

DOI: 10.3969/j.issn.1007-9580.2016.05.001

基于氨氮平衡的水产养殖换水率计算方法研究

张宇雷, 曹伟, 蔡计强

(农业部渔业装备与工程技术重点实验室, 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要:为进一步掌握海水养殖鱼类氨氮排泄的规律,准确计算养殖所需换水率(量),为深远海大型养殖平台养殖模式与系统设计提供基础数据和技术支撑。研究了斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)在不同投饲频率条件下的排氨情况,分析了维持氨氮平衡所需换水率的优化计算方法,并通过流水实验进行验证。结果显示,斑石鲷在空腹、日投喂1、2、3次等4种条件下,水体氨氮质量浓度随时间变化基本呈线性增长趋势,排氨率平均值分别为(6.23±6.71)、(18.16±11.90)、(21.69±17.52)和(17.98±12.93)mg/(kg·h)。根据物质平衡原理,提出基于氨氮平衡的换水量计算方法。以该计算方法获得换水率分别为0.18、0.55、0.66和0.55次/h。验证实验中,设计养殖密度13.4 kg/m³,计算所需换水率为1.09次/h(换水量0.147 m³/h)。在该条件下的流水养殖实验结果表明,氨氮能够稳定维持在设计要求范围内。

关键词:排氨率;换水率;养殖工船;斑石鲷

中图分类号:S964.9;S959

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2016)05-001-06

我国水产养殖生产方式粗放,受外部水域环境恶化与内部水质劣化的影响,内陆和沿海近岸的养殖空间受到挤压,养殖产品安全问题日益突出^[1]。走向深远海,开展海水养殖是满足日益增长的水产品供给需求的重要途径^[2]。国外在深远海养殖有较多实践可供参考^[3-4]。2014年,农业部中国水产科学研究院联合相关企业正式启动了国内首个深远海大型养殖平台的构建。该养殖平台由10万t级阿芙拉型油船改装而成,能够提供养殖水体近8万m³,满足3000m水深以内的水产品海上养殖、加工、冷藏等^[5]。巨大的养殖规模要求养殖平台能够提供大量水源保证养殖生产。因此,准确计算养殖所需要的换水量,尽可能减少每天的排换水,对于减少平台的运行维护成本、提高经济效益具有重要意义。本研究以斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)为对象,采用实验方法获得其在不同投喂频次条件下的排氨率,优化提出基于氨氮平衡的换水率(量)计算方法,旨在为平台养殖模式的完善和养殖系统的精准设计提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验对象

选用莱州明波公司提供的斑石鲷,体质量平均(301.0±46.7)g,驯养在循环水养殖系统内,实验前停止喂食2d。斑石鲷属广温、广盐性鱼类,生存水温6~32℃,适宜水温22~28℃,适宜盐度15~33^[6-7]。

1.2 试验用水和饲料

试验用水(盐度1)通过自来水添加海水晶(上海蓝海水产发展有限公司)配置,蓄存于2个水缸内,24h不间断曝气备用,氨氮质量浓度分别为0.05 mg/L和0.17 mg/L,水温22~27℃。所用饲料为艾乐牌海水鱼饲料,其营养成分:蛋白质≥47%,脂类≥14%,纤维≤3%,水分≤10%,灰分≤8%,钙≥0.8%,总磷≤2%,氨基酸≥3.3%。

1.3 试验方法

采用静水方式测定水体中的氨氮质量浓度随时间变化的曲线,根据曲线斜率计算出养殖对象的排氨率,再根据排氨率计算出所需要的换水率,同时与采用流水养殖实验结果进行对比。静水排

收稿日期:2016-07-25 修回日期:2016-09-28

基金项目:上海市科委科研项目(15DZ1202102);现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-50)

作者简介:张宇雷(1980—),男,副研究员,研究方向:渔业装备与工程技术。E-mail:zhangyulei@fmiri.ac.cn

氨率实验分为4组,分别为1个空白组、3个实验组(A、B、C)。空白组:将3尾斑石鲷蓄养在实验鱼缸内,不投喂饲料;实验组A:使用3尾斑石鲷,9:00投喂1次,10.3 g/次;实验组B:使用3尾斑石鲷,9:00和20:00各投喂1次,5.2 g/次;实验组C:使用3尾斑石鲷,9:00、17:00和00:00各投喂1次,每次3.5 g/次。流水养殖实验使用6尾斑石鲷,早中晚各投喂1次,投喂量为6.8 g/次。各试验组均采用连续监测,不设平行组。

