

基于机器视觉的水下鲆鲽鱼类质量估计

王文静¹, 徐建瑜^{1*}, 吕志敏², 辛乃宏^{2,3}

(1. 宁波大学信息科学与工程学院, 宁波 315211; 2. 天津市海发珍品实业发展有限公司, 天津 300452;

3. 中盐制盐工程技术研究院, 天津 300450)

摘要: 为了更好地解决水下鲆鲽类等底栖鱼的质量估计问题, 本研究获取了半滑舌鲷 (*Cynoglossus semilaevis*) 在不同生长阶段的图像和质量数据, 利用图像处理技术测量出鱼的面积, 并将面积与质量进行数据拟合建立模型。结果表明面积与质量的相关性可达到 0.9682, 测试平均相对误差为 6.17%。由于鱼的质量还受其他形状参数的影响, 同时测量了等效椭圆长短轴比和圆形成度因子, 对面积、等效椭圆长短轴比和质量, 面积、圆形成度因子和质量分别进行三维拟合, 质量估计的平均相对误差分别为 5.50%、5.62%。通过验证表明, 对水底鱼拍摄的图像经过水底模板校准后的处理结果, 与水外面拍摄处理后的结果一致, 因此在不捕捞的情况下可以实现水底活体鲆鲽类鱼的质量估计。

关键词: 水产养殖, 图像处理, 摄像机, 半滑舌鲷, 重量估计, 数据拟合

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.16.024

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-16-0153-05

王文静, 徐建瑜, 吕志敏, 等. 基于机器视觉的水下鲆鲽鱼类质量估计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 153—157.
Wang Wenjing, Xu Jianyu, Lü Zhimin, et al. Weight estimation of underwater *Cynoglossus semilaevis* based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(16): 153—157. (in Chinese with English abstract)

0 引言

目前, 鲆鲽类养殖业已发展成为中国北方海水养殖的重要产业^[1]。鲆鲽类鱼属于大型底层鱼类, 身体背腹扁平, 有伏底的生活习性, 在工厂化养殖过程中需要定期进行生物量评估^[2]。养殖动物的生物量是很重要的参数, 需要根据其来调整投饵量、分级、捕获和控制养殖密度等^[3]。传统测量鱼生物量的方法是定期捕捞一部分鱼称质量, 会对鱼产生应激和物理伤害, 经测量过的鱼需要几天才能恢复正常摄食和生长, 因此, 迫切需要一种简单易行, 能减少对养殖生物影响的测量手段。

机器视觉技术是一种快速、经济、有效的测量和评价手段, 在水产养殖和水产品加工时可以根据生物尺寸、形状、颜色和品质进行识别和分类^[4-7]。在机器视觉生物测量方面, Eifert 等^[8]预测不规则形状物体的表面积; Damar 等^[9]估计牡蛎的体积; 谭峰等^[10]无损测量大豆叶片面积。国内外一些学者利用机器视觉对水产生物质量估计做了一些研究, 张志强等^[11]利用机器视觉技术对淡水鱼进行质量预测和分级, 运用回归分析建立投影面积与质量之间的预测模型。Balaban 等^[12-14]利用图像分析对加

工过程中三文鱼和鳕鱼的质量进行测量, 利用数据拟合得到面积和重量的最佳回归方程。Mathiassen 等^[15]利用立体视觉系统对加工过程中鲱鱼的质量进行快速估计, 得到二维和三维特征尺寸的线性回归方程。Lines 等^[16]和 Harvey 等^[17]采用摄像机水下获取图像进行分析的方法, 估计鲑鱼、金枪鱼的体长、体宽和质量。

