

DOI: 10.12264/JFSC2021-0506

## 基于计算机视觉的3种金枪鱼属鱼类表型纹理特征分析

欧利国<sup>1</sup>, 李文龙<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>, 石一茜<sup>1</sup>, 侯庆联<sup>1</sup>

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 上海海洋大学信息学院, 上海 201306;
3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306

**摘要:** 金枪鱼属(*Thunnus*)鱼类是我国远洋渔业极为重要的渔获资源, 其表型纹理信息不仅具有鱼种的特异性, 而且可作为分类的科学依据。传统鱼类纹理特征分析主要是定性描述分析, 而计算机视觉技术可为鱼类纹理特征提供定量分析数据。因此, 本研究通过计算机视觉对3种金枪鱼图像进行预先定位基准点, 通过移动基准点确定纹理特征区域并自动截取。对纹理图像进行灰度转换和灰度量化处理, 量化的灰度图像进行灰度共生矩阵计算, 并对灰度共生矩阵进行归一化处理。通过归一化的灰度共生矩阵计算出6个纹理指标, 并分析纹理指标的距离和方向的变化趋势, 通过因子分析研究金枪鱼纹理指标。研究结果表明, 通过计算机视觉的纹理分析, 3种金枪鱼纹理指标提取效果较好, 其纹理指标在距离值为4时, 变化趋势趋于稳定, 而3种金枪鱼的纹理指标方向变化, 其均值方向具有代表性。3种金枪鱼的因子分析, 第1主成分贡献率为81.10%, 表明提取的6个纹理指标意义较大且效果较好。以期金枪鱼智能识别奠定前期基础, 也为其他鱼类表型纹理研究提供借鉴和参考。

**关键词:** 计算机视觉; 金枪鱼属; 纹理特征; 灰度共生矩阵; 纹理指标; 因子分析

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)05-0770-11

纹理是一种普遍存在的视觉现象, 它是物体表面或结构的一种基本属性<sup>[1]</sup>, 不同物体具有各自的纹理特征。纹理分析在鱼类生物研究中也得到了相关应用, 例如鱼种分类识别<sup>[2]</sup>、鱼类组织分析<sup>[3]</sup>、鱼类肌肉鉴别<sup>[4]</sup>、鱼类行为检测<sup>[5]</sup>、鱼类摄食评估<sup>[6]</sup>等方面。其中, 纹理分析主要是应用在鱼种分类识别。由于鱼类表型纹理是在生长过程中自然生成, 主要分布在鱼体表面, 通过体表花纹和鳞片形态等构成鱼类纹理特征, 是具有表征鱼种特异性的本质属性<sup>[7]</sup>。鱼类纹理分类识别应用有, Hu等<sup>[2]</sup>通过草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、线鳢(*Channa striata*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、短盖巨脂鲤(*Colossoma brachypomum*) 6种常见鱼类的表型纹理作为分类特征对其进行分类, 其效果较好。Muhathir等<sup>[8]</sup>通过对混有甲醛溶液鱼类和未添加甲醛溶液的鱼类图像进行分析, 提取鱼类图像的纹理信息, 共获得6个纹理指标用于识别, 实验结果效果较好, 可识别混入甲醛溶液鱼类和未添加甲醛溶液鱼类。纹理信息应用不仅丰富了鱼类的分类方式, 而且进一步促进了鱼类生物学研究

收稿日期: 2021-10-25; 修订日期: 2021-12-07.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0901404); 国家自然科学基金项目(41876141); 上海市高校特聘教授“东方学者”岗位计划项目(0810000243); 农业农村部全球渔业资源调查监测评估项目(D-8021-21-0109-01); 上海市科技创新行动计划项目(19DZ1207502).

作者简介: 欧利国(1992-), 男, 博士研究生, 从事渔业资源生物学与智慧渔业学研究. E-mail: 919989412@qq.com

通信作者: 刘必林, 教授, 从事渔业资源生物学与智慧渔业学研究. E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

的多样化。

目前, 大多研究人员对鱼类表型纹理分析仍然处于初始阶段, 主要是对鱼类进行定性分析, 观察和描述其表型纹理变化并用于鱼种分类, 传统鱼类纹理分析方法的应用取得了一定的研究意义和成果<sup>[9]</sup>。但是, 随着科技进步, 传统的鱼类纹理研究方法表现出明显的不足和局限性。而现代科技为鱼类纹理定量分析提供了可靠的技术条件: 其一, 通过高清数码照相机和智能手机等图像采集设备均能很好的获取鱼类纹理图像, 为研究鱼类纹理提供了便捷和良好的设备技术条件; 其二, 由于人工智能的迅速发展, 计算机视觉技术为鱼类纹理分析提供了有效的研究方法, 通过计算机视觉技术可对鱼类纹理信息进行量化处理<sup>[10]</sup>。其计算机视觉的纹理图像研究方法主要有统计分析、结构分析、模型分析和信号处理分析等<sup>[11-12]</sup>。而统计分析可对纹理图像的整体特征进行研究, 发现表型纹理中的规律性, 进而分析其粗细度、均匀性和方向性等纹理信息。统计分析主要有灰度共生矩阵(gray-level co-occurrence matrix, GLCM)和局部二值模式(local binary patterns, LBP)等。在计算机视觉的纹理分析中, 灰度共生矩阵是对鱼类表型纹理进行定量分析较为经典和成熟的分析方法, 通过生成纹理指标数据对鱼类纹理特征进行研究<sup>[8]</sup>。

金枪鱼属(*Thunnus*)鱼类是我国远洋渔业极为重要的渔获资源, 具有极高的经济价值和食用价值<sup>[13-14]</sup>。对金枪鱼的纹理信息研究, 不仅是认识金枪鱼表型纹理变化差异, 而且为进一步探究其金枪鱼的种间差异提供了良好的基础。近几年来, 由于国内对鱼类表型纹理的定量分析研究较少<sup>[15]</sup>, 且计算机视觉的金枪鱼表型纹理定量分析研究仍处于空白阶段。因此, 为了实现金枪鱼属鱼类纹理信息现代化和定量化研究, 也为了丰富鱼类生物分类技术应用多样化和多元化发展, 本研究根据大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)、黄鳍金枪鱼(*T. albacores*)、长鳍金枪鱼(*T. alalunga*)的 3 种金枪鱼图像进行自动截取预先选定的表型纹理特征区域图像, 进行灰度转换和灰度级数量化处理, 再对

