

文章编号: 1000-0615(2018)02-0257-10

DOI: 10.11964/jfc.20170110700

## 基于图像识别技术研究不同海区三疣梭子蟹甲壳白色斑纹特征及蜕壳前后斑纹特征的变化

卢少坤<sup>1,2</sup>, 李荣华<sup>1,2</sup>, 施欧文<sup>1,2</sup>, 王春琳<sup>1,2\*</sup>, 母昌考<sup>1,2</sup>,  
宋微微<sup>1,2</sup>, 王斌<sup>3</sup>, 徐建瑜<sup>3</sup>

(1. 宁波大学应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211;

2. 浙江海洋高效健康养殖协同创新中心, 浙江 宁波 315211;

3. 宁波大学信息学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 为进行三疣梭子蟹外观特征的研究, 本研究通过计算机视觉技术建立三疣梭子蟹背部白色斑纹评估方法, 经人工对比验证其准确性达100%。在此基础上, 对来自海域的30只三疣梭子蟹 [平均体质量(2.8±0.56) g] 进行跟踪观察, 发现蜕壳前后白色斑纹数量和位置保持不变, 而白色斑纹面积和斑纹区域面积则会随着蜕壳后蟹壳面积的增加而扩大; 蜕壳后, 白色斑纹面积增加89.33%±8.61%, 斑纹区域面积增加90.51%±7.95%, 蟹壳面积增加94.66%±8.26%, 均显著正相关。为进一步研究不同海区梭子蟹白色斑纹分布特征, 对来自朝鲜、中国辽宁和浙江等不同海区的三疣梭子蟹进行白色斑纹个数( $N$ )、白色斑纹面积( $S_1$ )、斑纹区域面积( $S_2$ )、白色斑纹面积百分比( $R_1$ )、斑纹区域面积百分比( $R_2$ )和密度( $D$ )等6项参数分析, 结果发现, 不同海区三疣梭子蟹斑纹性状存在显著特点, 朝鲜海区呈现斑纹小、分布面积少、占蟹壳总面积比例低的特点; 辽宁海区呈现斑纹小、分布面积多、占蟹壳总面积比例高的特点; 浙江海区呈现斑纹大、分布面积少、占蟹壳总面积比例低的特点。本研究将计算机视觉技术应用于水产养殖研究, 通过建立评估参数阐明三疣梭子蟹白色斑纹的生长规律, 揭示了不同群体的三疣梭子蟹白色斑纹具有地理多样性的特征。

**关键词:** 三疣梭子蟹; 白色斑纹; 图像识别; 蜕壳; 多样性

**中图分类号:** Q 346; S 917.4

**文献标志码:** A

动物色彩斑纹的主要作用是警示、自我保护及求偶<sup>[1]</sup>, 从而形成了五彩缤纷的动物世界, 海洋生物也不例外。体色这一表型特征还与其他诸多经济性状如生长、繁殖、抗性等息息相关。近年来许多学者开展了外观色彩相关的遗传学研究, 如Torrissen等<sup>[2]</sup>对大西洋鲑(*Salmo salar*)的体色进行研究, 发现影响体色的类胡萝卜素含量受到遗传因素的影响, 同时与性成熟和体质量联系密切; Shikano<sup>[3]</sup>在研究牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)体色时发现其白化体色由遗传因素决定;

黄永政<sup>[4]</sup>总结了当前鱼类体色研究进展, 总结出其体色多态性是由于体内色素细胞所致, 也与环境及遗传因素等密切相关; 王庆恒等<sup>[5]</sup>比较了不同壳色马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)生长性状的差异, 并建立了壳色与生长性状间的相关关系; 迟大利<sup>[6]</sup>对绿壳色及紫壳色的三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)进行了遗传比较。

三疣梭子蟹外壳表面分布有明显的白色斑纹, 形状以圆点居多, 也有不规则斑点, 其大小不定, 分布不均, 或覆盖大半蟹壳面积, 或

收稿日期: 2017-01-28 修回日期: 2017-05-30

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A409); 国家自然科学基金(41476124); 浙江省自然科学基金(LY17C190005); 宁波市科技富民项目(2016C10037); 宁波大学“水产”浙江省重中之重一级学科开放基金(xkzsc1505)

