

基于图像处理技术的养殖池集污特性研究*

张 慧 吴常文 江丹丹 赵 乐 桂福坤

(浙江海洋大学 国家海洋设施养殖工程技术研究中心 舟山 316000)

摘要 本文针对养殖池的集污试验,研究了用于量化分析污物聚集面积的图像处理技术,并将其用于方形圆切角养殖池在边侧管式射流方式下的集污特性研究。图像处理技术包括图像预处理、图像增强、图像分割、轮廓提取四个步骤,成功获得了污物的量化分布面积。在养殖池集污特性研究方面,本文研究了射流流速为 24cm/s 条件下,不同射流角(射流方向与池壁夹角)对污物聚集效果的影响。结果表明,方形圆切角养殖池存在一个最优的射流角度,本文研究条件下,最优角度约为 40°。本文研究结果,可为养殖池水力驱动优化布置提供参考。

关键词 养殖池; 污物聚集; 图像处理技术

中图分类号 S949 doi: 10.11693/hyhz20151200295

工厂化养殖是我国水产品生产的重要方式,养殖规模和产量不断增大,已成为我国海洋经济发展重要的支柱产业(黄翔鹤, 2013)。工厂化养殖是高密度控温养殖,在此条件下,滞留于养殖池内生物排泄物和投喂残饵若不及时处理,容易在水中分解使池水生态环境迅速恶化,一旦发生水质恶化,养殖对象的摄食、生长都将会受到严重影响,甚至导致中毒、疾病和死亡(刘鹰等, 1999)。目前,在生产上常采用频繁换水的方法来改善养殖池内的水体生态环境,对水资源和电力资源造成巨大压力,养殖成本增大。当前迫切需要一种高效的处理方法来处理养殖池内残饵粪便的聚集。然而,多数养殖池(尤其面积较大的虾池和鱼池)由于水体浑浊,难以直观地了解池内污物的聚集效果,缺乏有价值的经验数据。在基础研究和手段方面,这一领域的研究报道相对较少,也一定程度上限制了相关技术的提升。图像处理技术应用范围广泛,在水产养殖领域中也得到大量应用,主要有计算机图像处理技术在养殖生物的生物量和生长评估中的应用、计算机图像处理技术在鱼的行为监测和应激状态评估中的应用,还有利用计算机图像处理技术进行鱼的计数、分级和分类、判断鱼的成熟等

(徐建瑜等, 2005)。国内主要集中在对鱼和鱼苗计数与鱼类运动监测等方面(刘星桥等, 2005; 范高等, 2008),在工厂化养殖水体的水动力学方面,尤其是利用计算机图像处理技术研究养殖水体污染物分布少有报道。为此,笔者针对对虾养殖的残饵的图像特性,研发了残饵污物分布图像分析技术,并对采用边侧射流驱动条件下,不同射流角度对污物聚集分布特性影响,获得最佳的射流角度,以期对鱼虾养殖池的设计和 optimization 提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设备

试验所用养殖池高 70cm,池面为 200cm × 200cm 的正方形,正方形的四个角作弧型切角。虾池池底坡度为 1:15,向池中心倾斜。距池中心每隔 10cm 处画制圆圈,依次定义为第 1 圈至第 9 圈。养殖池通过布置于左右两个边侧的射流管形成水力驱动,射流管直径 16mm,从上至下开设有 5 个直径 4mm 的小孔。池内中心为出水口,通过管道与水泵连接,然后再分别连接至两个射流管,形成封闭式的水力驱动系统,如图 1 所示。

* 浙江省自然科学基金重点项目, Z16E090006 号; 国家自然科学基金项目, 51239002 号; 舟山市海洋专项, 2015C41001 号。张慧, 硕士研究生, E-mail: 332357713@qq.com