灰度量化图像进行灰度共生矩阵分析, 得到归一化灰度共生矩阵并计算纹理指标, 分析其纹理信息的距离和方向变化, 最后对 3 种金枪鱼的纹理指标进行因子分析。本研究通过对 3 种金枪鱼表型纹理进行定量分析, 研究其纹理信息数据可视化差异, 筛选出合适的纹理信息数据, 以期在金枪鱼智能识别奠定前期基础, 也为其他鱼类表型纹理分析提供基础参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究以 10 尾大眼金枪鱼(*T. obesus*)、10 尾黄鳍金枪鱼(*T. albacores*)、10 尾长鳍金枪鱼(*T. alalunga*)共 30 尾金枪鱼作为研究对象。通过采集 30 尾金枪鱼的二维数字图像, 并对图像进行处理和保存图像为高 1000 像素×宽 2000 像素大小的 JPEG 文件格式。

### 1.2 自动获取纹理图像

**1.2.1 定位图像基准点** 通过计算机视觉技术读入金枪鱼图像, 利用计算机视觉技术 OpenCV 库的 shape 函数获取图像的像素高度( $H$ )和像素宽度( $W$ ), 以及读入图像的通道数。本研究根据读入金枪鱼图像信息特征, 并结合金枪鱼的生物学特性, 预选选定自动截取图像的基准点, 其基准点坐标为 $(1/2W, 1/2H)$ (图 1)。

**1.2.2 纹理图像截取** 金枪鱼纹理图像通过基准点位置, 向靠近鱼类头部方向移动  $D+W_1$  个像素点, 同时, 向靠近鱼类腹部方向移动  $D+H_1$  个像素点, 得到 A 点坐标为 $(1/2W-D-W_1, 1/2H+D+H_1)$ ; 利用基准点位置, 再次向靠近鱼类头部方向移动  $W_1+W_2$  个像素点, 同时, 再向靠近鱼类腹部方向也移动  $H_1+H_2$  个像素点, 得到 B 点坐标为 $(1/2W-W_1-W_2, 1/2H+H_1+H_2)$ , 通过 A 点和 B 点坐标得到纹理图像(图 1), 其纹理图像的宽度为  $W_2-D$  和高度为  $H_2-D$ 。本研究根据金枪鱼纹理特征预先设置自动截取每张图像指标数据  $D$  为 20 个像素点,  $W_1$  和  $H_1$  分别为 20 和 60 个像素点,  $W_2$  和  $H_2$  均为 120 个像素点, 自动截取的纹理图像保存为 100 像素×100 像素大小的 JPEG 文件格式。

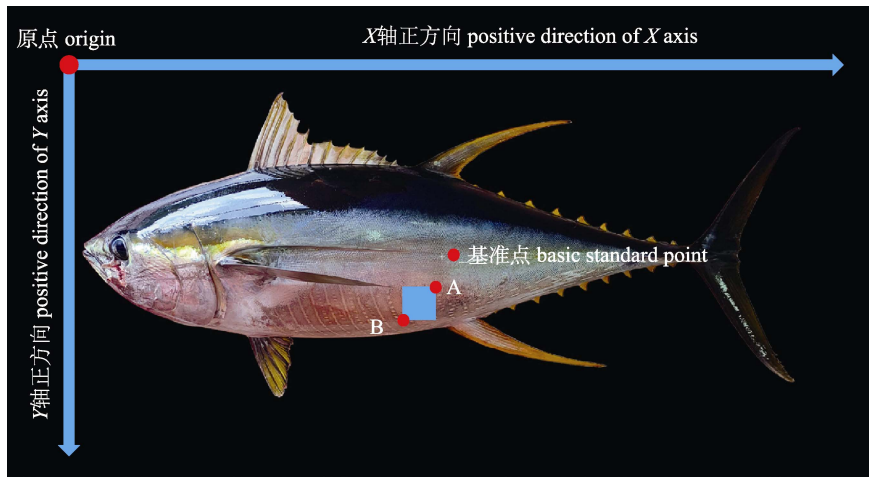


图 1 基准点定位和移动方位

Fig. 1 Positioning basic standard point and moving directions

### 1.3 纹理特征指标提取

**1.3.1 纹理信息提取原理** 纹理特征信息提取主要是通过灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)实现,是由 Haralick 等<sup>[16]</sup>提出,它是通过研究灰度空间相关特性来描述纹理的常用方法。纹理图像是图像的像素进行规则或不规则排列而成,因而灰度空间中的 2 个像素点在某个方向和某个距离中存在一定相关性。灰度共生矩阵可表示为  $P(i, j | d, \theta)$ ,从灰度级  $i$  点沿一定的距离( $d$ )和一定的方向( $\theta$ )到灰度级  $j$  点的概率。 $i, j$  分别表示为  $i = f(x, y)$ ,  $j = f(x + dx, y + dy)$  是图像中的灰度级,其中  $i, j$  为 0 到  $L-1$  的灰度级大小,  $dx$  和  $dy$  为像素点的偏移量且具有方向性,  $d$  为像素点移动距离,  $\theta$  为像素点移动方向,一般有 4 个方向,分别为  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  和  $135^\circ$  (图 2)。

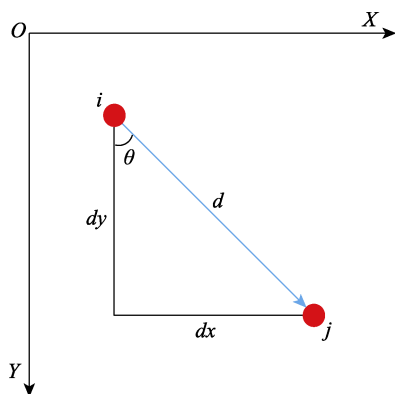


图 2 灰度共生矩阵像素对

Fig. 2 Pixel pairs of gray level co-occurrence matrix

**1.3.2 灰度图像量化和灰度共生矩阵归一化** 通过金枪鱼图像进行自动截取得到纹理图像为 3 通道的彩色空间图像,对其进行灰度共生矩阵分析时,需要通过计算机视觉图像处理技术将纹理图像转换为单通道的灰度空间图像。其灰度转换(gray transformation)公式<sup>[17]</sup>为

$$\text{Gray} = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (1)$$

式中,  $R, G, B$  分别是读取彩色图像的 3 个通道的分量值。

灰度空间的纹理图像其灰度级为 0 到 255 共 256 级,由于级数过高将导致计算量过大,本研究将纹理图像其 256 级进行压缩为 16 级的灰度级<sup>[18]</sup>,利用灰度级量化以提高计算速度和优化纹理图像的灰度共生矩阵计算。通过计算纹理图像得出灰度共生矩阵,计算全部像素对之和  $R$  后,通过除以  $R$  获取归一化的灰度共生矩阵其公式为

