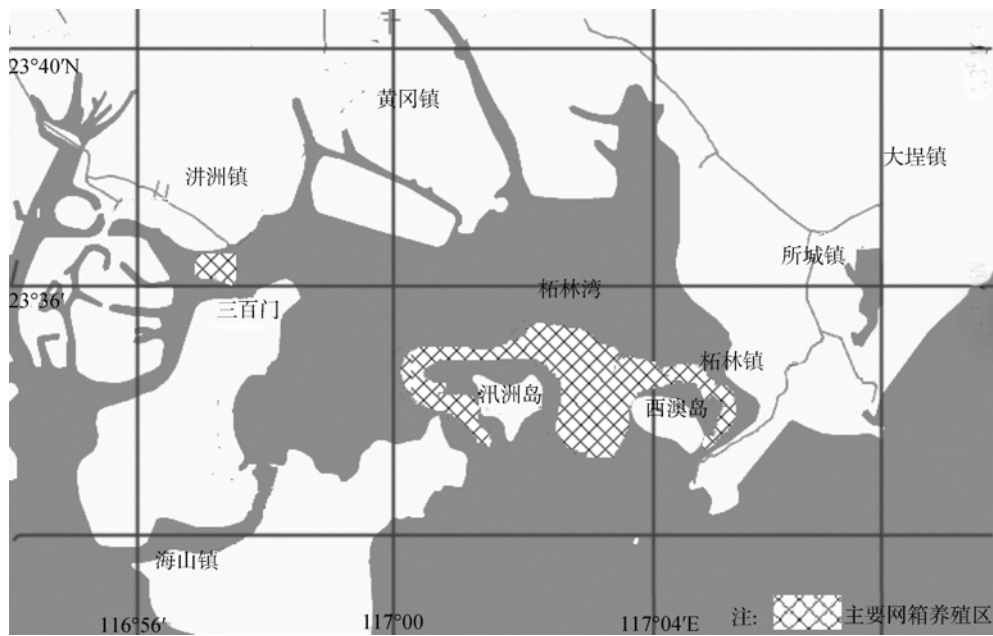


图 1 柘林湾主要网箱养殖区域
Fig. 1 The main cage culture areas of Zhelin Bay

环境氮磷负荷 $L_{NP}=F_{NP}-G_{NP}$ (1)

上式中, 投饵氮磷量 F_{NP} 可由饲料投入量及饲料氮磷含量(f_{NP})估算, 而饲料投入量可通过养殖鱼产量(W)和饲料系数(K)估算。柘林湾网箱养殖主要投喂冰鲜饵料鱼, 仅在禁渔期或冰鲜饵料鱼不足时使用人工配合饲料。根据实地调查结果结合李金秋等^[8]、刘汉元等^[11]对于冰鲜鱼饵料和人工配合饲料的研究结论, 本研究冰鲜饵料鱼饲料系数 K 取 8, 人工

配合饲料 K 取 1.5。即:

投饵氮磷量 $F_{NP}=W\times K\times f_{NP}$ (2)

式(1)中鱼体净增氮磷量 G_{NP} 可通过鱼养殖产量(W)减去鱼苗质量(Y)再乘以鱼体氮磷含量(b_{NP})计算。根据调查结果和参考陆奎贤等^[12]对鱼苗大小与网箱养殖关系的研究, 本研究中鱼苗质量: 养殖产量=1: 10。

鱼体净增氮磷量 $G_{NP}=(W-Y)\times b_{NP}$ (3)

表 1 柘林湾养殖鱼类和饲料的含水量及氮磷含量
Tab. 1 Contents of moisture , nitrogen, and phosphorus of farmed fish and feed in the Zhelin Bay

分析对象	水分(%)	氮(%)	磷(%)	数据来源
冰鲜饵料鱼	63.7	2.65(7.30)	0.69(1.90)	Xu 等 ^[7]
配合饲料	6. 0	8.02 (8.53)	2.51 (2. 67)	李金秋等 ^[8]
养殖鱼	64.5	2.75~3.19(7.74~8.99)	0.80~1.12(2.25~3.15)	Xu 等 ^[7]