通讯作者: 桂福坤, 教授, E-mail: gui2237@163.com

收稿日期: 2015-12-04, 收修改稿日期: 2016-02-28

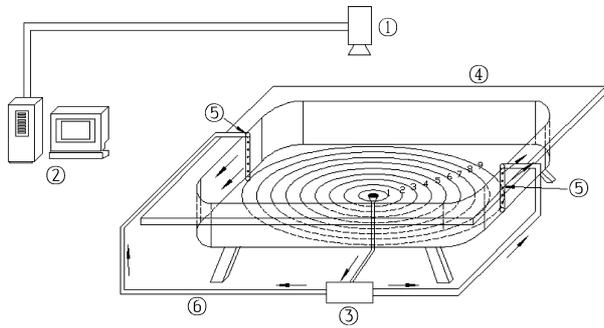


图 1 系统采集装置示意图

Fig.1 Diagram of image acquisition system

1. 摄像头; 2. 计算机; 3. 水泵; 4. 虾池; 5. 喷水管; 6. 管道

试验时, 污物聚集分布情况通过图 1 所示的图像采集系统获得, 图像采集系统由高分辨率照相机、电脑、控制软件组成, 照相机架设在虾池的正上方。试验时水泵持续工作, 待水流稳定且污物分布状态稳定不变化后, 对养殖池进行图像采集。

1.2 试验材料

试验采用对虾 1 号专用饲料作为污物替代物(残饵), 饲料购于宁波天邦股份有限公司。饲料平均直径约 1.5mm, 长约 4.5mm。每次试验, 称取饲料 100g, 均匀撒于试验池内。

1.3 试验条件

试验前把饵料均匀投撒于虾池中, 两个射流管对称分布在池壁的中间部位, 射流流速固定为 24cm/s, 射流角度(射流方向与池壁的夹角)共 8 组, 分别为 $\alpha=0^\circ$ 、 $\alpha=10^\circ$ 、 $\alpha=20^\circ$ 、 $\alpha=30^\circ$ 、 $\alpha=40^\circ$ 、 $\alpha=50^\circ$ 、 $\alpha=60^\circ$ 、 $\alpha=70^\circ$ 。

2 图像处理

试验主要通过图像分析法, 提取污物聚集面积和位置分布, 研究不同射流条件对污物聚集的影响。有效的图像分析是重要前提, 图像处理包括图像获取、图像预处理、图像增强、图像分割、二值化和轮廓提取等相关步骤。图像处理, 将进一步用于分析研究养殖池污物聚集面积与分布情况。

2.1 图像预处理

试验中采集到的图片格式为 JPEG, 这种格式的图像存储方式涉及到编码, 后期对图像进行处理需要解码(翟丽华, 2008; 江丹丹, 2015)。为减少运算量, 加快处理速度, 首先把采集到的 JPEG 格式图像转换成存储方式比较简单的 BMP 格式图像。

灰度化处理就是根据灰度等级的数目来对图像进行划分, 使图像变成一种具有从黑到白 256 灰度级

色的单色图像(孙少林等, 2010)。在光线不好、阴影较重的情况下可进行灰度变换操作以得到背景光线较均匀的图像。灰度转换公式为

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1)$$

式中, Y 表示灰度图像的亮度, R 、 B 、 G 分别表示原图像的红、绿、蓝分量值。

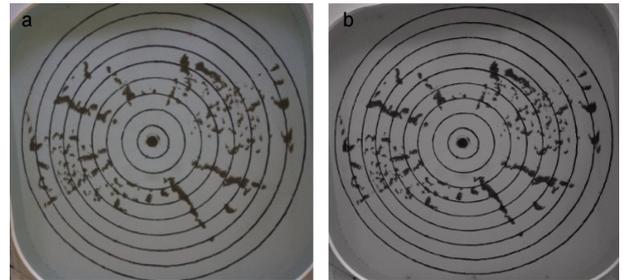


图 2 图像预处理

Fig.2 Image preprocessing

a. 原图; b. 灰度图

2.2 图像增强

2.2.1 图像平滑处理 图像平滑(章毓晋, 2012)就是将变化较大和较快的高频部分滤去, 以减少灰度值的起伏。图像平滑可以削弱或消除图像的高频成分而不影响低频部分, 因此平滑主要是用来消除噪声。图像平滑的方法有很多种, 常用的有均值滤波、高斯滤波、中值滤波等。由于采集到的图像包含的噪声不同, 所以并没有一个全部情况都适用的滤波器。本文对上述三种滤波方法进行了对比分析, 其中, 中值滤波(马彦平等, 2009)是把原图像中某像素点为中心的小窗口内, 对窗口内的像素点按从小到大的顺序进行排列, 然后找出这几个灰度值中值, 用中值替代该像素点的灰度值来达到消除孤立噪声点的目的(栾庆磊等, 2011; 张鹤等, 2011)。中值滤波能在除去噪声的过程中不会消除任何像素点, 所以可以更好的保护图像的边缘, 并且它不需要计算图像的统计特性, 计