通信作者: 王春琳, E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

少量分布,呈现出多样性,但目前缺乏对其进行量化研究的技术方法。近年来,计算机视觉技术已广泛应用于各学科领域,主要采用图像摄取设备将目标对象转化成图像信号,从而实现智能控制处理<sup>[7]</sup>。计算机视觉技术的快速应用也推动了水产行业的发展,Quevedo等<sup>[8]</sup>利用计算机视觉技术采集大西洋鲑不同颜色的肉质,对其成色进行量化分级,从而指导生产实践;徐建瑜<sup>[9]</sup>通过计算机视觉技术研究尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)在缺氧等极端环境下的应激表型;张超等<sup>[10]</sup>通过计算机视觉技术成功构建了预测三疣梭子蟹体质量的方法。

本研究首次通过计算机视觉技术建立三疣梭子蟹白色斑纹评估方法,并对不同地理群体的白斑特征进行了分析,以期为了解三疣梭子蟹的斑纹性状奠定基础。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 三疣梭子蟹壳的图像采集及数据提取比较

**三疣梭子蟹图像采集装置硬件设备** 工业摄像头(JAI CB-200GE, 5 mm镜头),数据线,计算机(thinkpad, E430),白色方形盒(40 cm×20 cm×28 cm),日光灯(30 W光源)。工业摄像头和日光灯均架设于白色方形盒上方,摄像头用数据线与计算机相连(图1)。

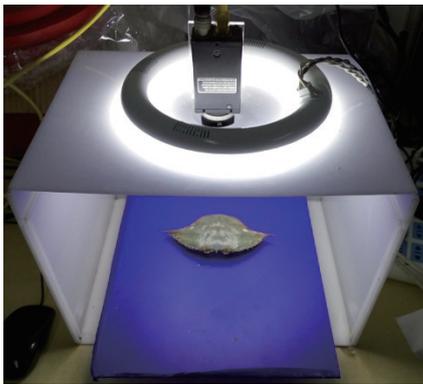


图1 三疣梭子蟹图像采集装置

Fig. 1 The acquisition device of image for *P. trituberculatus*

**图像采集** 图像采集环境在黑暗室内完成,避免外界光源对其干扰。调整各装置至合适位置后固定,并控制日光灯亮度及镜头焦距和曝光量,操作完毕后,对摄像头位置进行标定<sup>[11]</sup>。然后将洗净晾干处理后的蟹壳放入拍摄区

域内获取图像,以tif格式存入计算机中。随机选取雌雄三疣梭子蟹蟹壳各15只,每个蟹壳标准定位后采用摄像头拍摄1张图片,进行图像处理及分析后,人工对比验证误差。

**图像处理** 为使蟹壳与背景区域分离,首先对校准图像(图2-a)进行灰度化处理(图2-b),然后对该灰阶图进行二值化运算,使得蟹壳区域呈白色,背景呈黑色(图2-c),在该二值化图像中显示出的最大连通域,即为捕获的蟹壳区域。

采用分水岭分割计算方法获取三疣梭子蟹白色斑纹性状,即以蟹壳图像上各像素点灰度值作为参数,投射到立体三维轴面,根据阈值分割后获取白色斑纹所占区域的海拔高度,从而获得目标区域(图2-d)。

根据图像处理,提取了白斑数量( $N$ )(图3-a)、白色斑纹面积( $S_1$ )(图3-b)、斑纹区域面积( $S_2$ )(图3-c)及蟹壳面积( $S_3$ )等白斑相关性状。