$$p(i, j | d, \theta) = \frac{P(i, j | d, \theta)}{R} \quad (2)$$

式中  $R$  为常数。

**1.3.3 计算纹理特征指标** 灰度共生矩阵<sup>[17]</sup>的 2 次统计量纹理指标共 14 个,其中常用的 6 个指标主要有角二阶矩(angular second moment, ASM),对比度(contrast, CON),熵(entropy, ENT),逆差矩(inverse difference moment, IDM),方差(variance)以及相关性(correlation, COR)。通过 6 个纹理指标的公式计算得到 3 种金枪鱼纹理信息数据。

$$ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} [p(i, j | d, \theta)]^2 \quad (3)$$

$$CON = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \left[ \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p(i, j) \right], |i - j| = n \quad (4)$$

$$ENT = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j | d, \theta) \log(p(i, j | d, \theta)) \quad (5)$$

$$IDM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{1}{1 + i - j^2} p(i, j | d, \theta) \quad (6)$$

$$Variance = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i - m)^2 p(i, j | d, \theta) \quad (7)$$

$$COR = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ij p(i, j | d, \theta) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x^2 \sigma_y^2} \quad (8)$$

式中,  $\mu_x = \sum_{i=0}^{L-1} i \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j | d, \theta)$ ,  $\mu_y = \sum_{i=0}^{L-1} j \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j | d, \theta)$ ,  $\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu_x)^2 \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j | d, \theta)$ ,  $\sigma_y^2 = \sum_{j=0}^{L-1} (j - \mu_y)^2 \sum_{i=0}^{L-1} p(i, j | d, \theta)$ 。

### 1.4 金枪鱼纹理指标数据分析

通过计算机视觉的纹理分析计算出 3 种金枪鱼 6 个纹理指标在灰度共生矩阵的距离为 1 到 7 的 4 个方向各个纹理指标数据。为了分析距离变化对金枪鱼纹理信息的影响, 计算每种 10 尾纹理指标的距离 1 到 7 的 4 个方向上均值, 在对每种 10 尾均值方向的距 1 到 7 的纹理指标再次取均值, 以代表该种在均值方向上距离 1 到 7 的平均变化并做数据信息可视化分析。基于距离分析后, 通过固定距离数据, 分析 3 种金枪鱼在 4 个方向上的纹理指标信息差异也做数据信息可视化分析。通过确定金枪鱼纹理指标的距离和方向变化后, 对金枪鱼纹理数据进行因子分析(factor analysis, FA), 对数据进行 KMO 检验和 Bartlett 检验判断数据是否可进行因子分析, 因子抽取方法选择主成分分析法 (principal component analysis, PCA), 并做纹理指标系数相关矩阵和主成分分析表。

以上所有数据的分析处理使用 Python 3.6.6、SPSS 20.0 和 Excel 2016 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 金枪鱼纹理图像获取和处理

通过计算机视觉技术对 3 种金枪鱼纹理图像的获取和处理分析结果显示, 对金枪鱼表型纹理特征区域进行预选选定, 自动获取表型纹理图像效果较好, 并得到图像为高 100 像素和宽 100 像素的彩色图像, 再通过计算机视觉的图像处理技术对彩色图像进行灰度转换和灰度量化, 得到灰度级为 16 级的灰度图像(图 3)。从 3 种金枪鱼转换为灰度图像的纹理特征可以看出, 灰度图像比彩色图像的纹理特征更为显著, 而灰度量化后的金枪鱼图像的纹理特征与量化前保持一致。

### 2.2 金枪鱼纹理指标的距离变化

通过 3 种金枪鱼纹理指标距离变化的可视化数据分析结果显示, 计算出每种金枪鱼各 10 尾在 1 到 7 距离的 4 个方向(0 度, 45 度, 90 度和 135 度)上不同纹理指标, 并对 4 个方向的纹理指标进行取均值, 后对每种 10 尾金枪鱼的 1 到 7 距离再取均值, 进而分析每种金枪鱼纹理指标受到距离变化的影响程度, 发现 3 种金枪鱼纹理指标值随距离值的变化而变化, 方差除外, 5 个纹理指标在距离为 2 时, 纹理指标值发生明显变化, 而在距离为 4 时, 其变化逐渐趋于稳定(图 4)。从金枪鱼纹理指标的距离变化表明了除了方差外, 距离值的变化对 3 种金枪鱼的其他 5 个纹理指标均有影响。结合 3 种金枪鱼的纹理指标值的变化趋势, 距离值为 4 时, 可用于金枪鱼纹理分析。

### 2.3 金枪鱼纹理指标的方向变化

通过 3 种金枪鱼纹理指标方向变化的可视化数据分析结果显示, 在距离值为 4 时, 大眼金枪鱼, 黄鳍金枪鱼和长鳍金枪鱼的 6 个指标在 4 方向(0°, 45°, 90°和 135°)上的变化趋势基本沿着方向均值曲线上下波动变化。其中, 在大眼金枪鱼的纹理指标变化过程中, 逆差距和熵的变化趋势相对其他 4 个指标波动较大(图 5), 而黄鳍金枪鱼和长鳍金枪鱼均是在对比度和逆差距有着较大波动, 其他 4 个指标波动较小(图 6 和图 7)。