注: 括号内数据为以干质量计的含量

另一方面, 由投饵产生的网箱环境氮磷负荷的来源可以分为 3 部分: (1)来源于残饵的氮磷(R_{NP}), 即饵料投喂后未被鱼摄食的部分; (2)鱼排出的粪便, 即排粪所产生的氮磷(E_{NP}); (3)排泄的氮磷(U_{NP})。即:

环境氮磷负荷 $L_{NP}=R_{NP}+E_{NP}+U_{NP}$ (4)

氮磷负荷 3 个组成部分中, 残饵氮磷量(R_{NP})可通过投饵氮磷量(F_{NP})减去养殖鱼类摄食氮磷量(C_{NP})估算; 排粪氮磷量(E_{NP})可通过鱼类摄食氮磷量(C_{NP})和鱼类氮磷消化吸收率(A_{NP})估算; 排泄的氮磷量

(U_{NP})从式(4)通过差减法估算。即:

残饵氮磷量 $R_{NP}=F_{NP}-C_{NP}$ (5)

排粪氮磷量 $E_{NP}=C_{NP}\times(1-A_{NP})$ (6)

排泄的氮磷量 $U_{NP}=L_{NP}-R_{NP}-E_{NP}$ (7)

本研究鱼类对饵料鱼的氮、磷消化吸收率分别取 85%和 50%^[7,13-16]。

由于实际生产中投入的饵料鱼中有多少被养殖鱼类所摄食难以测定, 本研究利用饵料转化率(R_{FC})、鱼体净增质量($W-Y$)和饵料氮磷含量(F_{NP})计算出摄

食氮磷量(C_{NP})。常见网箱养殖鱼类投喂冰鲜鱼饵料时的饵料转化率约为 0.20 ~ 0.35^[7], 取平均值 $FCR=0.26$ 。摄食氮磷量可通过下式计算。

$$\text{摄食氮磷量 } C_{NP} = (W-Y) / R_{FC} \times F_{NP} \quad (8)$$

1.4 冰鲜鱼残饵中源自不同组织或器官的氮磷比例

用冰鲜鱼饵料所产生的残饵中包含鱼体不同组织或器官, 如残饵软组织、残饵骨、残饵鳞、溶解的残饵。残饵氮磷中源自不同组织的比例按下式^[7]计算:

$$100 \text{ 残饵氮} = 45.34 \text{ 软组织氮} + 25.93 \text{ 骨氮} + 18.84 \text{ 鳞片氮} + 9.89 \text{ 溶解残饵氮} \quad (9)$$

$$100 \text{ 残饵磷} = 7.33 \text{ 软组织磷} + 54.77 \text{ 骨磷} + 34.35 \text{ 鳞片磷} + 3.55 \text{ 溶解残饵磷} \quad (10)$$

1.5 环境氮磷负荷中固态与溶解态氮磷的数量及比值

环境氮磷负荷都分别以溶解态和固态两种形式存在。其中溶解态氮磷组成相对简单, 包括溶解的残饵、溶解态粪便和尿; 固态氮磷的组成为固态残饵、固态粪便和脱落鳞片等。根据 Xu 等^[7]测定的常见网箱养殖鱼类排出 4 h 内的粪氮状态, 溶解态粪氮: 固态粪氮=1:5; 溶解态粪磷: 固态粪磷=1:6, 结合公式(9)和(10)可以按如下公式计算出溶解态与固态的氮磷负荷:

$$\text{溶解态氮负荷} = \text{溶解的残饵氮} + \text{溶解态粪氮} + \text{尿氮} \quad (11)$$

$$\text{固态氮负荷} = \text{总残饵氮} - \text{溶解的残饵氮} + \text{固态粪氮} \quad (12)$$

$$\text{溶解态磷负荷} = \text{溶解的残饵磷} + \text{溶解态粪磷} +$$

$$\text{尿磷} \quad (13)$$

$$\text{固态磷负荷} = \text{总残饵磷} - \text{溶解的残饵磷} + \text{固态粪磷} \quad (14)$$

2 结果与分析

2.1 柘林湾网箱养殖环境氮磷总负荷

2006 年柘林湾海水网箱养鱼的总产量为 16 843 t。运用公式(1)计算出如果全部投喂冰鲜鱼饵料将年产生氮负荷 2 760.39 t、磷负荷 679.11 t; 如果全部投喂配合饲料则会产生氮负荷 1 370.37 t、磷负荷 413.08 t。