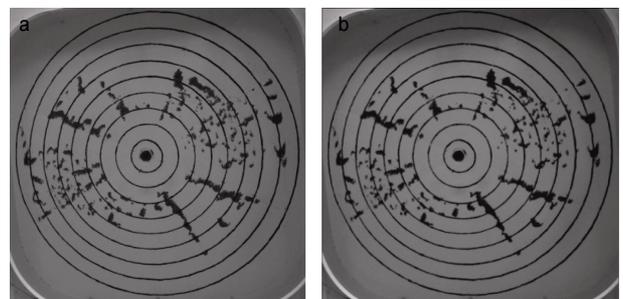


图 3 图像平滑

Fig.3 Image smoothing

a. 原图; b. 中值滤波图

算也比较方便。针对饲料污物特性,考虑到中值滤波器可以避免模糊图像中尖锐不连续的区域以及能有效滤除脉冲干扰及图像扫描噪声等优点,本文采用 3×3 窗口的中值滤波器对图像进行了平滑处理。

2.2.2 灰度线性变换 从采集的图像中可以看出图像整体比较暗,对比度也不明显,不利于对图像进行分割。线性灰度变换就是对图像中所有像素点的灰

度级进行线性映射,根据线性灰度变换函数使原图像一定范围内的像素灰度值扩大或者缩小到具体的范围,增强图像中感兴趣的灰度区域,抑制不感兴趣的区域。图 4(a)中可以看出变换前的图像对比度不明显,经过(83, 74)、(133, 191)这两个控制点进行灰度拉伸变换后,对比度明显有所增强,整体显示效果更清晰,如图 4(b)所示。

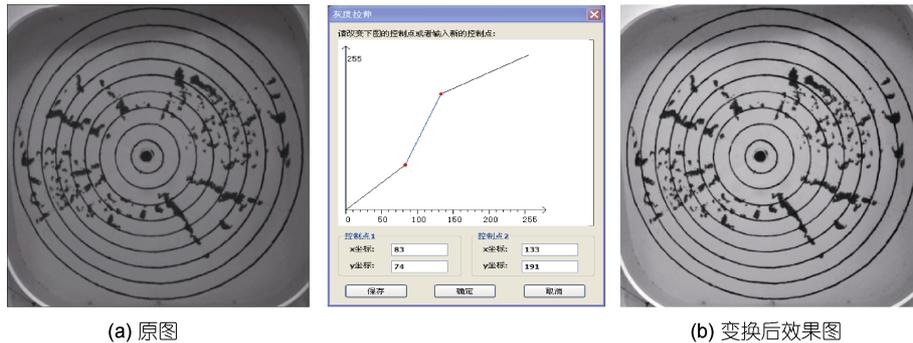


图 4 灰度变换

Fig.4 Gray-scale conversion

2.3 图像分割

经过灰度变换后,饵料目标和背景的对对比度较明显,直方图峰谷特征对比也比较明显,采用迭代法阈值分割在这种情况下可以得到比较好的分割效果,图像的前景和背景部分能较好地分割出来。图像分割处理流程如下:

(1) 首先求出灰度图像的最大灰度值 G_{\max} 和最小灰度值 G_{\min} , 然后通过 G_{\max} 和 G_{\min} 求得平均阈值 T , 并把该阈值作为初始化阈值, 计算公式如下:

$$T = (G_{\max} + G_{\min}) / 2 \quad (2)$$

(2) 用阈值 T_k (其中 $k = 0, 1, 2, \dots$) 分割图像为灰度值大于 T_k 的像素部分和灰度值小于等于 T_k 像素部分, 这两部分分别记为 G_1 和 G_2 。