本文针对鲆鲽类半滑舌鲷 (*Cynoglossus semilaevis*) 的水下质量估计方法进行研究。测量不同生长阶段半滑舌鲷的质量, 并采用数码相机获得其图像, 计算出鱼的实际面积, 通过数据拟合得到鱼体质量与面积、形状参数的拟合方程, 并验证该拟合方程对于实现水中半滑舌鲷质量估计的适用性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用半滑舌鲷 (*Cynoglossus semilaevis*) 作为研究对象, 半滑舌鲷属鲽形目, 个体大、生长速度快, 在北方海水养殖较为普遍。试验在天津市海发珍品实业发展有限公司养殖场内进行。在养殖过程中每月抽测量 1 次, 每次随机抽取健康的半滑舌鲷 20 条左右, 尺寸大小兼有, 连续测量 8 个月, 单体鱼质量的范围在 120~800 g。

1.2 试验装置

图像获取装置如图 1 所示, 由三脚架、数码相机和计算机组成, 数码相机和计算机之间通过数据线相连接来传送图像。数码相机采用 Canon PowerShot S3 IS, 分辨率设置为 1600×1200 像素。为了简化装置, 采用可以将云台倒装的伟峰 WF-6662A 三脚架, 将数码相机朝下安放。

收稿日期: 2012-02-26 修订日期: 2012-07-11

基金项目: 浙江省重大科技攻关专项计划项目 (2011C11049); 宁波市自然科学基金项目 (2010A610005)

作者简介: 王文静 (1988—), 女, 湖南省永州市人, 主要从事计算机视觉与图像处理方面研究; 宁波 宁波大学信息科学与工程学院, 315211。

Email: wangwenjing0205@163.com

*通信作者: 徐建瑜 (1973—), 女, 黑龙江省牡丹江市人, 副教授, 博士, 主要从事生物图像处理方面的研究; 宁波 宁波大学信息科学与工程学院, 315211; Email: xujianyu@nbu.edu.cn

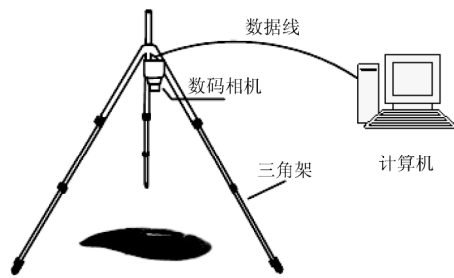


图1 图像获取装置

Fig.1 Image acquisition device

1.3 试验设计

每批次测量时先调节三脚架的高度和数码相机水平,拍摄校准板的图像,以对摄像系统进行校准,然后保持三脚架的位置不变,依次将鱼放在校准板的区域内获取图像,并依次用精度1g的电子秤称质量。

为了避免在测量过程中将鱼从水中捞起,实现水底鱼面积的水上测量,尝试利用数码相机在水上采集水底活体鱼的图像,这会受到光的折射、水的透明度等因素的影响,需要将校准模板放入水底。为了验证经过水底的模板校准后,是否可以取得和鱼在水外拍摄处理一致的效果,进行了以下的操作:选用面积为 99 cm^2 矩形模块和5条大小不一样的舌鳎,分别把校准模板、矩形模块和鱼放在桌面上和水深为10、20、30、40、50 cm的水箱里,用数码相机采集图像。拍摄水中鱼的图像时,要关掉水中的增氧设备和水循环,以保证水面的平静;当水的浑浊度高时,可以适当降低水位高度。

2 图像处理和数据处理

2.1 图像处理及特征参数提取

鱼体质量和鱼长度、面积等参数有关,而半滑舌鳎是底栖鱼,身体扁平,平时伏于水底,测量顶视面积非常方便。为了简化测量过程和计算算法,本研究只测量半滑舌鳎的顶视面积。由于鱼的质量除了和面积有关外,还受其他形状参数的影响,同时测量了等效椭圆长短轴比(ration of equivalent ellipse axes, REEA)和圆形成因子(heywood

circularity factor, HCF)等形状参数^[18-19]。图像和数据处理的过程如图2所示,图像处理用LabVIEW 8.6和NI VISION 8.6实现,数据拟合用Matlab实现。



