



## 基于计算机视觉的鱼类形态轮廓特征自动提取

欧利国<sup>1</sup>, 蓝振峰<sup>2</sup>, 刘必林<sup>1,3,4,5\*</sup>, 陈新军<sup>1,3,4,5</sup>, 陈勇<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学信息学院, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

5. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 鱼类形态变化多样, 其形态轮廓特征具有种的特异性, 并作为鱼类识别和分类的重要科学依据。形态轮廓特征的提取效果直接影响到自动识别鱼类的精确度, 因此, 为了研究计算机视觉对鱼类形态轮廓特征的自动提取效果, 根据 2017 年 9—11 月在太平洋海域采集的 1 尾大眼金枪鱼的二维图像, 进行计算机视觉分析。通过对鱼类图像进行灰度转换, 双边滤波, 二值化图像处理和轮廓提取等图像处理。利用 8 个方位的链码技术对鱼类轮廓进行链码信息的自动提取。通过椭圆傅里叶变换计算出形态信息系数, 并对鱼类形态进行轮廓重建。结果显示, 金枪鱼图像处理能较好地得到轮廓图像, 其链码信息会随着鱼类形态轮廓像素的大小发生变化, 而鱼类形态的轮廓重建随着谐次的变化而变化。研究表明, 自动提取鱼类形态轮廓特征效果较好。鱼类形态系数在低谐次变化波动较大, 在高谐次变化波动较小。轮廓重建在低谐次变换对鱼类整体轮廓信息影响较大, 在高谐次变换对鱼类局部轮廓信息影响较大。研究结果为鱼类自动识别和分类奠定前期基础, 也为其他相关自动化研究提供借鉴和参考。

**关键词:** 鱼类; 计算机视觉; 形态轮廓; 链码; 形态系数; 轮廓重建; 自动提取

**中图分类号:** S 917.4; TP 18

**文献标志码:** A

鱼类形态轮廓特征作为其识别和分类的重要科学依据。在国内, 早期的鱼类分类学主要是通过鱼类形态特征分析进而实现识别和分类应用, 如朱元鼎等<sup>[1]</sup>通过调查我国南海鲹科 (Carangoid) 鱼类, 利用鱼类形态特征分析发现 2 个新种。孟庆闻<sup>[2]</sup>通过观察 7 种鱼类仔鱼的形态特征差异变化, 研究常见仔鱼的早期发育形态等。长期以来, 学者通过人为方式采用定性<sup>[3]</sup>和定量分析<sup>[4-5]</sup>的研究手段对鱼类进行识别和分类研究<sup>[6-8]</sup>, 其研究成

果为后续开展鱼类资源养护和开发奠定了良好的基础<sup>[9-10]</sup>。但是随着人工智能时代的到来, 鱼类的识别和分类应用技术进一步发展, 以实现信息化和自动化相结合的现代分类体系<sup>[11]</sup>。由于计算机视觉技术能自动获取鱼类图像中的相关生物学信息<sup>[12]</sup>, 为鱼类自动分类提供了实现的途径。如谢忠红等<sup>[13]</sup>通过提取鱼类形态、纹理和颜色等特征识别了 4 种淡水鱼: 鲫 (*Carassius auratus*)、鳊 (*Siniperca chuatsi*)、鳊 (*Parabramis pekinensis*) 和白

收稿日期: 2020-12-23 修回日期: 2021-10-15

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901404); 国家自然科学基金 (41876141); 上海市高校特聘教授“东方学者”岗位计划 (0810000243); 农业农村部西北太平洋公海渔业资源综合科学调查专项 (D-8021-21-0109-01); 上海市科技创新行动计划 (19DZ1207502)

第一作者: 欧利国 (照片), 从事人工智能渔业资源生物学研究, E-mail: 919989412@qq.com

通信作者: 刘必林, 从事人工智能渔业资源生物学研究, E-mail: bl-liu@shou.edu.cn



鱼属 (*Anabarilius*), 其识别效果较好。张志强等<sup>[14]</sup>依据鱼体的颜色占比以及长短轴之比等特征值建立识别模型, 并对 4 种淡水鱼: 鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲫、鳊和鲤 (*Cyprinus carpio*) 进行自动分类, 取得较好的识别效果。

鱼类形态轮廓特征的自动提取是现代化鱼类识别和分类的重要组成部分。由于自动识别鱼类<sup>[13-14]</sup>主要是通过计算机视觉技术对鱼类各种性状特征进行提取, 其提取效果尤其重要, 最终直接影响到识别的精确度。而鱼类形态轮廓特征具有显著的鱼种特异性<sup>[15-16]</sup>, 在分类鱼种的过程中具有非常直观和形象的特点<sup>[1-2]</sup>, 研究鱼类形态轮廓特征的自动提取不仅有利于实现鱼类自动识别和分类, 而且有助于推动鱼类生物自动化研究的快速发展。因此, 本研究以 1 尾大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 侧面形态的二维图像为例, 研究其鱼类形态轮廓特征的自动提取效果, 通过计算机视觉技术对鱼类图像进行预处理并得到形态轮廓, 提取形态轮廓链码信息, 利用椭圆傅里叶变换计算出鱼类形态信息的椭圆傅里叶描述子系数, 再对鱼类形态进行轮廓重建, 分析其形态系数和轮廓重建各自与谐波变化的关系。研究结果为自动识别鱼类奠定前期基础, 也为其他相关自动化研究提供参考和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本研究以 2017 年 9—11 月在太平洋海域 (2°~15°S, 164°~179°E) 采集的 1 尾大眼金枪鱼样本为

对象。利用数码相机采集其数字二维图像, 并处理保存图像为宽度 600 像素、高度 287 像素的 JPEG 文件格式 (图 1)。此外, 把原彩色图像缩小为宽度 300 像素、高度 144 像素, 同样保存为 JPEG 文件格式。实验过程中, 实验操作人员严格遵守实验动物伦理规范。