(3) 计算 G_1 和 G_2 像素的平均灰度值 m_1 和 m_2 ;

$$m_1 = \frac{\sum_{G(i,j) \leq T_k} G(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{G(i,j) \leq T_k} N(i,j)} \quad m_2 = \frac{\sum_{G(i,j) > T_k} G(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{G(i,j) > T_k} N(i,j)} \quad (3)$$

式中, m_1 代表 G_1 的平均灰度值, m_2 代表 G_2 的平均灰度值, 图像上点 (i, j) 的灰度值用 $G(i, j)$ 表示, $N(i, j)$ 是点 (i, j) 的权重系数, 一般 $N(i, j) = 1.0$ 。

(4) 求出一个新的阈值: $T = (m_1 + m_2) / 2$;

(5) 如果连续迭代中的值 $T_k = T$, 此时 T_k 为分割的最佳阈值, 结束迭代, 否则重复步骤 2 到 4。

迭代法阈值分割方法基于逼近的思想, 通过程序逐次迭代计算得到的目标和背景区域的均值分别为 B_0 和 B_1 , 直到收敛于某个稳定的阈值这个值就是迭代法最终的分割阈值, 通过该方法把饵料和背景分割开来。这种方法的本质是利用每幅图像的信息计算分割阈值, 图像不同, 分割的阈值就不同, 具有自适应性。

2.4 轮廓提取

目标图像的轮廓提取常采用链码法, 常用的链码有 4 向、8 向链码两种, 是按照中心像素点邻接方向个数的不同来划分的(陈优广, 2006)。因为任意一个像素周围均有 8 个邻接点, 能够准确地描述中心像素点与其邻接点的信息。利用链码进行轮廓跟踪的算法具体步骤为:

(1) 按顺序扫描图像, 当找到没有被标记跟踪结束记号的点时把它作为第一个边界起始点 A 。定义一个用来记录上一步中沿着前一个边界点到当前边界点的移动方向的方向变量 dir , 设其初始值为 7;

(2) 按逆时针方向搜索当前像素的 3×3 邻域, 设置起始搜索方向为 $(dir + 7) \bmod 8$ 。如果搜索到的当前像素值与第一个像素值相同时, 便把当前像素作为新的边界点 A_n , 同时更新变量 dir 。

(3) 重复步骤 2, 直到第一个边界点 A_0 等于第二个边界点 A_1 , 且前一个边界点 A_{n-1} 等于 A_0 。

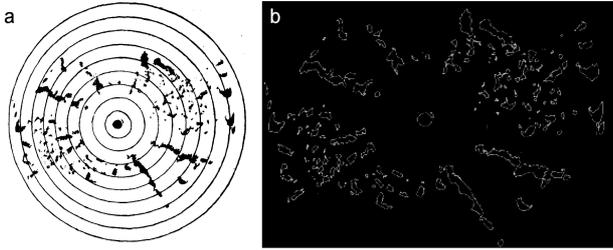


图 5 图像二值化与轮廓提取

Fig.5 Image binarization and contour extraction
a. 二值化图像; b. 轮廓提取

(4) 根据以上步骤找到边界点 A_0 、 A_1 、 A_2 、...、 A_{n-2} 构成的边界就是需要跟踪的边界。

上图中, 图 5(a)为经过迭代阈值法分割后的二值化图像, 图 5(b)为二值化后去除背景图像中黑色圆圈标线后的二值图, 利用多区域轮廓跟踪法提取的边缘比较细, 同时空洞的部分没有被分割出来, 只提取了

图像边界, 这样使得计算的面积比较接近真实的值。

2.5 面积与位置分析

获得污物图像的轮廓后, 可进一步计算各污物聚集点的面积和位置。污物聚集面积根据轮廓线包含的像素点进行统计, 然后以图中预设圆圈的几何尺寸, 换算获得污物聚集的真实面积。污物所在位置以池心为坐标原点, 以到池心的距离为位置坐标。

3 结果与分析

试验射流流速不变 $v=24\text{cm/s}$, 八种不同射流角度 α 对池内污物聚集特性的影响如图 6 所示。由图可见, 污物总体倾向于集中分布在左斜方向的区域内; 随着驱动角度增大, 污物聚集度升高, 当射流角度为 40° 时, 出现最佳污物聚集现象。之后, 随着射流角度进一步增大, 污物聚集度开始降低。