1.4 试验系统

实验鱼缸直径700 mm,水深350 mm,水体量135 L;蓄水池直径2 m,水深800 mm(图1)。静水排氨率实验不换水,因此不使用蓄水池。进行流水养殖实验时,通过水泵将蓄水池内的水抽入实验鱼缸内,再由鱼缸内的水位插管溢流排出,水流量可调范围为50~400 L/h。

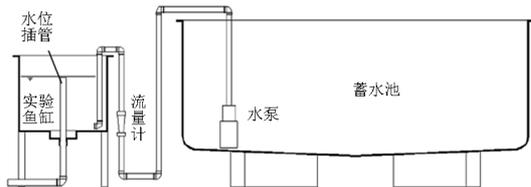


图1 实验系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of test system

1.5 测定与分析方法

1.5.1 排氨率

排氨率计算方法:将单位时间内实验水体中的氨氮增加量除以实验鱼体重。

$$F_{AOE} = (C_{t_2} - C_{t_1}) \times V / T_{BW} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中: F_{AOE} —斑石鲷排氨率,mg/(kg·h); C_{t_2} — t_2 时刻水体氨氮浓度,mg/L; C_{t_1} — t_1 时刻水体氨氮浓度,mg/L; V —实验用鱼缸体积,L; t_2 —排氨率测定时间段结束时刻,h; t_1 —测定时间段开始时刻,h; T_{BW} —实验鱼总体重,kg。

1.5.2 换水率

水产养殖系统中一般将单位时间内干净水流入系统内的体积量称为换水量,而将单位时间内系统水体被干净水替代的百分比称为换水率。本文提出的基于氨氮平衡的换水率计算方法为:使得通过换水排出的氨氮总量大于或等于由于养殖对象排泄活动所产生的氨氮总量。

$$Q_{TAN} \geq P_{TAN} \quad (2)$$

式中: Q_{TAN} —通过换水排出的氨氮总量,mg/h,计算方法见公式(3); P_{TAN} —养殖对象排泄活动所产生的氨氮总量,mg/h,计算方法见公式(4)。

$$Q_{TAN} = Q_{water} \times (C_{limit} - C_0) \times 1000 \quad (3)$$

$$P_{TAN} = F_{AOE} \times T_{BW} \quad (4)$$

式中: Q_{water} —基于氨氮平衡的换水量计算值, m^3/h ; C_{limit} —养殖管理要求的氨氮控制上限,参考渔业水质标准^[8]设为0.37 mg/L; C_0 —干净水氨氮浓度,即蓄水池内氨氮浓度,经检测为0.15 mg/L;1000为单位换算系数,mg/g。

整理公式(1)~(3)即可获得基于氨氮平衡的换水量和换水率计算方法。

$$Q_{water} = f \times F_{AOE} \times T_{BW} / 1000 (C_{limit} - C_0) \quad (5)$$

$$i_{water} = Q_{water} / V \quad (6)$$

式中: f —水温和盐度经验系数,本实验假设为1; i_{water} —换水率,次/h。

1.5.3 水化学指标测定

水温、pH、盐度和溶氧浓度等采用美国产YSI多参数水质分析仪测定;氨氮浓度采用哈希试剂盒测试;数据统计分析与作图使用Excel2010软件处理。

2 结果

2.1 投喂频率对水体氨氮浓度变化的影响

图2为空白组(不投喂饲料)条件下,实验鱼缸内水体氨氮浓度随时间变化的情况。实验水温22℃,溶氧浓度6.6 mg/L,pH 8.19。可以发现,氨氮浓度比较有规律地呈现阶梯状上升趋势。9:00至17:00,8 h内氨氮浓度从0.7 mg/L上升到0.95 mg/L。