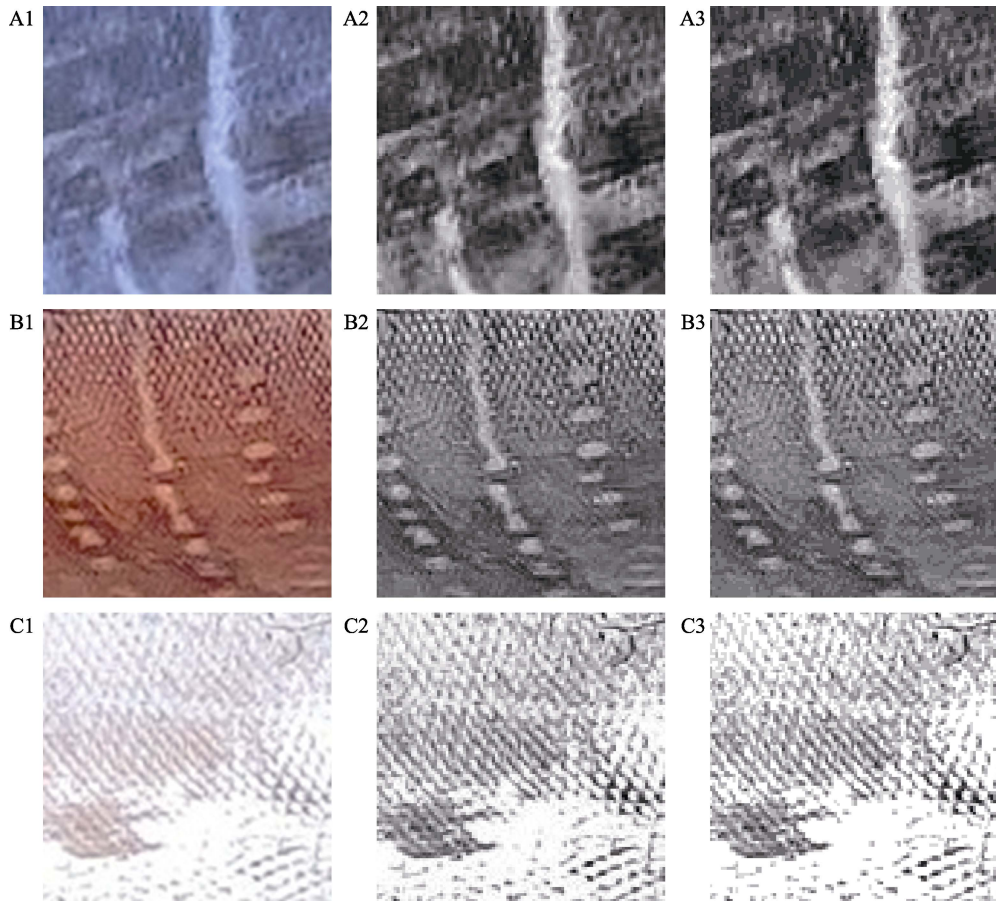


图 3 3 种金枪鱼属鱼类纹理特征

A. 大眼金枪鱼; B. 黄鳍金枪鱼; C. 长鳍金枪鱼; 1. 纹理特征; 2. 灰度转换; 3. 灰度量量化。

Fig.3 The texture features of 3 *Thunnus* species

A. *T. obesus*; B. *T. albacores*; C. *T. alalunga*; 1. texture features; 2. gray level transformation; 3. grey level quantization.