图 1 大眼金枪鱼图像

Fig. 1 *T. obesus* image

### 1.2 鱼类形态轮廓特征自动提取

计算机视觉技术对鱼类形态轮廓特征自动提取过程主要包括: 图像预处理、链码信息提取、形态轮廓系数和形态轮廓重建 (图 2)。

**鱼类图像预处理** 通过计算机视觉的图像处理技术利用 Open CV 库对大眼金枪鱼二维图像进行预处理, 把金枪鱼图像进行灰度转换 (Gray transformation), 将原图像的 RGB 空间转换为灰度空间, 公式<sup>[17]</sup>:

$$\text{Gray} = 0.229R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

式中, Gray 为金枪鱼图像灰度空间像素点的灰度值, *R*、*G*、*B* 分别表示原彩色图像像素点各通道像素值。

金枪鱼灰度图像进行双边滤波 (bilateral fil-

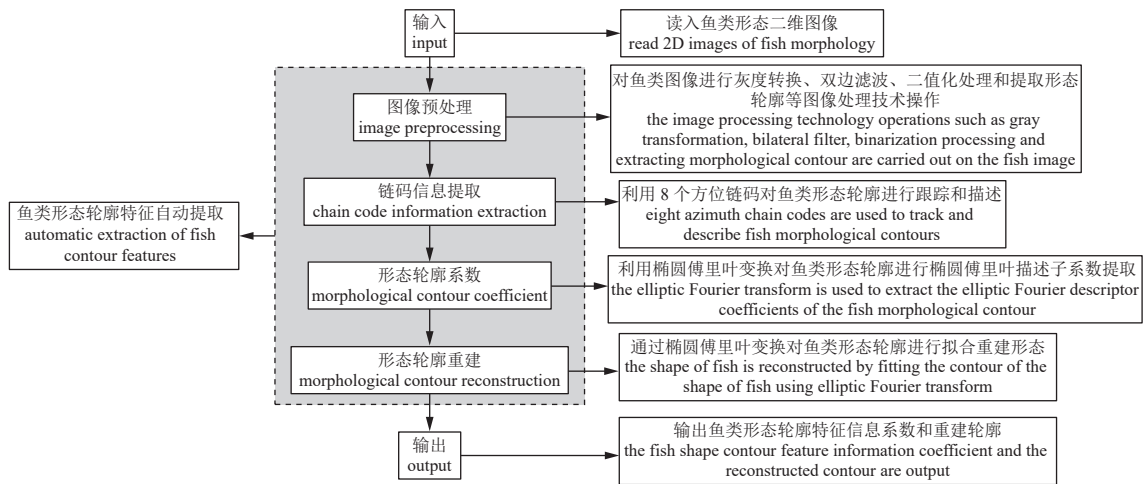


图 2 鱼类形态轮廓特征自动提取流程图

Fig. 2 Flowchart of automatic extraction of fish contour features

ter) 处理, 公式<sup>[18]</sup>:

$$BF[I] = \frac{1}{\omega} \sum_{j \in N} G_{\sigma_d}(\|j - i\|) G_{\sigma_r}(I_j - I_i) I_i \quad (2)$$

式中,  $i$  为待求的像素;  $N$  表示图像  $I$  中以像素  $i$  为中心的方形邻域;  $j$  表示邻域中的任一像素;  $\omega$  为归一化函数;  $G_{\sigma_d}$  是一个用来减弱远距离像素影响的空间邻近度函数;  $G_{\sigma_r}$  是一个用来减少对像素点  $i$  灰度差异太大的像素点  $j$  的影响的灰度相似度函数。

再对金枪鱼图像进行二值化 (binarization) 处理, 使得图像中的金枪鱼为白色, 背景为黑色。之后通过轮廓查找 (find contours) 函数发现鱼类形态轮廓并提取轮廓图像 (contour image)。

**形态轮廓链码信息** 通过计算机视觉技术对鱼类形态轮廓特征链码信息进行自动提取, 链码 (chain code) 信息提取方法参考相关链码研究<sup>[19-21]</sup>, 基于 Freeman 链码的 8 个方位对鱼类形态轮廓边缘信息进行跟踪和描述, 得到相应的形态轮廓边缘链码串信息<sup>[21]</sup>。其中, Freeman 链码跟踪和描述的是相邻两个像素连线的方位值。对于鱼类形态轮廓边缘利用 8 个不同的基本方位链码 (图 3), 分别以 0、1、2、3、4、5、6、7 的链码值表示, 并以逆时针方向对方位码进行鱼类形态轮廓信息链码提取。通过 8 个方位的链码分别得到图像为宽度 600 像素和高度 287 像素的链码串, 以及图像宽度 300 像素和高度 144 像素的链码串。

**自动提取形态系数和轮廓重建** 形态轮廓特征自动提取是通过椭圆傅里叶变换 (elliptic Fourier transform) 实现, 它可用于描绘闭合二维轮廓的任何类型的形状, 该方法是由 Kuhl 等<sup>[21]</sup> 提出, 并使用该方法计算出鱼类形态轮廓特征的椭圆傅