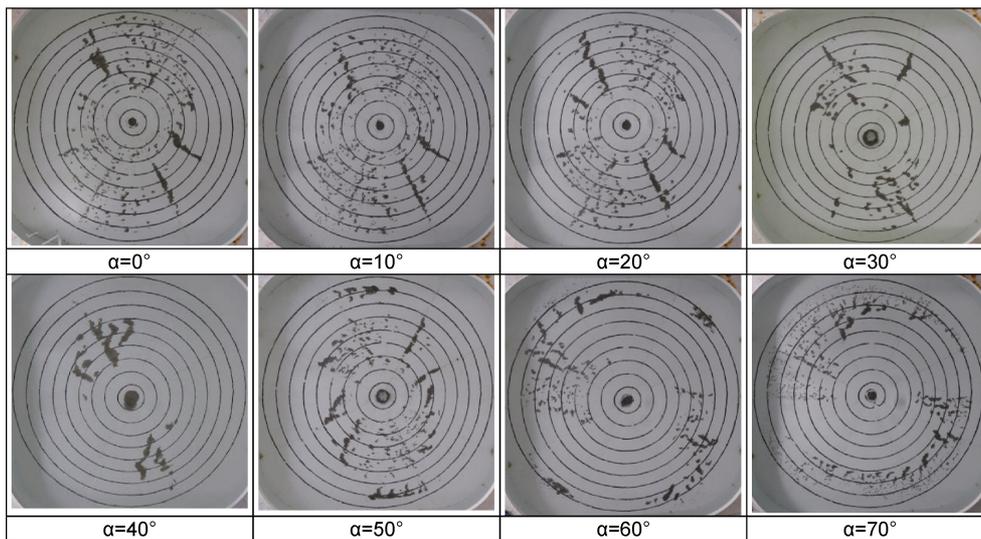


图 6 不同射流角度下污物聚集效果图

Fig.6 Waste accumulation patterns at different jetting angles

进一步利用图像分析技术, 量化分析不同射流角度条件下的污物聚集情况, 如图 7 所示。图中 x 轴代表各环序号, y 轴为各环饵料所占面积, 单位为 m^2 。由图可见, 第二环内污物面积均为 0, 面积峰值位于第五、六环处, 角度增大至 50° 时, 外环内面积开始增大。

射流角度 α 对池内饵料所占总面积的影响如图 8 所示, 图中 x 轴代表射流角度 α , y 轴代表饵料所占总面积, 单位 m^2 。由图 8 可见, 污物所占总面积随角度增大先减小后增大, 当射流角为 40° 时达到最小值。

4 讨论

图像分析技术广泛应用于各种生产实践和科学研究中, 本文针对养殖池残饵污物特性, 开发了专用的图像分析软件, 有效解决了残饵图像分析技术, 成功获取了污物聚集面积和位置的量化数据, 为进一步开展各种养殖池污物聚集特性分析等相关研究提供了重要的手段支撑。

养殖池污物聚集特性不仅与池型结构、水力驱动方式有关, 而且也与污物的物理学特性有密切关系 (Oca *et al.*, 2007)。本文针对一种常用的方形圆切角养