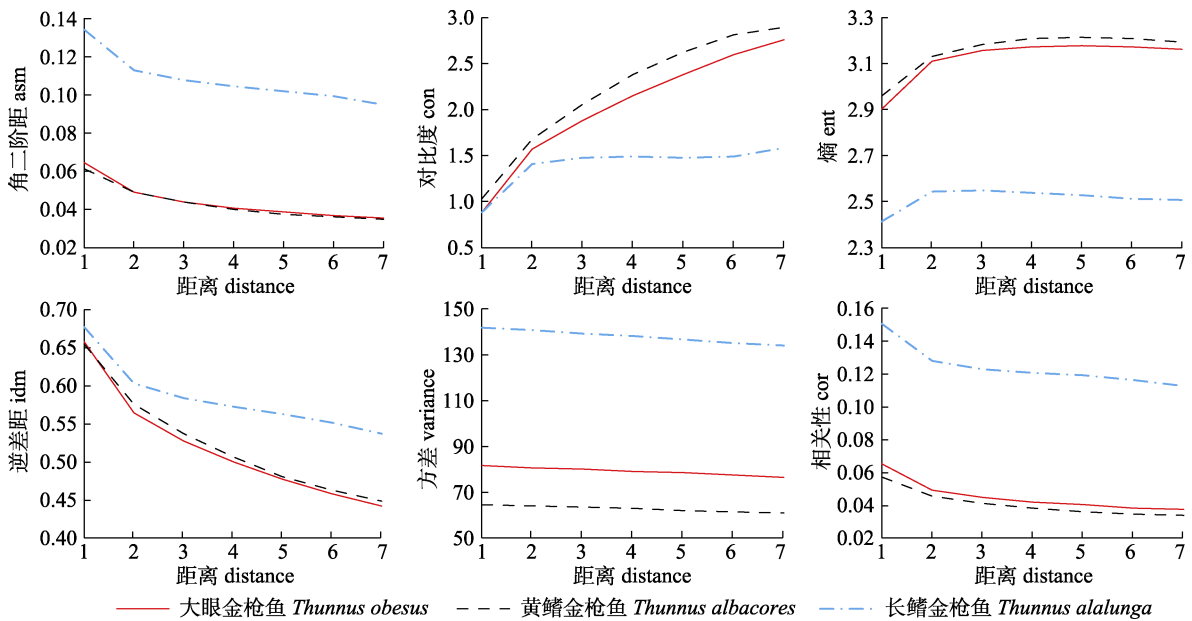


图 4 纹理指标的距离变化

Fig. 4 Distance variation of texture indicator

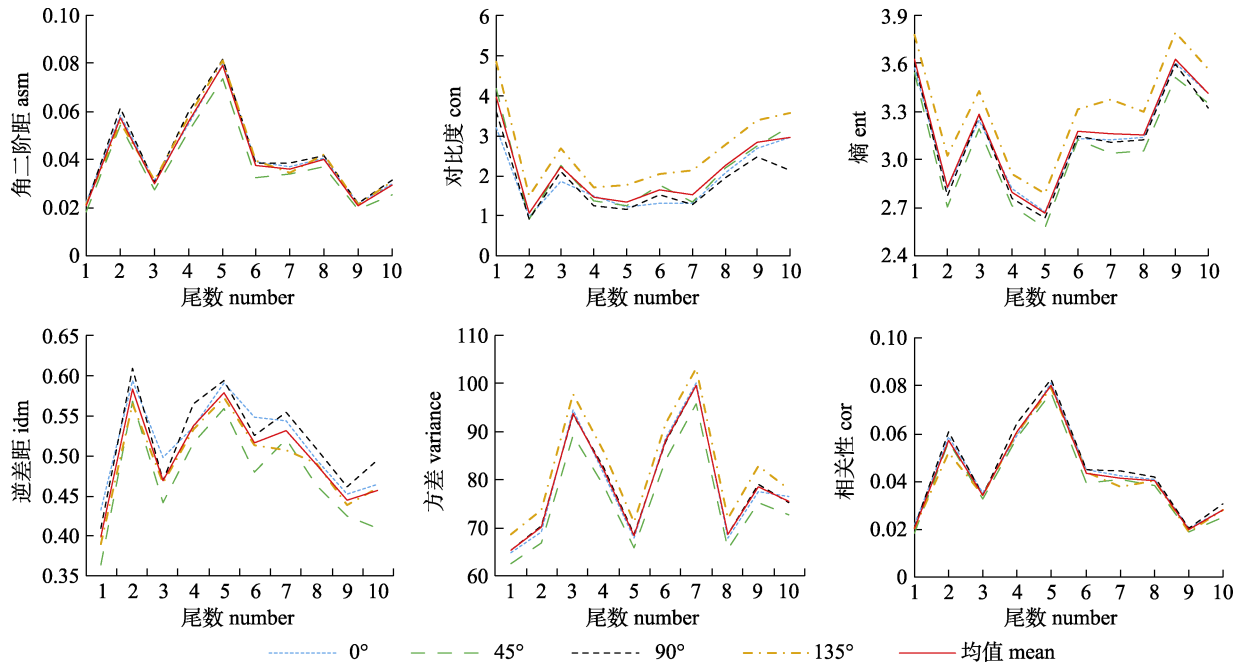


图 5 大眼金枪鱼纹理指标的方向变化

Fig. 5 Direction change of texture indexes of *Thunnus obesus*

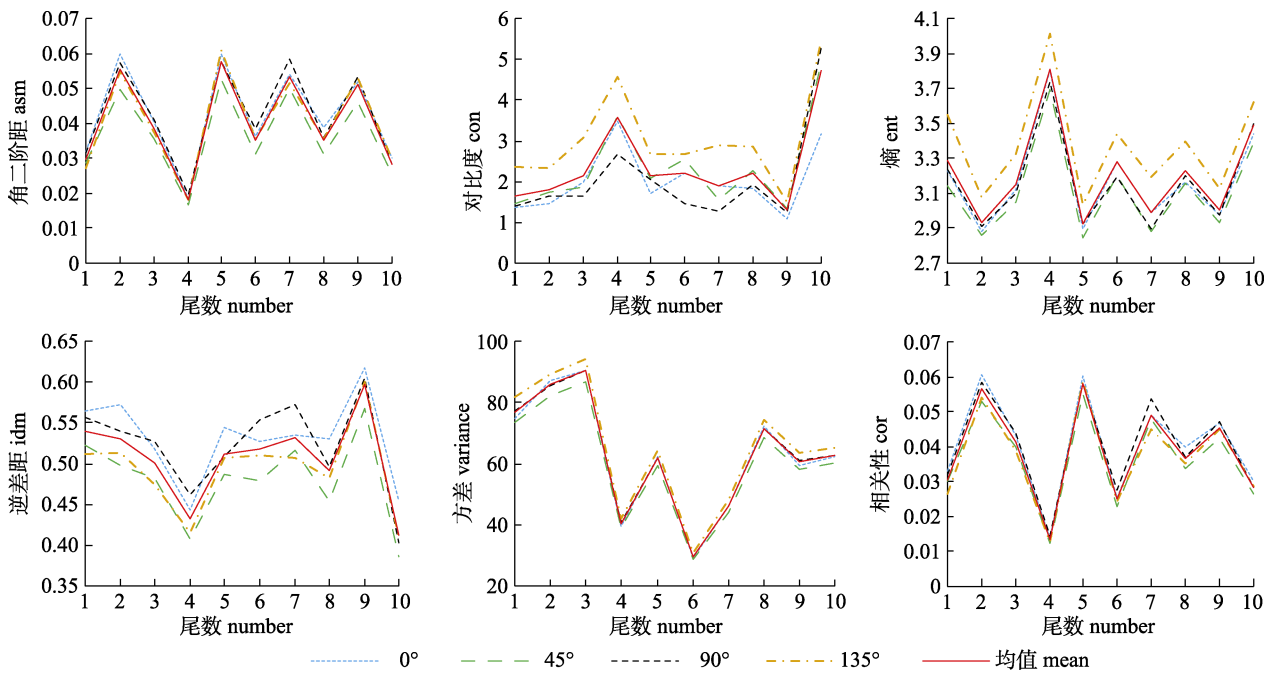


图 6 黄鳍金枪鱼纹理指标的方向变化

Fig. 6 Direction change of texture indexes of *Thunnus albacores*

### 2.4 金枪鱼纹理指标因子分析

通过对 3 种金枪鱼的 6 个纹理指标进行因子分析结果显示, 经 KMO 检验( $KMO=0.64>0.60$ )和 Bartlett 检验( $P=0.00<0.05$ ), 表明 6 个纹理指标适合因子分析, 角二阶距, 对比度, 熵, 逆差距, 方

差和相关性其纹理指标之间存在相关性(表 1)。通过因子分析的主成分分析法得到第 1 主成分贡献率为 81.10%, 其前 2 次累计贡献率为 92.46% (表 2), 表明了 6 个纹理指标在降维过程中信息损失量较少, 6 个纹理指标能很好的反映出金枪鱼纹理特征信息。