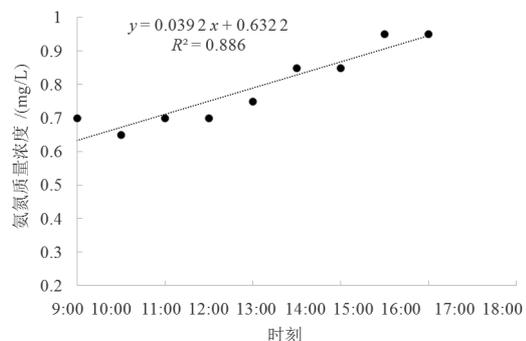


图2 斑石鲷空腹条件下水体氨氮浓度随时间变化曲线

Fig.2 TAN concentration in the culture tank with starved oplegnathus punctatus

图 3 为实验组 A、B、C(即日投喂 1 次、2 次和 3 次)条件下测得的实验鱼缸内水体氨氮浓度随时间变化情况。实验水温为 23~26℃,溶氧浓度 5.5~6.4 mg/L,pH 8.05~8.66。从中可以看出,氨氮浓度基本上随时间变化呈线性增长,而且在 24 h 内没有出现变缓的趋势。采用线性拟合曲线所得斜率分别为 0.123 4、0.140 1 和 0.100 6。

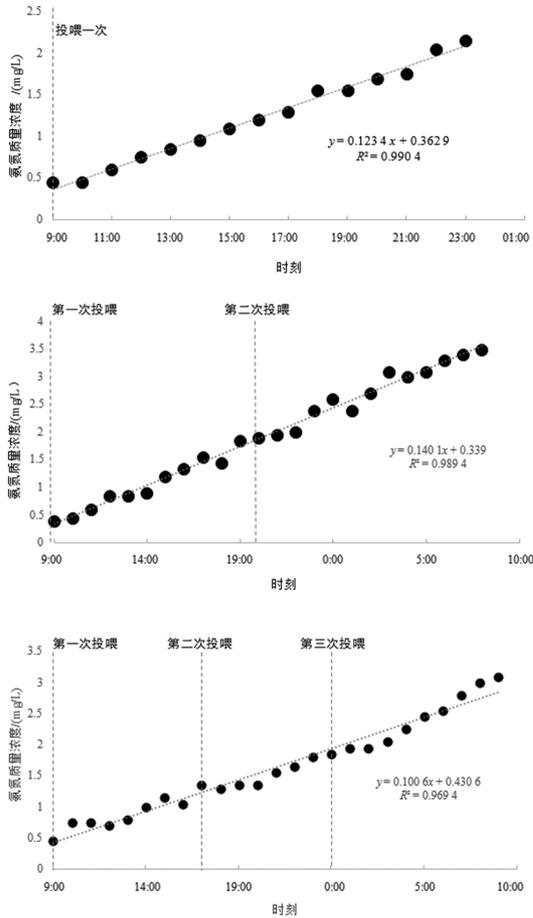


图 3 不同投喂频率条件下斑石鲷养殖水体氨氮浓度随时间变化曲线

Fig.3 TAN concentration in the culture tank with oplegnathus punctatus under different feeding ratios

2.2 排氨率随时间变化情况

根据公式(1)计算所得,空白组条件下斑石鲷排氨率平均值为(6.23±6.71) mg/(kg·h),最高值为 14.96 mg/(kg·h)。图 4 分别为实验组 A、B 和 C 斑石鲷摄食后的不同排氨率。日投喂 1 次:平均值为(18.16±11.90)mg/(kg·h)。摄食后 1 h 排氨率即达到摄食前的 3~4 倍,并保持这一水平,然后在第 8 小时和第 12 小时出现 2 个高峰,最高值达到 44.87 mg/(kg·h)。日投喂

2 次:平均值为(21.69±17.52)mg/(kg·h)。第 1 次投喂后的第 5 小时,排氨率即达到一个较高水平 44.87 mg/(kg·h);第 2 次投喂后的 3 h 内,排氨率降低至摄食前水平,然后在第 12 小时和第 15 小时达到峰值 59.82 mg/(kg·h)。日投喂 3 次:平均值为(17.98±12.93)mg/(kg·h)。峰值出现在了投喂后第 1 小时,达到 44.87 mg/(kg·h),其他时刻基本维持在 37.39 mg/(kg·h) 以下,没有出现较明显的峰值。