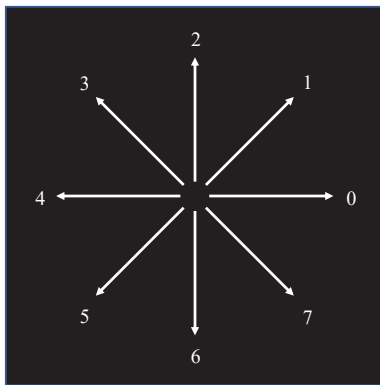


图 3 8 方位链码图

Fig. 3 The eight directions of chain code

里叶描述子 (elliptic Fourier descriptors, EFDs) 系数来分析形态特征。

通过鱼类形态轮廓特征的链码信息进行椭圆傅里叶变换, 并自动提取鱼类形态轮廓特征信息的归一化 EFDs 系数, 其投影在  $x$  轴和  $y$  轴上的闭合鱼类轮廓的椭圆傅里叶级数近似公式:

$$X_N = A_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{2n\pi t}{T} \quad (3)$$

$$Y_N = C_0 + \sum_{n=1}^N c_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + d_n \sin \frac{2n\pi t}{T} \quad (4)$$

式中,  $n$  为傅里叶系数的序号,  $t$  为获取前  $p$  个链码所需的时间,  $T$  为获取整个轮廓的链码所需的时间,  $a_n$ 、 $b_n$ 、 $c_n$ 、 $d_n$  即为第  $n$  组的傅里叶系数,  $A_0$  和  $C_0$  为非零常数。

根据该方法的相关研究<sup>[21]</sup>, 其椭圆傅里叶变换的每个谐次的 4 个系数  $a_n$ 、 $b_n$ 、 $c_n$ 、 $d_n$  公式分别为:

$$a_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} \left[ \cos \frac{2n\pi t_p}{T} - \cos \frac{2n\pi t_{p-1}}{T} \right] \quad (5)$$

$$b_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} \left[ \sin \frac{2n\pi t_p}{T} - \sin \frac{2n\pi t_{p-1}}{T} \right] \quad (6)$$

$$c_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta y_p}{\Delta t_p} \left[ \cos \frac{2n\pi t_p}{T} - \cos \frac{2n\pi t_{p-1}}{T} \right] \quad (7)$$

$$d_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta y_p}{\Delta t_p} \left[ \sin \frac{2n\pi t_p}{T} - \sin \frac{2n\pi t_{p-1}}{T} \right] \quad (8)$$

通过计算机视觉的椭圆傅里叶变换对鱼类形态轮廓进行重建, 重建的轮廓对应于相关谐次数的 EFDs 系数。重建轮廓都有椭圆变换轨迹, 且鱼类形态轮廓的第 1 个谐次数重建轮廓均为椭圆。

### 1.3 数据分析

自动提取 1 尾大眼金枪鱼形态轮廓特征系数, 通过将谐次数设置为 100 并得到归一化系数数据共 400 个, 其中  $a$ 、 $b$ 、 $c$  和  $d$  这 4 个系数各 100 个数据。计算每 10 个谐次的 4 个系数值范围, 分析其谐次组间的系数变化范围。对大眼金枪鱼的形态轮廓特征进行谐次变化的可视化重建, 分析轮廓重建与谐次变化的关系。对系数与谐次的关系进行分析, 分别做 1~100 谐次和 21~100 谐次的折线关系图, 再对 1~100 谐次的 4 个系数进行拟合线性方程。

以上所有数据的分析处理使用 Python 3.6.6 语言和 Excel 2016 软件完成。

## 2 结果

### 2.1 计算机视觉图像分析

通过计算机视觉技术对鱼类二维图像进行灰度转换 (图 4-a), 将原图变为单通道颜色的灰度图, 再对灰度图进行双边滤波 (图 4-b) 处理, 对鱼类形态二维数字图像进行噪声去除, 并对鱼类形态图像进行二值变化处理 (图 4-c), 使图像颜色变为非黑即白的图像, 即鱼类形态为白色, 背景为黑色, 最后对其二值化图像进行处理, 并提取鱼类形态边缘轮廓图像 (图 4-d)。

### 2.2 形态轮廓链码信息分析

通过计算机视觉技术的链码信息分析, 对鱼类形态轮廓的二维数字图像进行读取, 沿着鱼类形态轮廓边缘像素进行跟踪。通过放大局部轮廓边缘 (图 5) 可以看出, 鱼类形态轮廓边缘是由像素按照一定规律排列组成, 并利用 8 个方位的链

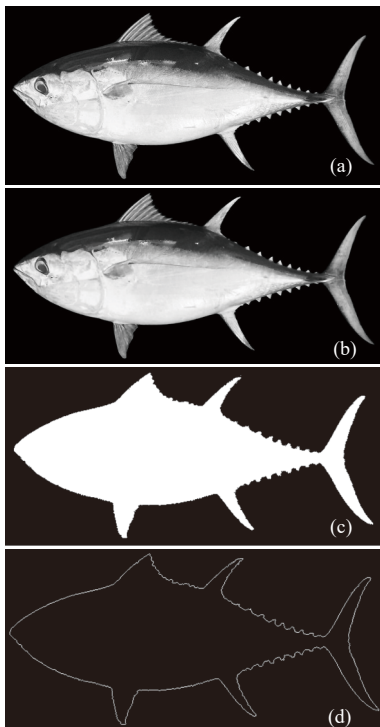


图 4 计算机视觉图像处理

(a) 灰度变换, (b) 双边滤波, (c) 二值图像, (d) 轮廓图像。

Fig. 4 Image processing of computer vision

(a) gray transformation; (b) bilateral filter; (c) binary image; (d) contour image.

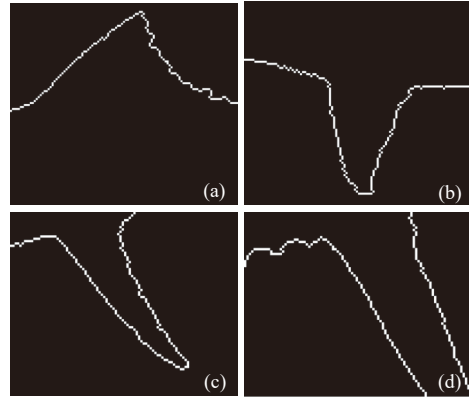


图 5 局部轮廓放大

(a) 第 1 背鳍; (b) 腹鳍; (c) 臀鳍; (d) 尾鳍。

Fig. 5 Local contour amplification

(a) first dorsal fin; (b) pelvic fin; (c) anal fin; (d) caudal fin.