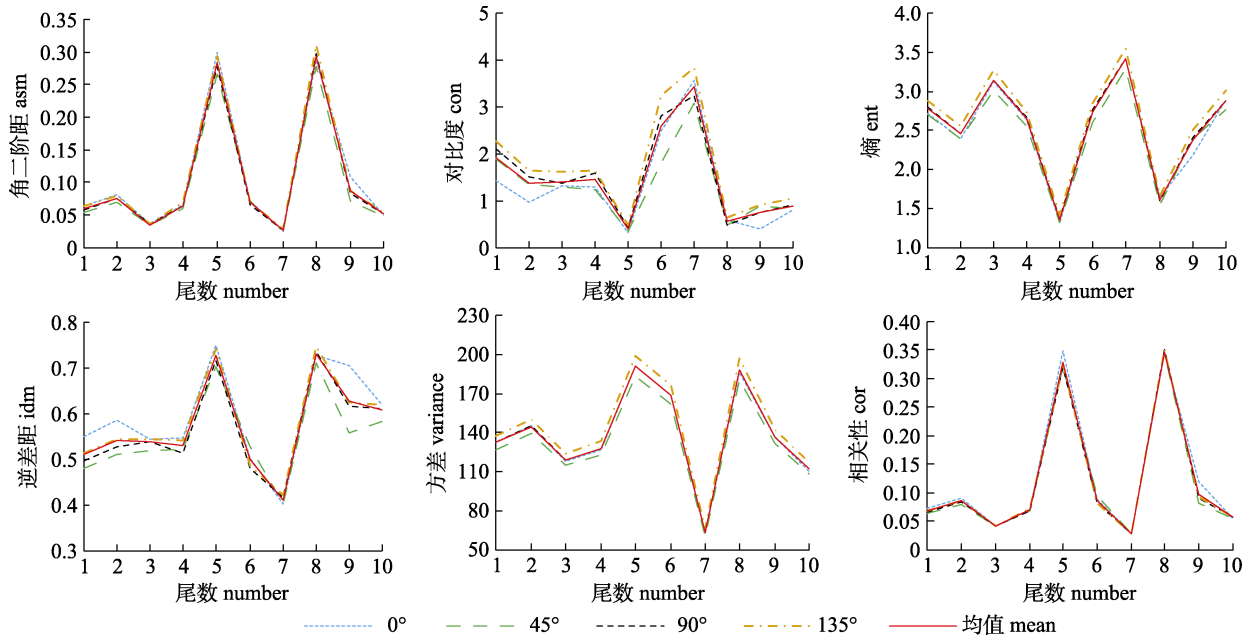


图 7 长鳍金枪鱼纹理指标的方向变化

Fig. 7 Direction change of texture indexes of *Thunnus alalunga*

表 1 金枪鱼属鱼类纹理指标相关系数矩阵

Tab. 1 Correlation matrix of texture indexes of 3 *Thunnus* species

纹理指标 texture indexes	角二阶距 asm	对比度 con	熵 ent	逆差距 idm	方差 variance	相关性 cor
角二阶距 asm	1.00	-0.56	-0.91	0.82	0.73	1.00
对比度 con	-0.56	1.00	0.76	-0.90	-0.53	-0.55
熵 ent	-0.91	0.76	1.00	-0.89	-0.79	-0.90
逆差距 idm	0.82	-0.90	-0.89	1.00	0.62	0.80
方差 variance	0.73	-0.53	-0.79	0.62	1.00	0.76
相关性 cor	1.00	-0.55	-0.90	0.80	0.76	1.00

表 2 纹理指标主成分分析表

Tab. 2 The principal component analysis of texture indexes

主成分 principal components	特征值 eigenvalue	贡献率/% contributionrate	累计贡献率/% cumulative contribution rate
1	4.87	81.10	81.10
2	0.68	11.36	92.46
3	0.36	6.04	98.50
4	0.06	1.01	99.51
5	0.03	0.49	99.99
6	0.00	0.01	100.00

### 3 讨论

#### 3.1 金枪鱼表型纹理特征定量分析可行性

鱼类表型纹理信息具有鱼种的特异性, 可作

为鱼类分类依据。经相关研究人员长期努力, 传统鱼类表型纹理研究取得了一定的成果, 并主要应用于鱼种分类识别<sup>[7]</sup>。其传统鱼类表型纹理研究主要是通过利用鱼体侧面对鱼类背部和腹部等具有鱼种特异性区域进行描述性分析, 进而总结和归纳鱼种表型纹理特征<sup>[8]</sup>, 例如脂眼凹肩鲷 (*Selar crumenophthalmus*) 体侧具一黄色宽纵带, 六带鲹 (*Caranx sexfasciatus*) 体侧有若干黑色横带等。而本研究的 3 种金枪鱼属鱼类纹理特征存在显著差异, 主要表现在鱼体腹部区域<sup>[19-20]</sup>。其大眼金枪鱼表型纹理特征为线条纹理分布不均匀, 且断断续续; 黄鳍金枪鱼为线条分布间隔均匀, 且分布斑点线; 长鳍金枪鱼为无线条分布, 表型纹理较为光洁。

金枪鱼纹理图像获取要具有一致性以及选取的局部纹理图像要具有代表性。本研究对 3 种金枪鱼进行表型纹理特征提取前, 在获取图像过程中金枪鱼摆放的位置要统一, 其金枪鱼水平摆放位于图像中心, 鱼头部分位于图像中左侧, 鱼尾部分位于图像右侧, 鱼类背部位于图像上方以及鱼类腹部位于图像下方, 由于金枪鱼胸鳍较长且具有一定大小, 需将其胸鳍水平摆好, 避免遮挡其腹部纹理特征区域。由于金枪鱼在腹部区域具有鱼种的特异性, 选取其局部图像作为纹理特征进行分析。本研究的 3 种金枪鱼在同种不同个体所获得的纹理图像在整体变化中表现出种的特异性可用于纹理信息提取。

计算机视觉的金枪鱼属鱼类纹理图像自动获取和处理效果较好。本研究通过计算机视觉的图像处理技术对金枪鱼属鱼类的纹理特征区域进行预选选定, 其特征区域的选取结合金枪鱼属鱼类表型纹理的生物学特性, 并对每张纹理图像进行自动截取, 得到  $100 \times 100$  像素的纹理图像。再通过灰度转换和灰度量化, 得到 16 级的灰度纹理图像, 并与彩色纹理图像和 256 级的灰度图像对比, 其 3 种金枪鱼属鱼类纹理信息均保存完整。金枪鱼属鱼类灰度图像使得纹理特征更为清晰, 量化灰度图像不仅可以优化计算处理效率而且不影响纹理特征。而量化的灰度图像是后续计算机视觉纹理分析的重要组成部分, 为数据定量分析提供重要保障和依据。

金枪鱼图像的纹理信息提取是研究金枪鱼表型纹理定量分析的关键一步。本研究中应用的灰度共生矩阵是一种主流的纹理分析方法, 是建立在分析纹理图像的二阶组合条件概率密度函数基础上的统计方法<sup>[21]</sup>, 可分析其局部模式和排列规则<sup>[21-22]</sup>, 它能很好地分析金枪鱼纹理内部的复杂程度, 从而提取定量的信息化数据。而灰度共生矩阵在树皮纹理<sup>[23]</sup>、叶片纹理<sup>[24]</sup>、地形纹理<sup>[25]</sup>等不同研究领域, 以及在鱼类表型纹理<sup>[2,8]</sup>研究中, 其纹理信息提取效果均较好, 也表明了灰度共生矩阵在对纹理分析的实际研究应用具有很强优越性。因此, 本研究在提取金枪鱼表型纹理信息时, 采用灰度共生矩阵作为纹理信息的获取方法。此

外, 本研究通过对纹理图像进行灰度转换和灰度量化处理得到最终纹理图像为 16 级的灰度图像, 其图像的宽和高均为 100 像素大小, 通过对两两像素间的不同距离和方向计算出灰度共生矩阵。由于得出的灰度共生矩阵里的数值仅表示两两像素间出现的频数, 同一灰度共生矩阵的数值间差异较大, 通过对灰度共生矩阵进行归一化处理, 归一化的灰度共生矩阵可用于计算纹理指标, 以便于纹理特征的分析。