图2 图像处理和数据处理过程流程图

Fig.2 Flow chart of image and data processing

为了克服拍摄角度、相机镜头带来的图像扭曲、倾斜、失真等影响,采用校准模板对图像进行非线性校准(nonlinear calibration)。校准模板为 $60\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ 的长方形,采用圆点阵列,圆的直径为 0.8 cm ,圆心间距为 2 cm 。拍摄的校准模板如图3a所示,同样条件下拍摄的鱼体图像如图3b所示。该研究使用仿射变换对模板表面分布规则的特征点建立查找表,查找分析特征点,计算变形量,然后对原图进行修正^[20],校准后的图像如图3c所示。

拍摄的图像会存在背景较暗、对比度不强、目标图像边缘模糊等缺陷,为了提高图像分割、图像特征提取的可靠性,必须对校准后的图像进行预处理以改善图像质量。预处理主要有几何变化、平滑等。

为了将目标从背景中分离出来,必须找到合适的阈值对图像进行分割,常见的自动阈值方法有最大类间方差法、最小误差法、最小偏差法、聚类法等^[21-22]。通过试验对比,聚类法的分割效果最好。聚类法是将空间中的像素用对应的特征空间点表示,根据他们在特征空间的聚集对特征空间进行分割,然后将他们映射回原图空间,得到分割结果如图3d所示。

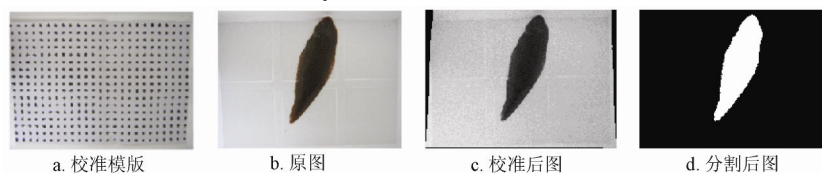


图3 图像处理过程图

Fig.3 Results of image processing

2.2 数据处理方法

对二值图像进行特征值提取,求出面积、REEA和HCF,将数据导入Excel表格,对数据进行线性相关性处理。面积和质量数据拟合使用的最小二乘法^[23-25],是通过误差的平方和最小化来寻找数据的最佳匹配函数,主要有直线拟合、二次多项式拟合、幂次拟合等模型。

为了探究其他形状参数对重量估计的影响,分别对面积、REEA和质量,面积、HCF和质量进行三维拟合。本研究采用二次曲面的最小二乘拟合法^[26-27],利用Matlab软件进行拟合。

2.3 水下图像的校正

对水外和不同水深处采集的矩形模块和舌鳎的图像经过校准、二值化、取反、滤波后获得面积参数。矩形模块校准后获取的面积值与真实值比较,舌鳎水下拍摄所求面积与水外拍摄所求面积比较,求出相对误差。

3 结果与分析

3.1 方程拟合结果

3.1.1 二维拟合结果

在160张图像中,去除鱼体运动产生变形的图像,

在余下 138 组试验样本中，从中随机选取 121 组样本数据进行线性拟合，17 组样本数据进行误差验证。分别对面积和质量进行直线拟合、二次多项式拟合、幂次拟合，拟合后的结果如表 1 所示，可见幂次方的拟合效果最好，拟合相关性可达到 0.9682，图 4 为面积与质量的幂次拟合图。为了检验数据拟合方程得出的值与真实值的差异，用随机抽取的 17 组样本数据进行检验，通过幂次拟合方程求出的值与真实值比较，其平均相对误差为 6.17%。