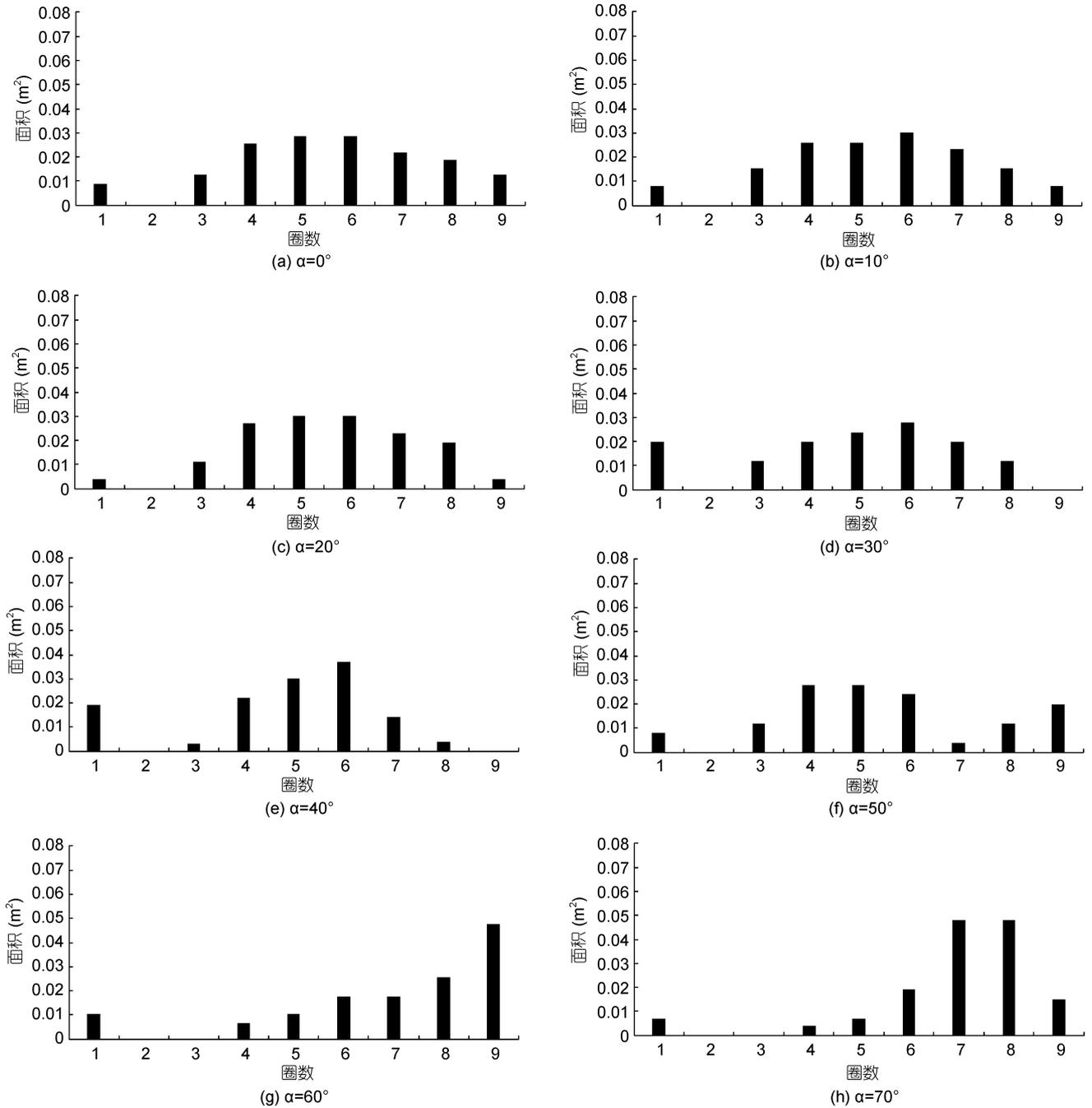
图7 射流角度 α 对池内污物聚集效果的影响

Fig.7 Impact of jetting angles on the waste accumulation

殖池,以对虾1号饲料作为残饵污物,研究了给定流速条件下,边侧垂管射流角度对池内污物聚集效果的影响。研究表明,射流角度为 40° 时,污物聚集效果最好,饵料所占总面积为 0.129m^2 ,显著优于其它射流角度。污物向池心聚集的原因与多种因素有关。养殖池在水力驱动下,形成环流,一般情况下流速由外向内逐步减小,由于池心存在出口流量,形成向心流,污物被水流驱动产生运动,在向心流和向心重力

分量(由底坡引起)的作用下产生向心运动。在本试验中,同时发现污物并非都向池心聚集,在养殖池的左斜断面(参见图6)也容易产生污物聚集,这可能是由于左斜断面底部流速存在衰减,低于污物的启动流速而产生聚集。尚需开展更深入的水动力特性研究,分析池内不同位置处的流场特征。当射流角度大于 50° 以后,污物的聚集逐步变得离散,这应与射流方向过于接近池心,使池外圈产生反向漩涡,流场变得