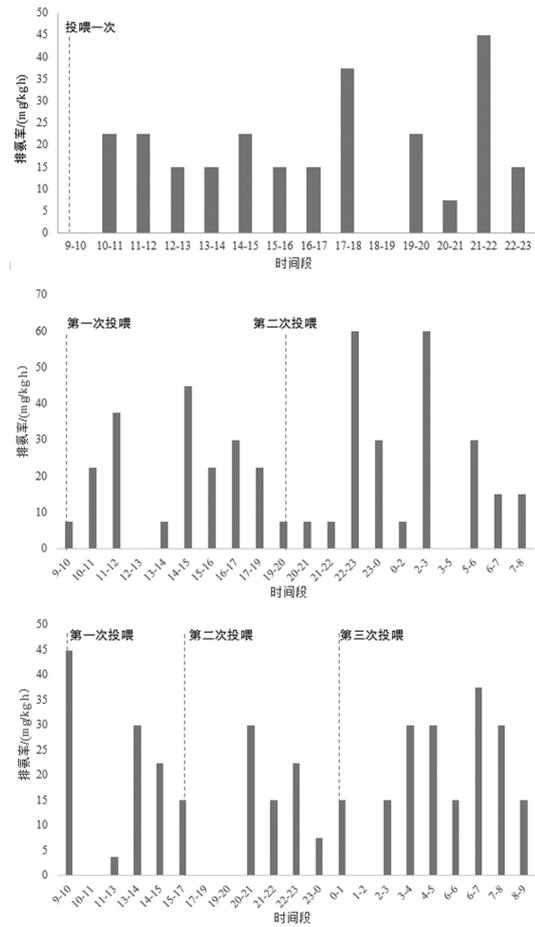


图 4 不同日投喂次数下的斑石鲷排氨率

Fig.4 Ammonia excretion rate of oplegnathus punctatus under different feeding frequencies

根据空白组、实验组 A、B 和 C 测得的斑石鲷排氨率,采用公式(4)和(5)计算维持水体氨氮平衡所需换水量和换水率(表 1)。其中,实验组 B 最高,A 和 C 几乎一致。其原因可能是由于气候关系,水温持续上涨,导致实验前后温差达到 4~5℃;其次,由于研究出发点是为养殖工程设计提供理论数据支撑而不是纯粹研究斑石鲷生理特性,因此实

验过程中并未将鱼类粪便进行及时清理,可能会对氨氮浓度产生影响,从而影响排氨率计算的准确性。总体来看,实验组 C 的排氨率变幅较小,相对平稳,更有利于水质稳定和鱼类生长。

表 1 不同组别计算所得换水量和换水率
Tab.1 Water flow rate and exchange ratio of different test groups

组别	排氨率平均值/ [mg/(kg·h)]	换水量/ (m ³ /h)	换水率/ (次/h)
空白组	6.23±6.71	0.025	0.18
实验组 A	18.16±11.90	0.074	0.55
实验组 B	21.69±17.52	0.089	0.66
实验组 C	17.98±12.93	0.074	0.55

2.3 流水养殖实验

采用流水养殖实验,通过监测水体中的氨氮浓度来验证基于氨氮平衡的换水率计算方法的可靠性。实验设计使用 6 条斑石鲷,日投喂饲料 3 次,水温 27℃,溶氧浓度 6.3 mg/L,pH 8.85。同时,根据排氨率 17.98 mg/(kg·h),按照上述公式计算所需换水量和换水率分别为 0.147 m³/h 和 1.09 次/h。实验结果如图 5 所示。可以发现,在监测的 18 h 内,氨氮浓度小幅震荡,缓慢增加,从 0.26 mg/L 上升到 0.35 mg/L,未超过设定上限(0.37 mg/L)。氨氮浓度小幅上升的原因主要是由于实验水温高于前期排氨率实验水温。根据相关研究报道^[9-11],水温升高会导致鱼类排氨率的增加(前提是不超过该品种的适温条件)。