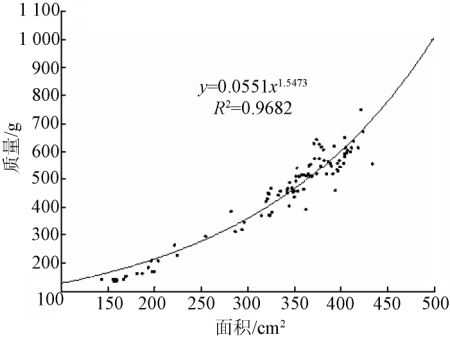


图 4 面积与质量的幂次拟合图
Fig.4 Power-law fitting of area and weight

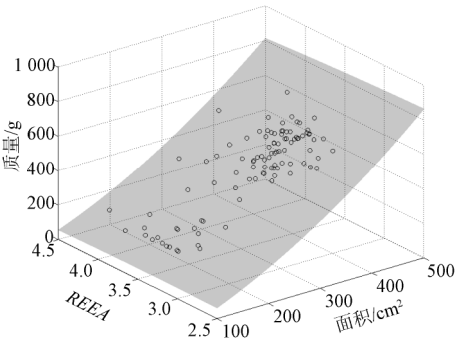
表 1 最小二乘法拟合结果
Table 1 Results of least-squares fitting

拟合方程	决定系数	平均相对误差/%
$y=1.8807x-172.49$	0.931	6.35
$y=0.0011x^2+1.2706x-93.388$	0.9325	6.61
$y=0.0551x^{1.5473}$	0.9682	6.17

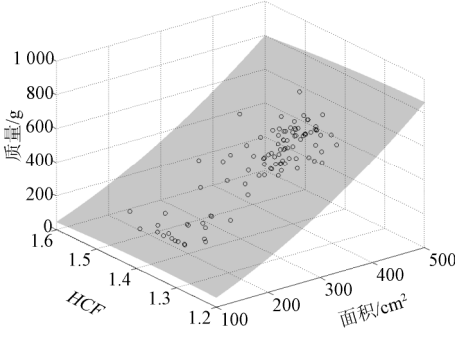
注：x 为面积，cm²；y 为质量，g。

3.1.2 三维拟合结果

分别对面积、REEA 和质量，面积、HCF 和质量进行三维拟合的结果如图 5 所示。



a. 面积、REEA 与质量拟合图



b. 面积、HCF 与质量拟合图

注：REEA 为椭圆长短轴比，HCF 为圆形度因子。

图 5 质量三维拟合图

Fig.5 3D fitting chart of weight

面积、REEA 与质量三维拟合后的结果为

$$z = 423.76 + 1.401x - 282.98y + 0.001x^2 - 0.053xy + 39.095y^2 \quad (1)$$

面积、HCF 和质量三维拟合后的结果为

$$z = 2666 + 1.6501x - 3954h + 0.001x^2 - 0.313xh + 1418.9h^2 \quad (2)$$

式中，x 为面积，cm²；l 为 REEA；h 为 HCF；z 为质量，g。

面积、REEA 与质量，面积、HCF 与质量进行三维拟合后的平均相对误差分别为 5.50%和 5.62%。可见增加形状参数对预测精度提高并不明显。

3.2 水下图像结果的适用性分析

如表 2 所示，矩形模块校准后获取的面积值与真实值比较，相对误差不超过 2%，舌鲷水下拍摄所求面积与桌面拍摄所求面积比较，相对误差不超过 3%。由此可以看出，该研究所采用的方法同样适用于水底活体鲆鲽类鱼的质量估计，只需要把校准模板放入水底。

表 2 面积和误差

Table 2 Area and measurement error

水箱里的水深/cm	矩形模块面积相对误差/%	鱼面积相对误差/%
10	0.01	2.09
20	0.31	1.30
30	1.91	2.37
40	0.23	0.56
50	1.85	0.92

4 结 论

1) 本研究使用数码相机采集水下半滑舌鲷的图像，利用图像处理技术测量鱼的面积，通过建立面积与质量幂次拟合模型估计鱼质量，其决定系数达到 0.9682，质量平均相对误差为 6.17%。

2) 鱼的质量估计会受到多个形态学参数的影响，测量 REEA 和 HCF，分别对面积、REEA 和质量，面积、HCF 和质量进行三维拟合，平均相对误差分别为 5.50%、5.62%。试验结果表明，根据面积和 REEA、HCF 的组合也能够较好的估计出鱼的质量，但相对于面积与质量的二维拟合，预测精度提高并不明显。