码沿着像素点的位置对鱼类形态轮廓边缘方位信息进行准确描述。其中, 大眼金枪鱼原图大小为宽度 600 像素和高度 287 像素, 经过提取处理, 得到相对应的鱼类形态轮廓的链码信息, 再对缩小的大眼金枪鱼图像 (宽度 300 像素和高度 144 像素) 进行链码信息提取 (表 1)。随着鱼类形态轮廓的二维数字图像像素变小, 得到的链码串也会随之变短。

### 2.3 自动提取形态轮廓特征系数

对鱼类形态轮廓特征进行椭圆傅里叶变换, 自动提取鱼类轮廓的椭圆傅里叶描述子系数, 其谐次数为 1~100, 并得到谐次组的系数变化范围 (表 2, 表内的为  $a-d$  不同系数组的值的范围), 且得到的系数其  $a_1 = 1, b_1 = c_1 = 0$  为定值。4 个系数 ( $a, b, c$  和  $d$ ) 前 1~10 谐次变化范围的绝对值分别为 1.024 81、0.058 64、0.057 90 和 0.460 69; 前 11~20 谐次变化范围的绝对值分别为 0.015 46、0.016 46、0.037 64 和 0.026 30。其中, 4 个系数的前 2 个谐次组变化范围的绝对值均比后面 8 组变化范围大。

### 2.4 形态轮廓重建的谐次变化

通过计算机视觉的形态轮廓重建分析结果显示, 在鱼类形态轮廓特征重建可视化过程中, 其形态轮廓特征随着谐次数的增加而发生变化, 在形态轮廓重建谐次数为 100 时其鱼类形态轮廓与实际轮廓更为接近。从 1 到 5 谐次数的可视化重建可以看出, 鱼类形态轮廓初步形成, 并生成鱼类背部、腹部和尾部特征, 从 6 到 10 谐次数变化开始生成第 1 背鳍、第 2 背鳍、腹鳍和臀鳍, 在谐次数 20 时生成形态轮廓初具鱼种特异性 (图 6)。



从 80 到 100 谐次数的高谐次形态轮廓重建时, 鱼类形态局部信息发生明显变化, 鱼体后部靠近鱼尾部生成背小鳍等形态轮廓特征 (图 7)。

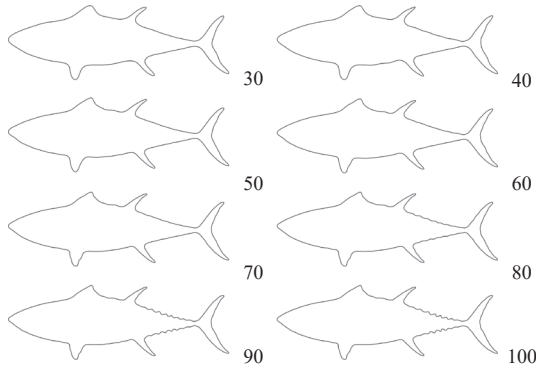


图 7 形态轮廓重建可视化 (30 到 100 谐次)

Fig. 7 Visualization of contour reconstruction (30 to 100 harmonics)

### 2.5 形态轮廓信息系数与谐次的关系

鱼类形态轮廓信息系数与谐次数的关系分析结果显示, 通过谐次变化对 4 个系数进行线性拟合, 式中  $H$  表示谐次,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  分别表示  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  这 4 个系数, 其自动提取的鱼类形态轮廓信息系数, 从 1~100 谐次的变化可以看出,

1~20 谐次的变化波动较大, 其信息系数的线性关系较为离散, 随着谐次数不断增加, 在高谐次的形态轮廓信息系数值较小且波动变化较小, 线性关系较好 (图 8)。而在 21~100 的谐次变化中, 信息系数整体呈明显的波动变化, 表现为随着谐次数的增加而减小 (图 9)。

## 3 讨论

### 3.1 计算机视觉对鱼类图像处理的重要性

随着海洋渔业的快速发展, 对海洋经济鱼类数字信息化研究成为智慧渔业发展的重要组成部分<sup>[22]</sup>。鱼类识别和分类的作用越来越重要, 海洋鱼类不仅种类数量多, 而且鱼类在形态变化方面也丰富多样<sup>[23]</sup>, 有纺锤型、流线型、侧扁型、平扁型、棍棒型等<sup>[24]</sup>, 具有明显的特异性。因此, 鱼类形态轮廓特征的提取对鱼类自动分类具有十分重要的意义。

计算机视觉技术对鱼类形态的二维图像进行自动处理分析, 能快速判别出鱼类形态轮廓, 并对鱼类形态进行精确的轮廓信息获取, 从而实现形态轮廓特征的自动提取。本研究通过计算机视觉技术把原图像变换成计算机可以认识的图像,