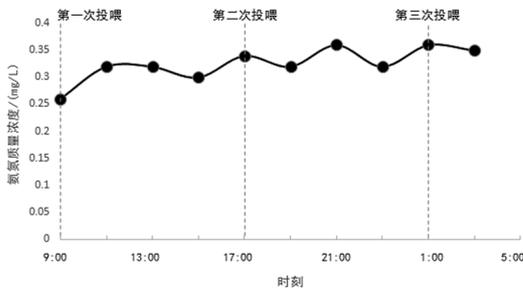


图 5 流水条件下水体氨氮浓度随时间变化曲线

Fig.5 TAN concentration in the culture tank under water flow-through condition

3 讨论

3.1 斑石鲷排氨率

对于斑石鲷排氨率的研究,国内还未见报道,

但对其他海水鱼类的相关研究较多,其范围一般在 3.985~82 mg/(kg·h)^[12-14]。Timmons 等^[15]研究认为,养殖水体中每天的氨氮产生量可根据公式: $P_{TAN}=0.092 \cdot F \cdot M_{PC}$ 计算,式中: P_{TAN} 为日氨氮产生量,g/day;0.092 为半经验系数; F 为投饲量,g/day; M_{PC} 为饲料蛋白质含量,%。以此计算得出:日投喂饲料 10.3 g,养殖水体中氨氮产生量为 21 mg/(kg·h),稍大于本实验获得的结果,即 17.98~21.69 mg/(kg·h)。以上研究报道的结论虽与本文研究结果存在一定的偏差,但由于鱼类品种和养殖工况的差异,可以认为其在可接受范围内。

3.2 斑石鲷排泄规律

王占全等^[16]研究了体质量(30.25±2.50)g 的哲罗鱼幼鱼在 4 个温度下摄食前后的排氨率。结果显示:饱食后,4 个温度组哲罗鱼幼鱼的排氨率先升高后降低,其中在(11.5±0.5)℃组产生 2 个峰值,分别在第 5 小时和第 11 小时;另外 3 个温度组都在 12~15 h 有 1 个峰值。沈勤等^[17]研究结果显示,大黄鱼摄食后有 2 个明显的排氨高峰期,一个出现在摄食后,另一个出现在摄食后 30~34 h;大黄鱼在摄食 24 h 后,排氨率没有恢复到摄食前水平。李治等^[18]实验结果显示,南方鲷摄食(10.1±0.9)h 后,排氨率达到峰值(76.1±2.5)mg/(kg·h),经过(37.2±2.8)h 恢复到摄食前水平。本实验总体上与上述研究结果一致,在日投喂 1 次条件下,斑石鲷排氨率峰值出现在 8 h 和 12 h,随着投喂次数增加(总摄食量不变),排氨率峰值出现时间提前;在日投喂 3 次条件下,峰值出现在投喂后 1 h 内,后期排氨率变化幅度相对较弱。因此认为斑石鲷投喂策略以少量多次为宜。

3.3 换水率

国内在流水养殖技术方面的研究应用已有较长时间,系统所需换水率通常根据经验。据研究报道,“温室大棚+深井海水”大菱鲆工厂化养殖模式,要求放养 400~500 g 大菱鲆 20~30 尾/m²(水深 60~100 cm 计,养殖密度为 10~25 kg/m³),换水率一般保持在 5~10 次/d(即 0.21~0.42 次/h)^[19];北方地区使用池塘养殖虹鳟 30 尾/m²(按照 0.5 kg/尾,水深 1 m 计,养殖密度为 15 kg/m³)条件下,换水率必须要达到 2 次/h 以上^[20]。本实验研究结果显示,在养殖密度为 13.4 kg/m³ 条件下,换水率 1.09 次/h 即可维持氨

氮的平衡,该数据低于虹鳟养殖方式,高于大菱鲂养殖方式。分析其原因,主要是由于大菱鲂的排氨率远低于斑石鲷。研究表明,平均体重(264.11±35.79)g的大菱鲂,在水温15℃、盐度35条件下,排氨率为(2.831±0.662)mg/(kg·h),仅仅是斑石鲷的15.7%^[21]。由此表明,本实验研究提出的计算方法科学合理,对于水产养殖系统的设计构建有较好的参考价值。

4 结论

采用静水实验方法监测养殖水体氨氮浓度随时间变化情况,计算出斑石鲷在空腹、日投喂1、2、3次的排氨率,分别为(6.23±6.71)mg/(kg·h)、(18.16±11.90)mg/(kg·h)、(21.69±17.52)mg/(kg·h)和(17.98±12.93)mg/(kg·h)。根据物质平衡原理,推演获得换水率计算公式。实验验证结果表明:养殖水体氨氮浓度可以控制在设计指标范围内。需要说明的是,该公式仅考虑了氨氮的物质平衡,而没有考虑溶氧、碱度、二氧化碳等水质指标,因此仅适用于低密度的流水养殖模式。□

参考文献

- [1] 徐皓.水产养殖设施与深水养殖平台工程发展战略[J].中国工程科学,2016,18(3):37-42.
- [2] 康丽琳.我国首个深远海大型养殖平台启动构建[EB/OL].[2014-11-24].http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/24/content_2782858.htm.
- [3] 徐皓,江涛.我国离岸养殖工程发展策略[J].渔业现代化,2012,39(4):1-7.
- [4] 丁永良.海上工业化养鱼[J].渔业现代信息,2006,21(3):4-6.
- [5] 黄姗.深远海养殖未来中国的“海上养殖航母”[EB/OL].