3) 通过验证，只要将校准模板放入水底，测得水底的鱼的面积和水外拍摄测得的面积基本一致。

[参 考 文 献]

[1] 杨正勇,王春晓. 全球视野下中国鲆鲽类养殖业的发展[J]. 中国渔业经济, 2009, 27(6): 115-121.
Yang Zhengyong, Wang Chunxiao. On the development of flatfish aquaculture industry of China: A global perspective[J]. Chinese Fisheries Economic, 2009, 27(6): 115-121. (in Chinese with English abstract)

[2] 黄一民,杨德利. 我国鲆鲽鱼养殖产业化发展研究[J]. 山西农业科学, 2009, 37(11): 58-61.
Huang Yimin, Yang Deli. The research of flounder paralichthys aquaculture industrialized development in China[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(11): 58-61. (in Chinese with English abstract)

- [3] 徐建瑜, 崔绍荣, 苗香雯, 等. 计算机视觉技术在水产养殖中的应用与展望[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 174—178.
Xu Jianyu, Cui Shaorong, Miao Xiangwen, et al. Application and prospect of computer vision technology in aquaculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(8): 174—178. (in Chinese with English abstract)
- [4] Gümüş B, Balaban M Ö, Ünlüsaym M. Machine vision applications to aquatic foods: A review[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011(11): 171—181.
- [5] Korel F, Luzuriaga D A, Balaban M Ö. Objective quality assessment of raw tilapia (*Oreochromis Niloticus*) fillets using electronic nose and machine vision[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(7): 1018—1024.
- [6] Korel F, Luzuriaga D A, Balaban M Ö. Quality evaluation of raw and cooked catfish (*Ictalurus punctatus*) using electronic nose and machine vision[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2001, 10(1): 3—18.
- [7] Luzuriaga D A, Balaban M O, Yeralan S. Analysis of visual quality attributes of white shrimp by machine vision[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(1): 113—118.
- [8] Eifert J D, Sanglay G C, Lee D J, et al. Prediction of row produce surface area from weight measurement[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(4): 552—556.
- [9] Damar S, Yagiz Y, Balaban M, et al. Prediction of oyster volume and weight using machine vision[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2007, 15(4): 5—17.
- [10] 谭峰, 高艳萍. 基于图像的植物叶片面积无损测量方法研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 170—173.
Tan Feng, Gao Yanping. Investigation of the method for non-destructive measurement of leaf area based on image[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(5): 170—173. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张志强, 牛智有, 赵思明, 等. 基于计算机视觉技术的淡水鱼质量分级[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 350—354.
Zhang Zhiqiang, Niu Zhiyou, Zhao Siming, et al. Weight grading of freshwater fish based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 350—354. (in Chinese with English abstract)
- [12] Balaban M O, Chombeau M, Cırbán D, et al. Prediction of the weight of alaskan pollock using image analysis[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(8): 552—556.
- [13] Balaban M O, Sengör G F, Soriano M G, et al. Using image analysis to predict the weigh of Alaskan Salmon of different species[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(3): 157—162.
- [14] Balaban M O, Chombeau M, Gümüş B, et al. Quality evaluation of alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) roe by image analysis. part I: weight prediction[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2012, 21(1): 59—71.
- [15] Mathiassen J R, Misimi E, Toldnes B, et al. High-speed weight estimation of whole Herrin (*Clupea harengus*) using 3D machine vision[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(6): 1—7.
- [16] Lines J A, Tillett R D, Ross L G, et al. An automatic image-based system for estimating the mass of free-swimming fish[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2001, 31(2): 151—168.
- [17] Harvey E, Cappel M, Shortis M, et al. The accuracy and precision of underwater measurements of length and maximum body depth of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) with a stereo-video camera system[J]. Fisheries Research, 2003, 63(3): 315—326.
- [18] 王润涛, 张长利, 房俊龙, 等. 基于机器视觉的大豆籽粒精选技术[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 355—359.
Wang Runtao, Zhang Changli, Fang Junlong, et al. Soybean seeds selection based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 355—359. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张红涛, 毛罕平, 邱道尹. 储粮害虫图像识别中的特征提取[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 126—130.
Zhang Hongtao, Mao Hanping, Qiu Daoyin. Feature extraction for the stored-grain insect detection system based on image recognition technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(2): 126—130. (in Chinese with English abstract)
- [20] NI Vision Concepts Manual[Z]. National Instruments, 2008, 6.
- [21] 李明, 张长利, 房俊龙. 基于图像处理技术的小麦面积指数的提取[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 205—209.
Li Ming, Zhang Changli, Fang Junlong. Extraction of leaf area index of wheat based on image processing technique[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 205—209. (in Chinese with English abstract)
- [22] 赵晖, 林成龙, 唐朝京. 基于峰值聚类趋势检验的含噪声图像快速阈值分割方法[J]. 信号处理, 2009, 25(11): 1666—1674.
Zhao Hui, Lin Chenglong, Tang Chaojing. Fast thresholding segmentation method based on peak clustering tendency test for noisy image[J]. Signal Processing, 2009, 25(11): 1666—1674. (in Chinese with English abstract)
- [23] Diao J, Lei X D, Hong L X, et al. Single leaf area estimation models based on leaf weight of eucalyptus in southern China[J]. Journal of Forestry Research, 2010, 21(1): 73—76.
- [24] Gümüş B, Balaban M O. Prediction of the weight of aquacultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by image analysis[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2010, 19(3/4): 227—237.
- [25] 汪强, 席磊, 任艳娜, 等. 基于计算机视觉技术的烟叶成熟度判定方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 175—179.
Wang Qiang, Xi Lei, Ren Yanna, et al. Determination of tobacco leaf maturity degree based on computer vision technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(4): 175—179. (in Chinese with English abstract)
- [26] 杨国权, 王春, 蔡玉俊. 一种散乱数据曲面拟合算法[J]. 机械设计与制造, 2005(10): 29—30.
Yang Guoqun, Wang Chun, Cai Yujun. A method for fitting scattered points[J]. Machinery Design and Manufacture, 2005(10): 29—30. (in Chinese with English abstract)