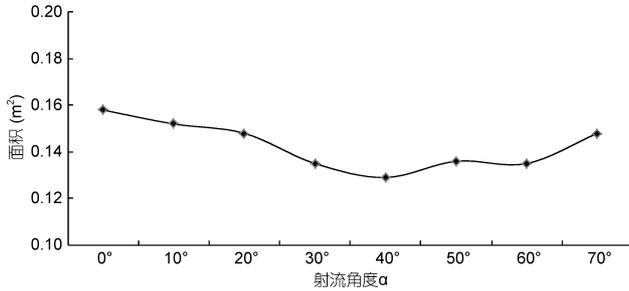


图 8 射流角度 α 对污物所占总面积的影响

Fig.8 Impact of jetting angles on the total area of waste accumulation

凌乱, 无法有效的实现污物聚集。因此对于此类方形圆切角养殖池, 在边侧射流水力驱动条件下, 其最优射流角度应设置在 40° 左右。

本文仅针对直壁养殖水池的一种底坡情况下的水动力特性和集污效果进行了试验研究。实际生产中, 养殖池的池型结构类型较多、水力驱动方式也有多种、污物的组成成分也较复杂, 本文的研究成果可供参考, 更系统全面的研究可以通过开展试验和数值模拟等方法进一步深化, 最终为工厂化鱼类、虾蟹类养殖池的设计和池型优化提供更为系统科学的参考依据。

参 考 文 献

马彦平, 白由路, 高祥照等, 2009. 基于数字图像的玉米叶面

积测量方法研究. 中国农学通报, 25(22): 329—334

刘 鹰, 王玲玲, 1999. 集约化水产养殖污水处理技术及应用. 淡水渔业, 29(10): 22—24

刘星桥, 孙玉坤, 赵德安等, 2005. 采用图像处理技术对鱼体健康状况监视和预报. 农业工程学报, 21(6): 118—121

江丹丹, 2015. 图像跟踪分析在海水养殖试验中的应用技术研究. 舟山: 浙江海洋学院硕士学位论文, 23—24

孙少林, 马志强, 汤 伟, 2010. 灰度图像二值化算法研究. 价值工程, 29(5): 142—143

张 鹤, 吴 谨, 吴雪垠, 2011. 结合对称差分及边界信息的运动目标检测方法. 信息技术, (11): 138—141

陈优广, 2006. 边界跟踪、区域填充及链码的应用研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 10—15

范 嵩, 刘 娇, 杨 轶, 2008. 图像识别技术在鱼苗计数方面的研究与实现. 水产科学, 27(4): 210—212

徐建瑜, 崔绍荣, 苗香雯等, 2005. 计算机视觉技术在水产养殖中的应用与展望. 农业工程学报, 21(8): 174—178

梁庆磊, 赵为松, 2011. 动背景下帧差分法与边缘信息融合的目标检测算法. 光电工程, 38(10): 77—83

黄翔鹤, 2013. 对虾高位池水环境养殖污染和浮游微藻生态调控机制研究. 上海: 东华大学博士学位论文

章毓晋, 2012. 图像工程(上册): 图像处理. 北京: 清华大学出版社, 2

翟丽华, 2008. 基于 Linux 和图像处理的节电控制系统研究设计. 济南: 山东建筑大学硕士学位论文

Oca J, Masaló I, 2007. Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. Aquacultural Engineering, 36(1): 36—44

MONITORING WASTE CUMULATING IN AQUACULTURE PONDS USING IMAGE PROCESSING TECHNOLOGY

ZHANG Hui, WU Chang-Wen, JIANG Dan-Dan, ZHAO Le, GUI Fu-Kun

(National Engineering Research Center for Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

Abstract We developed an image processing technology to quantitatively monitor, analyze, and clean up waste accumulation in rounded-square-shaped aquaculture pond, in which water is driven by a set of side-jetting flow pipes. The technology includes four steps: image preprocessing, image enhancement, image segmentation, and contour extraction. To achieve best clean-up result, the best water jetting angles (angles between jetting direction and pond wall) was tested and found to be 40° . The result may give guidance for designing or optimizing the layout of hydraulic driving facilities.

Key words aquaculture pond; waste accumulation; image processing technology