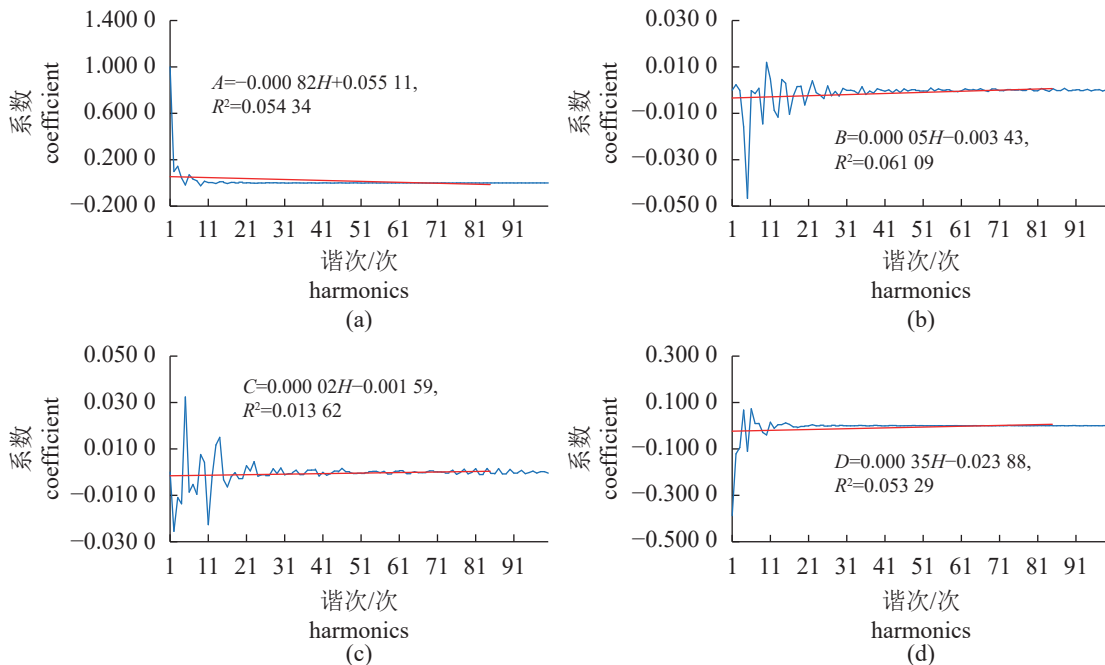


图 8 系数与谐次的关系 (1~100 谐次)

(a)  $a$  的系数; (b)  $b$  的系数; (c)  $c$  的系数; (d)  $d$  的系数, 下同。蓝线.系数分布; 红线.系数拟合趋势线。

Fig. 8 Relationships between harmonics and coefficients (1 to 100 harmonics)

(a) coefficients of  $a$ ; (b) coefficients of  $b$ ; (c) coefficients of  $c$ ; (d) coefficients of  $d$ , the same below. Blue line. coefficient distribution; red line. fitted trend line of the coefficients.

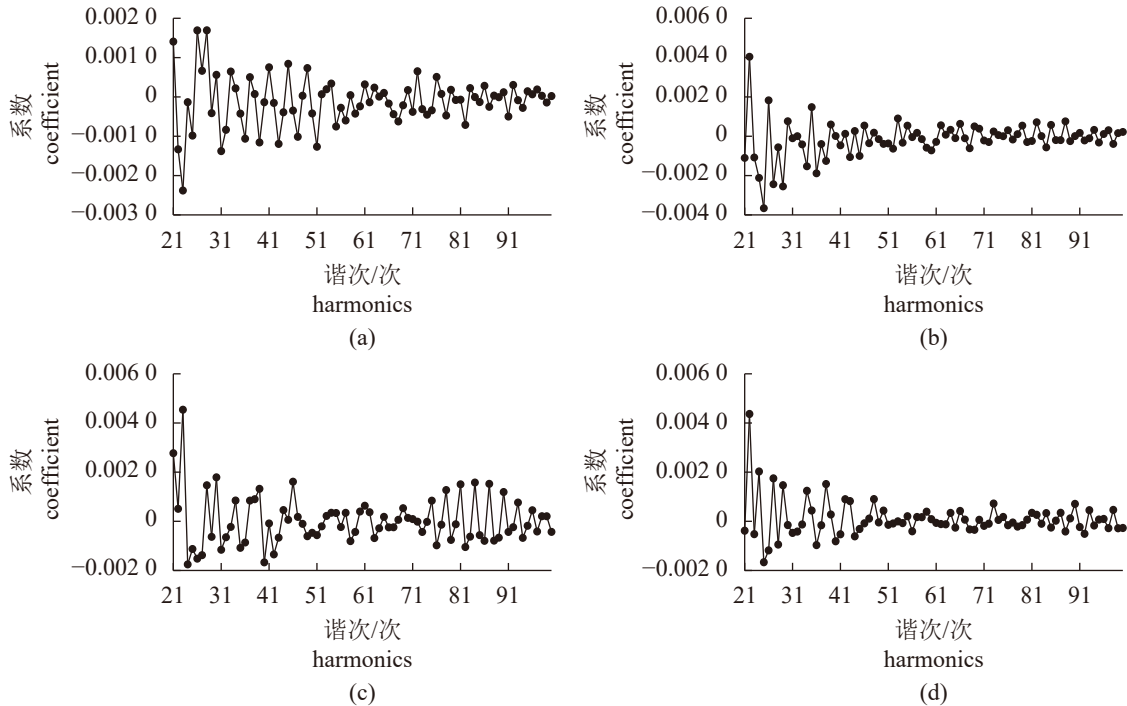


图9 系数与谐波的关系 (21~100 谐波)

Fig. 9 Relationships between harmonics and coefficients (21 to 100 harmonics)

对其进行灰度转换, 使图像变成像素为 0~255 的单通道颜色, 即灰度级为 256 级的图像。再对鱼类图像采用双边滤波技术<sup>[18]</sup>进行噪声去除<sup>[18, 25]</sup>, 能有效保护鱼类图像形态细节, 即在一定程度上保护其形态边缘信息。通过二值化处理把鱼类形态从图像中分割出来, 可以明显看出鱼类形态轮廓特征和整体外形等信息, 最后将鱼类形态轮廓边缘提取出来。本研究认为计算机视觉的鱼类图像处理<sup>[18, 26]</sup>是轮廓特征提取的关键, 也是自动提取鱼类轮廓的链码信息和形态信息系数的重要前期工作。