### 1.2 白色斑纹量化比较参数

对采集到的白斑性状原始数据进行数学转化,计算白色斑纹面积百分比、密度等6种白色斑纹特征性状参数(表1)。

### 1.3 白色斑纹的生长特性观察

用于观察白色斑纹特性变化的实验用蟹于2014年7—8月采自浙江象山海区,选取健康无伤残的Ⅵ期三疣梭子蟹30只放入单体养殖筐内暂养。实验三疣梭子蟹平均体质量( $2.8 \pm 0.56$ ) g,全甲宽( $35.9 \pm 2.42$ ) mm,甲宽( $27.9 \pm 2.0$ ) mm,体长( $18.6 \pm 1.3$ ) mm。实验养殖周期为1周左右(Ⅵ期~Ⅶ期所需的蜕壳时间),每日定时投喂饵料、换水,夜间充氧。实验期间搜集蜕壳,与新生壳进行图像采集与处理,方法同“三疣梭子蟹壳的图像采集及数据提取比较”所述。采用白色斑纹个数重合点( $C_1$ )、白色斑纹个数蜕壳前后比值( $C_2$ )、斑纹区域面积百分比在蜕壳前后的比值( $C_3$ )、白色斑纹面积增长率( $G_1$ )等参数和计算方法(表2),进行蜕壳前后白色斑纹变化的分析比较。数据统计分析利用SPSS 17.0软件,以 $P < 0.05$ 作为显著差异水平,描述性统计采用平均值±标准差表示。

### 1.4 不同群体三疣梭子蟹白色斑纹的特性

2014年9月分别采集朝鲜盐州( $124^\circ 46' E$ ,  $39^\circ 84' N$ )、辽宁葫芦岛( $121^\circ 04' E$ ,  $40^\circ 72' N$ )和浙江象山( $121^\circ 97' E$ ,  $29^\circ 21' N$ )3个海区的健康无

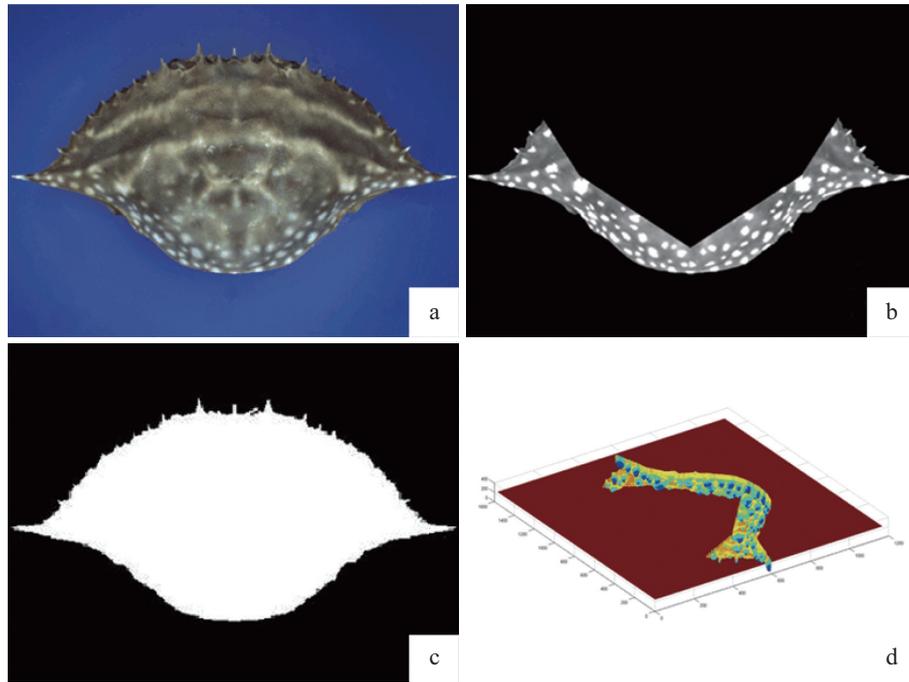


图 2 蟹壳图像处理效果图

a. 原图, b. 灰度图, c. 二值化, d. 分水岭处理图

Fig. 2 The diagram of carapace image processing

a. original image, b. grayscale image, c. binarization, d. watershed divide image