- [2016-01-14].http://www.bbfish.com/article.asp?artid=181316.
- [6] 钟鸿干,张旭,张海滨,等.南方地区斑石鲷工厂化养殖试验[J].中国水产,2015(5):64-66.
- [7] 张旭,钟鸿干,张海滨.南方地区斑石鲷养殖技术要点[J].河北渔业,2015(2):41-42.
- [8] GB11607-92.渔业水质标准[S].
- [9] 丁福江,杨明,戴习林,等.温度对黄金鲈(*Perca flavescens*)耗氧率和排氨率的影响[J].淡水渔业,2010,40(5):68-71.
- [10] 江丽华,朱爱意.温度和盐度对美国红鱼耗氧率和排氨率的影响[J].水产养殖,2009,30(10):27-30.
- [11] 郭念岗,吴雄飞,沈伟良.温度和盐度对岱衢族大黄鱼排氨率和耗氧率的影响[J].渔业现代化,2014,41(3):21-25.
- [12] 张涛,王庚申,平洪领,等.盐度对大黄鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响研究[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2015,34(4):310-313.
- [13] 梁华芳,黄东科,吴耀华,等.温度和盐度对龙虎斑耗氧率和排氨率的影响[J].渔业科学进展,2014,35(2):30-34.
- [14] 何亚,王华,王伟,等.温度对不同体质量红鳍东方鲀幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J].大连海洋大学学报,2014,29(5):481-485.
- [15] TIMMONS M B, EBELING J M, WHEATON F W, et al. Recirculating Aquaculture Systems [M]. 2nd Edition. New York: Cayuga Aqua Ventures, 2002: 100-101.
- [16] 王占全,王丽,贺杰,等.温度和摄食对哲罗鱼幼鱼排氨率的研究[J].水产学杂志,2014,27(6):40-43.
- [17] 沈勤,徐善良,严小军,等.饲料及体重对大黄鱼排氨率影响的初步研究[J].宁波大学学报(理工版),2008,21(3):318-322.
- [18] 李治,谢小军,曹振东.摄食对南方鲷耗氧和氨氮排泄的影响[J].水生生物学报,2005,29(3):247-252.
- [19] 付鹏.北方山区高密度流水养殖虹鳟高产试验[J].科学养鱼,2014,30(1):40-41.
- [20] 雷霖,门强,王印庚,等.大菱鲂“温室大棚+深井海水”工厂化养殖模式[J].海洋水产研究,2002,23(4):1-7.
- [21] 唐贤明.鲟科鱼类渗透调节与代谢的基础研究[D].青岛:中国海洋大学,2004.

(下转第35页)

· 文摘 ·

鱼的游动对圆形水池水流型态的影响

研究了鱼的游动对圆形水池的平均水流速度和流速剖面特征的影响。使用不同的进水口直径和进水流速,对9种不同的冲力(配置)进行了评价。在有鱼和无鱼的水池中对各个配置进行了测试,并比较了两种鱼体尺寸产生的影响。在有鱼试验中,速度剖面特征呈现出在靠近出水口的水池中央流速有一个明显的减小,这是因鱼的游动引起的紊流致使涡流粘滞度增加的结果。在水池中央区观察到了角速度剖面的扁平化,该区域半径约为0.3m(占水池总体积的18%)。为了更好地描述有鱼的水池中央区域的水流速度分布,对以前提出的一个模型做了改进。在有鱼和无鱼两种试验中,水池中的平均水流速度与冲力的平方根呈比例关系。有鱼试验中呈现出较低的平均水流速度,意味着其水池阻力系数较高。在相同的放养密度(14.6kg/m³)下,用小尺寸鱼(154g)所做试验得到的水池阻力系数的增加略高于使用较大尺寸的鱼(330g)。

(《Aquacultural Engineering》Vol.74)