### 3.2 形态轮廓链码分析的必要性

本研究利用计算机视觉技术对鱼类形态轮廓特征进行链码分析<sup>[21, 27]</sup>, 各个链码信息以编码形式组成鱼类形态轮廓链码串, 并且其形态轮廓边缘获得的链码串能很好地表示鱼类形态轮廓的特性。在链码信息自动形成过程中, 沿着鱼类形态轮廓曲线进行跟踪, 从扩大的鱼类局部轮廓可以看出, 每一个链码的形成是基于上一个轮廓像素点与下一个像素点的方位关系<sup>[21]</sup>。从鱼类形态轮廓得到的链码信息中发现, 其链码串的长短与鱼类图像上形态轮廓的大小具有相关性, 因此, 从计算机视觉技术得到的链码串会随着鱼类形态轮廓大小的变化而发生改变。其类似链码信息提

取研究也有与本研究相似的结果<sup>[28]</sup>。虽然链码串变短, 但是由于提取链码信息的形态轮廓在缩小过程中整体形态特征未发生变化, 因此, 得到的两个链码串均能较好地对同一个鱼类形态轮廓信息进行提取和描绘。

本研究认为鱼类图像大小直接影响着链码信息的提取, 轮廓信息大小的变化在其链码提取的整体鱼类形态轮廓信息上基本保留, 不影响实验对鱼类整体形态的分析, 但是随着鱼类图像的轮廓变小, 不仅使链码信息变短, 而且鱼类形态的局部轮廓信息也会发生改变。由于计算机视觉技术自动提取鱼类形态轮廓链码信息, 其轮廓边缘提取效果较好, 不仅减少二维图像数据量, 而且具有较好的实时性<sup>[29]</sup>。因此, 链码对鱼类轮廓的信息提取是形态轮廓特征自动提取的重要过程之一<sup>[30]</sup>。

### 3.3 鱼类形态轮廓特征自动提取效果

通过计算机视觉技术对鱼类轮廓特征进行自动提取, 能快速准确地得到形态信息的归一化系数, 从其边缘轮廓提取的鱼类形态信息能较好地表征鱼类形态特异性。在谐波组中, 自动提取的鱼类轮廓 4 个形态系数各自的变化范围均随着谐波次组的增加而发生变化, 前 2 个谐波组变化范围的绝对值均比后面 8 组变化范围大。

鱼类形态的轮廓重建可视化分析效果较好, 其形态重建能很好地将形态特征提取过程进行具象化表征。椭圆傅里叶变换的第1个轮廓重建为椭圆, 其所有重建变换过程均具有椭圆轨迹, 由于鱼类整体形态较为复杂, 重建需要的谐次数较多。本研究对金枪鱼的形态轮廓进行重建, 其谐次为5时, 鱼类形态初步形成; 谐次为20时, 初具鱼种特异性; 谐次为100时, 与实际形态更为接近。在低谐次变换过程中, 鱼类整体各部分变化较大, 在高谐次变换过程中, 其鱼类形态在局部发生较大变化。在其他形态轮廓重建研究中也具有较为相似的结果<sup>[31]</sup>。计算机视觉技术自动提取的  $a$ 、 $b$ 、 $c$  和  $d$  这4个形态信息系数与谐次变换的关系中, 其系数随着谐次的变化而变化。在系数与1~100的谐次变化关系中, 前20个谐次的系数变化波动较大, 且在线性关系中离散程度较大, 之后的系数波动较小, 线性关系反之。在除去前20个谐次后, 从21~100的谐次变换波动中可以看出, 与1~100的谐次变化关系类似。低谐次的系数具有较大的波动变化, 而高谐次的系数其波动变化较小。

本研究认为鱼类形态轮廓特征自动提取效果较好, 通过轮廓重建和形态系数的谐次变化过程, 在低谐次所提取的形态系数能表征鱼类轮廓特征的整体形态变化, 而高谐次所提取的形态系数则可以表征鱼类轮廓特征的局部形态变化。通过数形结合分析, 可准确验证其形态信息自动提取效果, 因此, 可实现计算机视觉技术对鱼类形态轮廓特征的自动提取。对鱼类形态轮廓特征的自动提取是鱼类自动分类研究的重要组成部分<sup>[32]</sup>, 对推进鱼类生物自动化研究起到了重要作用, 也为未来渔业监控电子化和智慧渔业的发展奠定基础。

## 4 结论

本研究通过计算机视觉的图像处理技术对鱼类图像进行处理并得到鱼类整体轮廓, 提取轮廓链码信息, 自动计算形态系数和重建鱼类轮廓, 该方法对鱼类形态轮廓特征自动提取效果较好。实验结果表明, 自动提取鱼类形态轮廓的链码信息较好。通过链码计算出形态信息系数, 其系数随着谐次的变化而变化, 在低谐次的系数波动变化较大, 高谐次反之。鱼类轮廓重建的形态信息可视化变换过程中, 低谐次变换影响鱼类整体形态的重建效果, 而高谐次变换则对鱼类局部细节

变化产生较大影响。该方法通过数形分析相结合, 其提取得到的鱼类形态轮廓特征信息更为直接和客观, 为鱼类生物研究的自动化和智能化提供参考和借鉴。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