### 3.2 计算机视觉技术对金枪鱼表型纹理信息的提取效果

本研究的 3 种金枪鱼的表型纹理在种间存在显著的特异性变化, 通过其计算机视觉的纹理分析, 利用纹理图像的像素排列, 对灰度空间的像素间的距离和方位进行定量分析纹理特异性, 获取其相邻间隔和幅度变化的灰度信息等。对 3 种金枪鱼纹理信息的 4 个方向的纹理指标进行取均值分析, 其 3 种金枪鱼的 6 个纹理指标值均随距离值的变化而变化, 而在距离值为 4 时, 大多纹理指标基本趋于稳定, 方差除外, 在其他相关的纹理分析研究中也有类似的结果<sup>[18,26]</sup>。对比 3 种金枪鱼距离值变化差异, 除了不同纹理指标的变化外, 在同一纹理指标下, 3 种金枪鱼的变化趋势基本一致, 表明了距离值的影响下, 金枪鱼纹理信息变化较为稳定。通过确定纹理信息的距离值为 4 时, 分析 3 种金枪鱼纹理指标在不同方向的变化情况。其大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼和长鳍金枪鱼各自纹理指标信息在不同方向数据可视化分析中, 3 种金枪鱼的纹理指标在 4 个方向上的变化趋势均与均值方向保持基本一致, 反映了 3 种金枪鱼的表型纹理信息获取具有较好的稳定性和同源性。因此, 3 种金枪鱼的纹理信息在不同方向上的分析差异较小, 其均值方向具有明显的代表性。

在纹理信息距离值为 4 时和方向为均值方向时, 通过 3 种金枪鱼的因子分析, 其纹理指标间具有较好相关性, 且在主成分分析中, 第 1 主成分的贡献率达到 81.10%, 说明了计算机视觉的 3 种金枪鱼纹理分析所提取的 6 个纹理指标数据信息较好, 在第 2 主成分到第 6 主成分的累计贡献率不足 20%, 纹理指标在降维过程中信息流失较



少,因此,计算机视觉技术对 3 种金枪鱼属鱼类表型纹理信息的提取效果十分显著,所得到的纹理信息也较充分。

国内类似鱼类纹理研究中,通过提取鲫(*Carassius auratus*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)、鲮(*Parabramis pekinensis*)和白鱼(*Anabarilius*) 4 种淡水鱼的纹理特征作为分类指标之一,利用灰度共生矩阵获取纹理指标,其分类效果较好,但是由于提取的 4 种鱼均为不同属鱼类,其表型纹理差异巨大所以效果明显。而本研究针对同属不同种鱼类的纹理进行分析,通过灰度共生矩阵进一步分析其纹理指标在距离和方向的变化,并根据金枪鱼的纹理特征选取相应的距离值和方向值,再对提取的纹理指标进行深入挖掘分析其数据信息特点,为后期金枪鱼智能识别奠定良好基础。

计算机视觉能有效对金枪鱼属鱼类表型纹理信息进行定量分析<sup>[27]</sup>,通过分析纹理图像中像素的灰度信息,并统计其频次,实现其表型纹理定量分析过程,从而自动提取金枪鱼纹理数据信息。表型纹理信息的提取是金枪鱼智能识别技术实现的前期重要工作之一,传统常见的金枪鱼分类信息主要是通过鱼类性状描述分析,并结合度量特征和形态特征进行识别。而作为表征鱼类生物分类信息的一种方式,表型纹理图像数据具有客观性、表征性和有效性等特点。计算机视觉的鱼类表型纹理特征的应用将为金枪鱼分类识别提供更为丰富的信息数据和新的分类思路<sup>[28]</sup>。

#### 4 总结

本研究通过计算机视觉对 3 种金枪鱼的纹理特征区域进行自动截取图像,对得到的纹理图像进行灰度转换和灰度量化处理,通过归一化的灰度共生矩阵计算得到 6 个纹理指标,该方法对 3 种金枪鱼纹理指标提取效果较好。实验结果表明,大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼和长鳍金枪鱼的纹理指标在距离值为 4 时趋于稳定,各个纹理指标的方向变化,均沿着均值方向波动变化,其均值方向具有代表性。通过因子分析,第 1 主成分贡献率为 81.10%,其提取的 6 个纹理指标效果较好。计算机视觉的纹理分析,不仅为金枪鱼的纹理特征

的定量分析提供了一个新的方法,而且为金枪鱼智能识别奠定了前期工作基础。本研究的金枪鱼图像来源于远洋渔业捕捞作业的渔获物,对图像清晰度要求较高,图像清晰度会影响到纹理数据信息。这也是课题研究计划后续需要考虑的问题。

#### 参考文献:

- [1] Sun J D, Ma Y Y. Summary of texture feature research[J]. *Computer Systems & Applications*, 2010, 19(6): 245-250. [孙君顶, 马媛媛. 纹理特征研究综述[J]. *计算机系统应用*, 2010, 19(6): 245-250.]
- [2] Hu J, Li D L, Duan Q L, et al. Fish species classification by color, texture and multi-class support vector machine using computer vision[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, 88: 133-140.
- [3] González-Rufino E, Carrión P, Cernadas E, et al. Exhaustive comparison of colour texture features and classification methods to discriminate cells categories in histological images of fish ovary[J]. *Pattern Recognition*, 2013, 46(9): 2391-2407.
- [4] Hatae K, Yoshimatsu F, Matsumoto J J. Discriminative characterization of different texture profiles of various cooked fish muscles[J]. *Journal of Food Science*, 1984, 49(3): 721-726.
- [5] Yuan H C, Wang D, Chen G Q, et al. Detection of fish abnormal behavior based on LightGBM model[J]. *Fishery Modernization*, 2020, 47(1): 47-55. [袁红春, 王丹, 陈冠奇, 等. 基于 LightGBM 模型的鱼类异常行为检测[J]. *渔业现代化*, 2020, 47(1): 47-55.]
- [6] Chen C W, Du Y G, Zhou C, et al. Evaluation of feeding activity of shoal based on image texture[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(5): 232-237. [陈彩文, 杜永贵, 周超, 等. 基于图像纹理特征的养殖鱼群摄食活动强度评估[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(5): 232-237.]
- [7] South China Sea Fisheries Institute, China National Bureau of Aquatic Products (Competent authority), Xiaman Fisheries College, Institute of Oceanology et al. *THE FISHES OF THE ISLANDS IN THE SOUTH CHINA SEA*[M]. Beijing: Science Press, 1979: 1-169. [国家水产总局南海水产研究所, 厦门水产学院, 中国科学院海洋研究所, 等. *南海诸岛海域鱼类志*[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-169.]
- [8] Muhathir M, Wanti E P, Pariyandani A, et al. Utilization of SVM Method and Extraction of GLCM Features in Classifying Fish Images with Formalin[J]. *Scientific Journal of Informatics*, 2021, 8(1): 168-175.