2.2 投喂冰鲜鱼所产生环境氮磷负荷的来源组成

运用公式(5)~公式(7)分别计算出环境氮磷负荷中源自残饵、排粪和排泄的氮磷数量及其比例(图 2)。

氮负荷主要以残饵氮(1 695.24 t)为主, 占 61.4%, 其次为排泄氮, 而粪氮(227.76 t)所占比例最小为 8.3%; 磷负荷主要由残饵磷(441.36 t)组成, 占 65.0%, 其次为粪磷, 而排泄磷(40.05 t)所占的比例最小仅为 5.9%。

2.3 冰鲜鱼残饵的成分组成

残饵是环境氮磷负荷的最主要来源, 进一步根据公式(9)和(10)得出残饵氮和残饵磷源自冰鲜饵料鱼不同组织或器官的数量(图 3)。

在残饵氮中来源于残饵软组织的量最大为 768.62 t, 其次为残饵骨、残饵鳞片, 而不明组织溶解性残饵量最少为 167.66 t。而残饵磷中数量最大的是残饵骨 241.73 t, 其次是残饵鳞、残饵软组织, 数量最少的是溶解的残饵为 15.67 t。

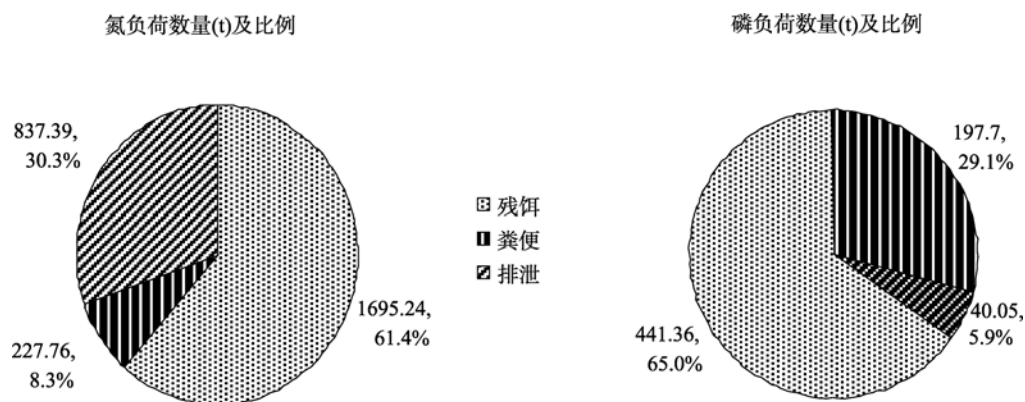


图 2 柘林湾网箱养殖不同来源氮磷负荷的数量及比例

Fig. 2 The amounts and percentage of different sources of nitrogen and phosphorus in Zhelin Bay

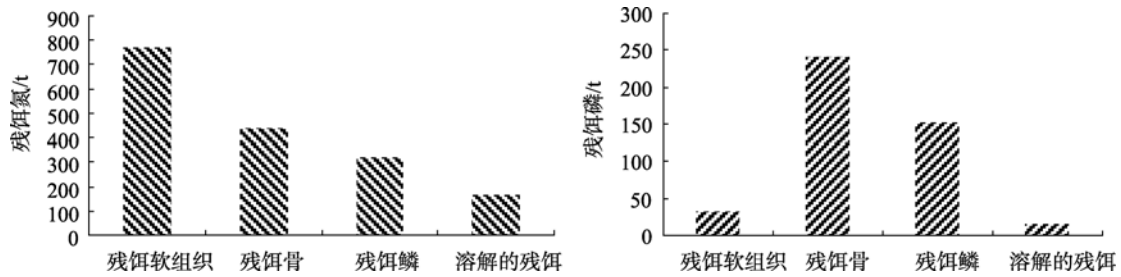


图3 柘林湾网箱养殖源自饵料鱼不同组织或器官的残饵氮磷数量

Fig. 3 Nitrogen and phosphorus loadings from different tissues and organs of trash fish in Zhelin Bay