## 参考文献 (References):

- [1] 朱元鼎, 郑文莲. 中国南海鲹科鱼类两个新种的叙述 [J]. 动物学报, 1958, 10(3): 316-321.  
Zhu Y D, Zheng W L. Description of two new species of Carangoid fishes from the South China Sea[J]. Acta Zoologica Sinica, 1958, 10(3): 316-321 (in Chinese).
- [2] 孟庆闻. 7种鱼类仔鱼的形态观察 [J]. 水产学报, 1982, 6(1): 65-76.  
Meng Q W. On the morphological characteristics of the larvae of seven species of freshwater fishes[J]. Journal of Fisheries of China, 1982, 6(1): 65-76 (in Chinese).
- [3] 陈新军, 刘必林, 方舟, 等. 头足纲 [M]. 北京: 海洋出版社, 2019.  
Chen X J, Liu B L, Fang Z, et al. Cephalopoda[M]. Beijing: China Ocean Press, 2019 (in Chinese).
- [4] 刘必林, 陈新军. 印度洋西北海域鸢乌贼角质颚长度分析 [J]. 渔业科学进展, 2010, 31(1): 8-14.  
Liu B L, Chen X J. Beak length analysis of the purple-back flying squid *Sthenoethis oualaniensis* in northwest Indian Ocean[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(1): 8-14 (in Chinese).
- [5] 许巍, 陈新军, 刘必林, 等. 基于眼睛晶体核心微量元素的茎柔鱼地理种群判别 [J]. 水产学报, 2020, 44(6): 947-958.  
Xu W, Chen X J, Liu B L, et al. Discrimination of geographical population of jum bo flying squid (*Dosidicus gigas*) using the trace elements in the nuclear part of eye lenses[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(6): 947-958 (in Chinese).
- [6] 欧利国, 刘必林. 基于地标点法的4种鲹科鱼类矢耳石形态分类 [J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(1): 114-120.  
Ou L G, Liu B L. Identification of sagittal otolith shapes of four species in family Carangidae based on landmark morphometrics analysis[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(1): 114-120(in Chinese).
- [7] 欧利国, 力清影, 刘必林. 中国南海东沙群岛海域7种



- 鲹科鱼类矢耳石形态特征 [J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(1): 155-162.
- Ou L G, Li Q Y, Liu B L. Stock discrimination using sagittal otolith morphology of seven Carangidae species from the Dongsha Islands in the South China Sea[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(1): 155-162(in Chinese).
- [ 8 ] 欧利国, 刘必林. 南海东沙群岛海域圆鲹属鱼类矢耳石的形态特征分析 [J]. *南方水产科学*, 2019, 15(3): 33-40.
- Ou L G, Liu B L. Sagittae morphology of genus *Decapterus* from Dongsha Islands in South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(3): 33-40(in Chinese).
- [ 9 ] 陈新军. 海洋渔业资源可持续利用评价 [D]. 南京: 南京农业大学, 2001.
- Chen X J. Sustainable utilization assessment of marine fisheries resources[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2001 (in Chinese).
- [10] 刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策 [J]. *长江流域资源与环境*, 1992, 1(1): 17-23.
- Liu J K, Cao W X. Fish resources of the Yangtze river basin and the tactics for their conservation[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1992, 1(1): 17-23 (in Chinese).
- [11] Siddiqui S A, Salman A, Malik M I, *et al.* Automatic fish species classification in underwater videos: exploiting pre-trained deep neural network models to compensate for limited labelled data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2018, 75(1): 374-389.
- [12] Alsmadi M K, Almarashdeh I. A survey on fish classification techniques[J]. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2020.
- [13] 谢忠红, 郭小清, 程碧云, 等. 基于多特征的淡水鱼种类识别研究 [J]. *扬州大学学报 (农业与生命科学版)*, 2016, 37(3): 71-77.
- Xie Z H, Guo X Q, Cheng B Y, *et al.* Species recognition of fishes based on multiple features[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2016, 37(3): 71-77(in Chinese).
- [14] 张志强, 牛智有, 赵思明. 基于机器视觉技术的淡水鱼品种识别 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(11): 388-392.
- Zhang Z Q, Niu Z Y, Zhao S M. Identification of freshwater fish species based on computer vision[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(11): 388-392 (in Chinese).
- [15] 朱元鼎, 罗云林, 伍汉霖. 中国石首鱼类分类系统的研究和新属新种的叙述 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1963: 1-140.
- Zhu Y D, Luo Y L, Wu H L. The study of the Chinese Sciaenidae classification system and the narrative of new genus[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1963: 1-140 (in Chinese).
- [16] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015: 1080-1085.
- Chen D G, Zhang M Z. Marine fishers of China[M]. Qingdao: China ocean university press, 2015: 1080-1085(in Chinese).
- [17] 黄鹤, 梁祺策, 罗德安. 车道线检测中自适应图像预处理算法研究 [J]. *测绘科学*, 2021, 46(9): 76-82.
- Huang H, Liang Q C, Luo A. Research on adaptive image preprocessing algorithm for lane line detection[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2021, 46(9): 76-82(in Chinese).
- [18] 梁广顺, 汪日伟, 温显斌. 基于双边滤波与非局部均值的图像去噪研究 [J]. *光电子·激光*, 2015, 26(11): 2231-2235.
- Liang G S, Wang R W, Wen X B. Image denoising based on bilateral filtering and non-local means[J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2015, 26(11): 2231-2235(in Chinese).
- [19] Freeman H. Computer processing of line-drawing images[J]. *Acm Computing Surveys*, 1974.
- [20] 王竞雪, 宋伟东, 赵丽科, 等. 改进的 Freeman 链码在边缘跟踪及直线提取中的应用研究 [J]. *信号处理*, 2014, 30(4): 422-430.
- Wang J X, Song W D, Zhao L K, *et al.* Application of improved freeman chain code in edge tracking and straight line extraction[J]. *Journal of Signal Processing*, 2014, 30(4): 422-430(in Chinese).
- [21] Kuhl F P, Giardina C R. Elliptic Fourier features of a closed contour[J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1982, 18(3): 236-258.
- [22] 陈新军, 许柳雄. 发展我国“数字海洋渔业”的有关设想 [C]//“863 计划”数字农业重大专项总体专家组、国家农业信息化工程技术中心. 中国数字农业与农村信息化学术研究研讨会论文集. 北京: “863 计划”数字农业重大专项总体专家组、国家农业信息化工程技术