- [27] 李二涛, 张国焯, 曾虹. 基于最小二乘的曲面拟合算法研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2009, 29(2): 48—52.
Li Ertao, Zhang Guoxuan, Zeng Hong. Algorithm of surface

fitting research based on Least-squares methods[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2009, 29(2): 48—52. (in Chinese with English abstract)

Weight estimation of underwater *Cynoglossus semilaevis* based on machine vision

Wang Wenjing¹, Xu Jianyu^{1*}, Lü Zhimin², Xin Naihong^{2,3}

(1. Institute of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Tianjin Haifa Titbit Industry Development Co., Ltd, Tianjin 300452, China; 3. Salt Research Institute China National Salt Industry Corporation, Tianjin 300452, China)

Abstract: In order to solve the problem of estimating the weight of the flounder and other flatfishes underwater, the image and weight data of the tonguefish (*Cynoglossus semilaevis*) were obtained at different growth stages. The area of the fish were measured through the image processing. The fitting models were established to match the area compared with weight. The results showed that the correlation between the area and the weight could reach at 0.9682, the average relative error was 6.17%. In addition, the weight was also affected by other shape parameters, and the ratio of equivalent ellipse axes and Heywood circularity factor were measured. Three-dimensional fitting models of area, ratio of equivalent ellipse axes, weight, and area, Heywood circularity factor, weight were established. The average relative errors of the two models were 5.50%, 5.62%, respectively. The experiment verified that the processed results of images of fish underwater obtained out of the surface and calibrated with the template underwater were consistent with that of images obtained outside the water. Consequently, the weight of flounder fish underwater can be estimated without catching the fish.

Key words: aquaculture, image processing, cameras, *cynoglossus semilaevis*, weight estimation, data fitting