2.4 环境负荷中溶解态与固态氮磷的数量和比例

由公式(11)~公式(14)得出溶解态与固态氮磷的数量和比值如图4所示。

环境氮磷负荷主要以固态形式存在, 其中固态氮的量为 1 717.38 t, 占总氮负荷的 62.2%, 溶解态氮的量为 1 043.01 t, 占总氮负荷的 37.8%; 固态磷为 595.15 t, 占总磷负荷的 87.6%, 溶解态磷的量为 83.96 t, 占总磷负荷的 12.4%。

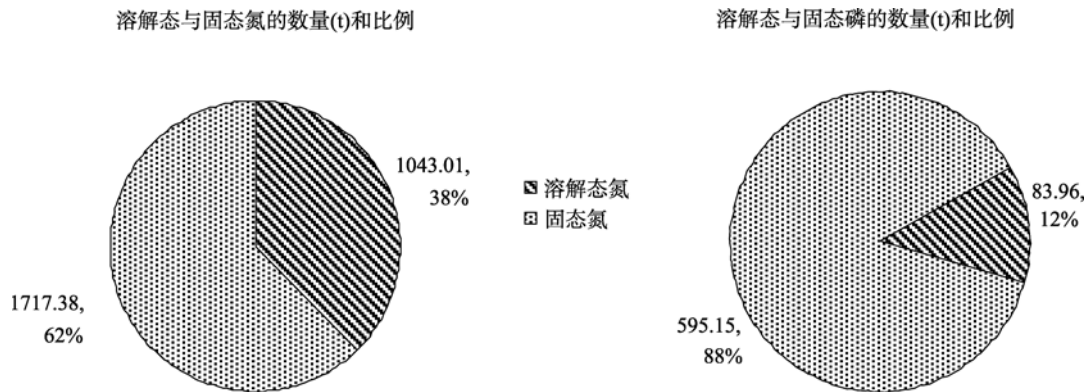


图4 柘林湾网箱养殖氮磷负荷中溶解态与固态氮磷的数量和比例

Fig. 4 The amounts and percentage of dissolved and solid nitrogen and phosphorus loadings in Zhelin Bay

3 讨论

3.1 网箱养殖环境氮磷总负荷

网箱养殖过程中, 由投饲引起的养殖环境氮磷负荷可以通过质量平衡法进行估算。本研究在测出收获鱼的氮磷总量及投入饲料氮磷总量的基础上, 求出柘林湾网箱养鱼产生的环境氮磷总负荷。柘林湾网箱养殖主要投喂冰鲜饵料鱼, 但在禁渔期或者冰鲜饵料鱼供给不足时使用人工配合饲料。本研究分别估算了使用两种饵料所产生的氮磷负荷, 假如全部投喂冰鲜鱼饵料会对环境产生氮 2 760.39 t、磷 679.11 t 的负荷, 其氮、磷负荷比全部投喂配合饲料时分别增加 2.0 倍和 1.6 倍。与配合饲料相比, 冰鲜鱼价格便宜, 但其营养不平衡, 残饵多, 易污染水质, 是造成养殖海区水体富营养化的重要原因^[16-17]。目

前对各种网箱养殖鱼类的营养需求研究还有待进一步加强, 配合饲料的质和量还不能满足网箱养殖生产的需要, 且价格较高, 养殖户往往出于经济上考虑会使用大量冰鲜鱼作为饵料。因此今后高效环保的网箱养殖配合饲料的研制和推广应用是控制养殖海区水体自身污染的可行措施之一^[18]。