- 中心, 2005: 50-52.
- Chen X J, Xu L X. Development of China's "digital Marine fisheries" related ideas[C]// "863 Plan" Digital Agriculture Major Special General Expert Group, National Engineering Technology Center for Agricultural Informatization. Proceedings of China Digital Agriculture and Rural Informatization Symposium. Beijing: "863 Plan" Digital Agriculture Major Special General Expert Group, National Engineering Technology Center for Agricultural Informatization, 2005: 50-52 (in Chinese).
- [23] 国家水产总局南海水产研究所. 南海诸岛海域鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- South China Sea Fisheries Institute, China National Bureau of Aquatic Products. The fishes of the islands in the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1979 (in Chinese).
- [24] 孟庆闻. 鱼和鱼的分类[J]. 中国水产, 1982(1): 31-32.
- Meng Q W. Fish and the classification of fish[J]. China Fisheries, 1982(1): 31-32 (in Chinese).
- [25] Levin A, Nadler B. Natural image denoising: optimality and inherent bounds[C]//IEEE. Conference on Computer Vision & Pattern Recognition. Colorado Springs: IEEE, 2011: 2833-2840.
- [26] Jordan H, Dyck W V, Smodic R. A co-processed contour tracing algorithm for a smart camera [J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2011, 6(1): 23-31.
- [27] Freeman H. On the encoding of arbitrary geometric configurations[J]. IRE Transactions on Electronic Computers, 1961, EC-10(2): 260-268.
- [28] 王福斌, 潘兴辰, 孙志林. 飞秒激光烧蚀光斑轮廓提取及其链码描述研究 [J]. 中国测试, 2020, 46(4): 116-122.
- Wang F B, Pan X C, Sun Z L. Research on the contour extraction of spot ablated by femtosecond laser and its chain code description[J]. China Measurement & Test, 2020, 46(4): 116-122 (in Chinese).
- [29] 王福斌, 潘兴辰, 王尚政, 等. 飞秒激光光斑轮廓的傅里叶描述子重建及特征提取 [J]. 激光与红外, 2019, 49(9): 1147-1152.
- Wang F B, Pan X C, Wang S Z, et al. Fourier descriptor reconstruction and feature extraction for femtosecond laser spot contour[J]. Laser & Infrared, 2019, 49(9): 1147-1152 (in Chinese).
- [30] 邓仕超, 李伟明, 龙芋宏, 等. 一种改进的二值图像边界跟踪与边界链码获取算法 [J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(6): 061007.
- Deng S C, Li W M, Long Y H, et al. Improved algorithm for boundary tracking and boundary chain code acquisition of binary image[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(6): 061007 (in Chinese).
- [31] 欧利国, 刘必林, 方舟. 基于椭圆傅里叶变换的鱼类矢耳石和听沟形态识别 [J]. 海洋渔业, 2019, 41(4): 385-396.
- Ou L G, Liu B L, Fang Z. Identification of sagittal otolith morphology and sulcus morphology based on elliptic Fourier transform[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(4): 385-396 (in Chinese).
- [32] Zion B, Shklyar A, Karplus I. Sorting fish by computer vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1999, 23(3): 175-187.

## Automatic extraction of contour features of fish morphology based on computer vision

OU Ligu<sup>1</sup>, LAN Zhenfeng<sup>2</sup>, LIU Bilin<sup>1,3,4,5\*</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,3,4,5</sup>, CHEN Yong<sup>1</sup>

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. College of Information Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** With the rapid development of artificial intelligence, modern fish biology research technology has been constantly updated. Automated and intelligent fish identification will help promote modern fish biology research development. The contour feature of fish morphology is one of the important features of fish recognition. Fish morphology is diversified, and the contour features of fish morphology have species specificity. Meanwhile, it serves as an important scientific basis for fish identification and classification. The extraction effects of morphological contour features directly affect the accuracy of automatic fish identification. Therefore, in order to study the effect of computer vision on the automatic extraction of fish morphological contour features, a two-dimensional image of one tail *T. obesus* was collected in the Pacific Ocean from September to November 2017 for computer vision analysis through the fish image gray level transformation, bilateral filter, binary image processing and contour extraction and other image processing. 8 - direction chain code technology was used to automatically extract the chain code information of fish contour. The morphological information coefficient was calculated by elliptic Fourier transform and the contour reconstruction was carried out. The results revealed that the contour image of tuna could be obtained well after processing, and the chain code information changes with the size of the contour pixel of fish shape, and the contour reconstruction of fish shape changed with the change of harmonic number. The research results showed that the automatic extraction of fish contour features was effective. The morphological coefficients of fish fluctuated greatly in low harmonic number and little in high harmonic number. The low harmonic number transformation had a great influence on the overall contour information of fish, while the high harmonic number transformation had a great influence on the local contour information of fish. The results of this study lay a preliminary foundation for automatic fish recognition and classification, and also provide references for other related automation research.

**Key words:** fishes; computer vision; morphological contour; chain code; morphological coefficient; contour reconstruction; automatic extraction

**Corresponding author:** LIU Bilin. E-mail: [bl-liu@shou.edu.cn](mailto:bl-liu@shou.edu.cn)

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2019YFDO901404); National Natural Science Foundation of China (41876141); Program for Professor of Special Appointment (Eastern Scholar) at Shanghai Institutions of Higher Learning under Contract (0810000243); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Major Program of Fisheries Resource Scientific Survey in the Northwest Pacific Ocean (D-8021-21-0109-01); Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan (19DZ1207502)