- [9] Chen D G, Zhang M Z. Marine Fishes of China[M]. Qingdao: China ocean university press,2016:1-1085. [陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016: 1-1085.]
- [10] Anu Jose J, Sathish Kumar C, Sureshkumar S. Tuna classification using colour, structure, wavelet, and fuzzy based textural features[C]//2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON). November 6-8, 2020. Bangluru, India. IEEE, 2020: 1-5.
- [11] Liu X M. Summary of texture research[J]. Application Research of Computers, 2008, 25(8): 2284-2288. [刘晓民. 纹理研究综述[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(8): 2284-2288.]
- [12] Liu L, Kuang G Y. Overview of image textural feature extraction methods[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4): 622-635. [刘丽, 匡纲要. 图像纹理特征提取方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4): 622-635.]
- [13] Chen X J, Feng B, Xu L X. A comparative study on habitat suitability index of bigeye tuna, *Thunnus obesus* in the Indian Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 269-278. [陈新军, 冯波, 许柳雄. 印度洋大眼金枪鱼栖息地指数研究及其比较[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 269-278.]
- [14] Wang X C, Liu Y, Liu Y. Optimization of salt water-cold storage combined thawing technology of big-eye tuna chunk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(7): 358-363. [王锡昌, 刘燕, 刘源. 大目金枪鱼块温盐水-冷藏库组合解冻工艺的优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 358-363.]
- [15] 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. [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.]
- [16] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1973, SMC-3(6): 610-621.
- [17] Yang J, Zhu L. Color image segmentation method based on RGB color space[J]. Computer and Modernization, 2010(8): 147-149, 171. [杨璟, 朱雷. 基于 RGB 颜色空间的彩色图像分割方法[J]. 计算机与现代化, 2010(8): 147-149, 171.]
- [18] Wang W, Feng Q, Yang M. Netlike texture analysis of Hami melon using parameters based on GLCM and fractal[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17(3): 138-142. [王魏, 冯全, 杨梅. 基于灰度共生矩阵和分形的哈密瓜表皮网状纹理分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(3): 138-142.]
- [19] Khotimah W N, Arifin A Z, Yuniarti A, et al. Tuna fish classification using decision tree algorithm and image processing method[C]//2015 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA). October 5-7, 2015. Bandung, Indonesia. IEEE, 2015: 126-131.
- [20] Chapman L, Sharples P, Brogan D, et al. Marine species identification manual for horizontal longline fishermen[M]. Noumea (New Caledonia) SPC/Western Pacific Regional Fishery Management Council, 2015:1-152.
- [21] Chen H X, Xie H, Zhang J W, et al. Partial discharge pattern recognition based on texture feature of gray level co-occurrence matrix[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(5): 25-30. [陈焕栩, 解浩, 张建文, 等. 基于灰度共生矩阵纹理特征的局部放电模式识别[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 25-30.]
- [22] Li Z F, Zhu G C, Dong T F. Application of GLCM-based texture features to remote sensing image classification[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(3): 456-461. [李智峰, 朱谷昌, 董泰锋. 基于灰度共生矩阵的图像纹理特征地物分类应用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(3): 456-461.]
- [23] Li K X, Qi D W, Mu H B, et al. Identification of tree bark texture characteristic based on gray co-occurrence matrix and SOM neural network[J]. Forest Engineering, 2017, 33(3): 24-27. [李可心, 戚大伟, 牟洪波, 等. 基于灰度共生矩阵与 SOM 神经网络的树皮纹理特征识别[J]. 森林工程, 2017, 33(3): 24-27.]
- [24] Huo Y L, Li Y L. A plant leaf classification method based on multi feature fusion and extreme learning machine[J]. Computer Engineering & Science, 2021, 43(3): 486-493. [火元莲, 李俞利. 基于多特征融合与极限学习机的植物叶片分类方法[J]. 计算机工程与科学, 2021, 43(3): 486-493.]
- [25] Liu K, Tang G A, Tao Y, et al. GLCM based quantitative analysis of terrain texture from DEMs[J]. Journal of Geo-Information Science, 2012, 14(6): 751-760. [刘凯, 汤国安, 陶暘, 等. 基于灰度共生矩阵的 DEM 地形纹理特征量化研究[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(6): 751-760.]
- [26] Lü Y, Ni Y L, Shang P. Texture analysis of plant micro-tubule cytoskeleton based on gray level co-occurrence matrix[J]. Chinese Journal of Cell Biology, 2013, 35(5): 690-696. [吕毅, 倪云鹿, 商澎. 基于灰度共生矩阵的植物细胞微管骨架纹理分析[J]. 中国细胞生物学学报, 2013, 35(5): 690-696.]
- [27] Wishkerman A, Boglino A, Darias M J, et al. Image analysis-based classification of pigmentation patterns in fish: A case study of pseudo-albinism in Senegalese sole[J]. Aquaculture, 2016, 464: 303-308.
- [28] Andayani U, Wijaya A, Rahmat R F, et al. Fish species classification using probabilistic neural network[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1235(1): 012094.

## Analysis of phenotype texture features of three *Thunnus* species based on computer vision

OU Ligu<sup>1</sup>, LI Wenlong<sup>2</sup>, LIU Bilin<sup>1,3,4,5</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,3,4,5</sup>, CHEN Yong<sup>1</sup>, SHI Yixi<sup>1</sup>, HOU Qinglian<sup>1</sup>

1. College of Marine Sciences, 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 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 201306, China

**Abstract:** Tuna is an important commercial product and accounts for a large proportion of the world's fisheries. At the same time, tuna also has a great impact on the development of China's fishery production. The genus *Thunnus* is an important catch resource in China's pelagic fishery, and its phenotype texture information is not only characteristic of fish species, but also can be used as a scientific basis for classification. Traditional fish texture feature analysis has mainly used qualitative description analysis (QDA), but computer vision technology can provide quantitative analysis (QA) data instead. This paper used computer vision to pre-locate the basic standard point of the images of three *Thunnus* species, determining the texture feature regions by moving the basic standard point and automatically acquiring them. The texture image was transformed into and quantized with gray level. The quantized gray level image was used for gray level co-occurrence matrix (GLCM) calculation, and the obtained GLCM was normalized. Six texture indexes were calculated by normalized gray co-occurrence matrix, and the variation trend of the distance and direction of texture indexes was analyzed. The texture indexes of the genus *Thunnus* were studied by factor analysis (FA). Through texture analysis of computer vision, the results show that the extraction effect of texture index for the three *Thunnus* species was good. When the distance value was 4, the change trend of texture index tended to be stable, the direction of texture index of the three *Thunnus* species changed, and its mean direction was representative. Factor analysis of the three *Thunnus* species shows that the contribution rate of the first principal component was 81.10%, indicating that the extracted six texture indexes had high significance and good effect. This work lays a preliminary foundation for the intelligent recognition of the genus *Thunnus*, and also provides a reference for other fish phenotype texture research.

**Key words:** computer vision; *Thunnus*; texture features; gray level co-occurrence matrix; texture index; factor analysis

**Corresponding author:** LIU Bilin. E-mail: bl-liu@shou.edu.cn