3.2 环境氮磷负荷组成

目前, 在研究投饲产生的环境营养负荷时最常用的是质量平衡法^[9-10]。但这种方法只能了解氮磷负荷总量, 无法了解负荷中源自残饵、粪便和排泄的氮磷数量及其比例。生产实践中, 如能掌握环境负荷中不同来源、不同形式氮磷的数量及其比例, 可针对性地采取措施从源头上控制养殖过程中输入环境的氮磷量。本研究在估算出柘林湾网箱鱼类养殖环境氮磷总负荷的同时, 通过分析和估算养殖鱼类的摄食

量、消化率,结合氮磷负荷构成模型,计算出总负荷中源自残饵、粪便和排泄的氮磷数量及比例,发现氮负荷构成比例由大到小顺序为残饵氮、排泄氮、粪氮,而磷负荷则为残饵磷、粪磷、排泄磷。投喂冰鲜鱼,无论氮负荷或磷负荷最主要均来自残饵,而占第二位的在氮负荷中是排泄,磷负荷中却是粪便。这一结果一方面说明饵料鱼的实际利用率不高,尤其是磷负荷绝大部分来源于未被摄食的残饵,另一方面较高比例的粪便磷说明养殖鱼对饵料鱼中的磷的消化吸收率也不高。

3.3 残饵中不同组织器官来源

由于饵料鱼残饵占环境氮磷负荷中比例最大,有必要了解其成分组成,按鱼体不同组织器官来源划分,残饵氮的构成比例最大的是饵料鱼的软组织,其次是骨和鳞片,比例最小的是溶解性残饵。冰鲜鱼残饵软组织主要为肌肉和内脏中各组织,这些组织蛋白质含量高,故成为残饵氮的主要来源。而残饵磷中占比例最大的组织器官为骨骼,其次为鳞片,软组织和溶解性残饵很少。冰鲜鱼体内磷主要存在于骨骼中,由于骨骼质硬,口感和营养价值差,很容易为养殖鱼类所遗弃,构成残饵磷的主要来源。另一方面,由于残饵中不同组织器官的水溶性和分解速度差异不一,从而影响到氮磷负荷的物理性质以及在养殖水体中的分布特征。

3.4 环境负荷的固态与可溶态氮磷

由于固态和溶解态氮磷具有不同的物理性质,按存在形式估算溶解态和固态氮磷,有助于了解养殖区营养盐结构特征及进行区域营养盐的定量分析^[19]。作者把一定时间内的氮磷负荷分为溶解态和固态,发现固态的氮和磷分别占其总量的62.2%和87.6%,证明网箱养殖水环境中的营养负荷尤其是磷负荷主要以固态为主,这与环境氮磷负荷最主要来自残饵有关。投饵后未被养殖鱼摄食的部分即成为残饵,由于饵料鱼投喂时是整条或加工成块状的,未被摄食的残饵不会马上溶解或分解,大部分以固态形式沉入海底,成为养殖海区沉积物中的一部分,这也是网箱养殖区沉积物中氮磷含量较高的原因之一^[16,20]。

参考文献:

- [1] 朱小山,杨炼锋.广东柘林湾海水增养殖区环境质量评价[J].海洋通报,2005,24: 87-91.
- [2] 甘居利,林钦,李纯厚,等.柘林湾网箱养殖场不同区域环境因子的强度变化[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2003,20(1): 18-22.
- [3] 许忠能,林小涛,周小壮,等.广东省海水养殖对海区环境影响的夏季调查[J].环境科学,2002,23(6): 79-85.
- [4] 黄长江,董巧香,林俊达,等.粤东大规模海水增养殖区柘林湾表层沉积物中的含水量、有机质、氮和磷[J].海洋学报(中文版),2008,2: 38-50.
- [5] 杜虹,黄长江,董巧香.柘林湾水体溶解氧的分布特征及其与营养盐的关系[J].台湾海峡,2006,2: 188-193.
- [6] 林小涛,晏荣军,黄长江.粤东大规模养殖区柘林湾细菌的分布与环境因素关系[J].海洋学报(中文版),2006,3: 167-172.
- [7] Xu Z N, Lin X T, Lin Q, et al. Nitrogen, phosphorus, and energy waste outputs of four marine cage-cultured fish with trash fish[J]. Aquaculture, 2007, 263: 130-141.
- [8] 李金秋,林建斌,朱庆国,等.人工配合饲料与小杂鱼饲养赤点石斑鱼效果的对比试验[J].台湾海峡,2004,23(2): 167-173.
- [9] 林钦,李纯厚,林燕棠,等.柘林湾网箱养殖对周围海域环境的影响[J].华南师范大学学报(自然科学版),1998,5(2): 36-46.
- [10] 黄小平,温伟英.上川岛公湾海域环境对其网箱养殖容量限制的研究[J].热带海洋,1998,17: 57-64.
- [11] 刘汉元,吴宗文,高启平,等.投喂浮性膨化饲料与冰鲜鱼养殖南方大口鲶的效果对比[J].中国水产,2009,11: 58-60.
- [12] 陆奎贤,王金潮,匡庸德,等.加洲鲈网箱养殖技术研究[J].水利渔业,1992,59(5): 25-32.
- [13] 杨雨虹,郭庆,韩英,等.鲤鱼饲料中不同来源的磷表观消化率的测定[J].东北农业大学学报,2005,36(6): 762-766.
- [14] 李会涛,麦康森,艾庆辉,等.大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究[J].水生生物学报,2007,31(3): 370-375.
- [15] 萧培珍,伍代勇,叶元土,等.鱼类磷营养需求及原料消化率研究进展[J].中国饲料,2009,2: 34-37.
- [16] 苗淑彦,王际英,张利民,等.水产动物残饵及粪便对养殖水环境的影响[J].饲料研究,2009,2: 64-67.
- [17] 梁萍.配合饲料与蓝圆鲹饲养点带石斑鱼对水体中氮、磷含量的影响[J].福建水产,2008,4: 16-19.

- [18] 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估[J]. 应用生态学报, 2005, 1: 180-185 .
- [19] 黄金良, 洪华生, 张珞平, 等. 基于 GIS 的九龙江流域农业非点源氮磷负荷估算研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 23(4): 866-871 .
- [20] 卓华龙, 沈庞幼, 吴雄飞, 等. 象山港网箱养殖鲈鱼残饵和排粪情况初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2007, 9 (5): 443-447 .

Nitrogen and phosphorus loading from fish cage culture in Zhelin Bay

JIN Zu-lei¹, XU Zhong-neng¹, LIN Xiao-tao¹, MA Ye-sheng¹, YANG Yuan-hang^{1,2}

(1. Institute of Hydrobiology, Jinan University; Key Laboratory of Aquatic Eutrophication and Control of Harmful Algal Blooms of Guangdong Higher Education Institutes, Guangzhou 510632, China; 2. Shandong Vocational College of Science and Technology, Weifang 261053, China)

Received: Apr., 7, 2010

Key words: Zhelin Bay; fish cage culture; uneaten food; nitrogen and phosphorus loading

Abstract: This study assessed the sum, sources, and forms of nitrogen and phosphorus loading produced by cage-cultured fish in Zhelin Bay. The results showed that in 2006 fish cultured with the feed of trash fish produced 2 760.39 tons of nitrogen loading, which included uneaten nitrogen 1 695.24 tons -accounting for 61.4% of nitrogen loading, and 679.11 tons of phosphorus loading, 441.36 tons of which were uneaten phosphorus, accounting for 65.0% of phosphorus loading. The analysis of the sources of uneaten food indicated that 768.62 tons nitrogen in the soft tissues of trash fish accounted for the largest proportion in the uneaten nitrogen, while 241.73 tons phosphorus in the bones of trash fish accounted for the largest proportion in the uneaten phosphorus. The amounts of different forms of nitrogen and phosphorus loading were estimated. Solid nitrogen, dissolved nitrogen, solid phosphorus, and dissolved phosphorus were 1 717.38, 1 043.01, 595.15, and 83.96 tons, respectively, accounting for 62.2% of nitrogen loading, 37.8% of nitrogen loading, 87.6% of phosphorus loading, and 12.4% of phosphorus loading, respectively.

(本文编辑: 谭雪静)