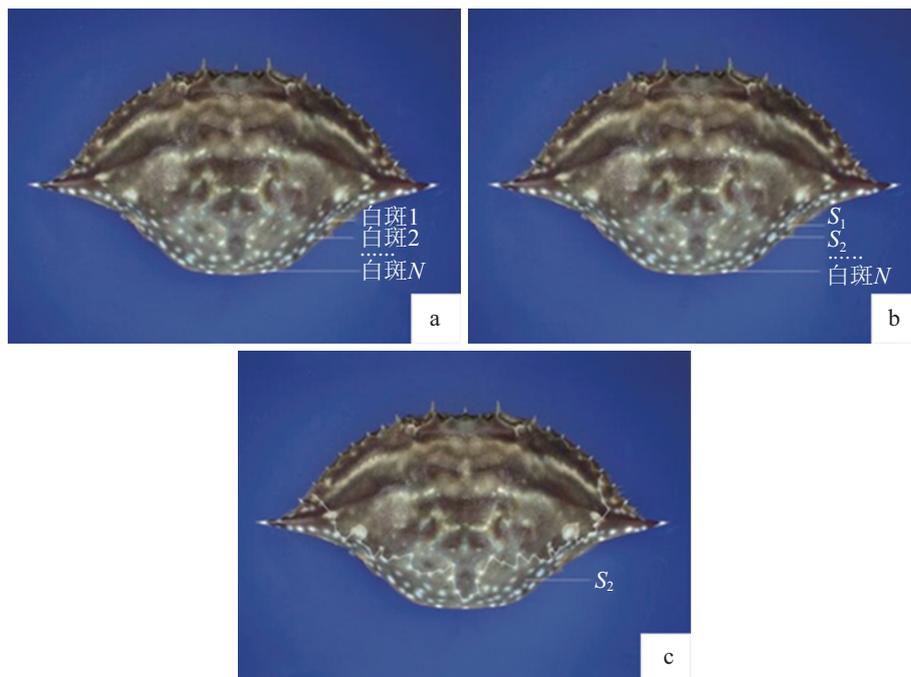


图 3 三疣梭子蟹白色斑纹个数(a)、白色斑纹面积(b)和斑纹区域面积(c)

Fig. 3 The white spots number (a), area (b) and regional area (c) of *P. trituberculatus*

伤残的VI期三疣梭子蟹各30只(表3), 对其白色斑纹特点进行调查。图像采集方法同“三疣梭子

蟹壳的图像采集及数据提取比较”所述, 比较参数同“白色斑纹量化比较参数”。数据统计分析利

表 1 白色斑纹性状参数表

Tab. 1 The parameters of white spot traits

参数 parameter	定义 definition	符号(单位) symbol (unit)	图示或公式 graphic or formula
白色斑纹个数 white spot number	描述蟹壳背部白色斑纹总个数	$N$ (个)	图3-a
白色斑纹面积 white spot area	描述蟹壳背部所有白色斑纹面积之和	$S_1$ (px)	图3-b
斑纹区域面积 white spot regional area	描述白色斑纹在蟹壳背部所占区域部分的总面积	$S_2$ (px)	图3-c
白色斑纹面积百分比 percentage of white spot area	描述白色斑纹面积与蟹壳总面积的比值	$R_1$ (%)	$R_1(\%)=S_1/S_3\times 100$
斑纹区域面积百分比 percentage of white spot regional area	描述斑纹区域面积与蟹壳总面积的比值	$R_2$ (%)	$R_2(\%)=S_2/S_3\times 100$
密度 density	描述白色斑纹的疏密程度	$D$ (个/ $10^{-4}$ px)	$D=N/S_2\times 10\ 000$

表 2 蜕壳前后白斑相关性状计算公式表

Tab. 2 The formula of white spot trait comparison before and after molting

名称 name	定义 definition	符号/% symbol	公式 formula
白色斑纹个数重合点 coincidence of white spot number	重合斑纹点数的两倍与蜕壳前、后斑纹点数之和的比值	$C_1$	$C_1(\%)=N_{重}\times 2/(N_{前}+N_{后})\times 100$
白色斑纹个数蜕壳前后比值 ratio of parameter $N$ before and after molting	蜕壳前、后白色斑纹个数的比值	$C_2$	$C_2(\%)=N_{前}/N_{后}\times 100$
斑纹区域面积百分比在蜕壳前后的比值 ratio of parameter $R_2$ before and after molting	蜕壳前、后斑纹区域面积百分比的比值	$C_3$	$C_3(\%)=R_{2前}/R_{2后}\times 100$
白色斑纹面积增长率 increase rate of white spot area	白色斑纹面积在蜕壳后的增长情况	$G_1$	$G_1(\%)=(S_{1后}-S_{1前})/S_{1前}\times 100$
斑纹区域面积增长率 increase rate of white spot regional area	斑纹区域面积在蜕壳后的增长情况	$G_2$	$G_2(\%)=(S_{2后}-S_{2前})/S_{2前}\times 100$
蟹壳面积增长率 increase rate of carapace area	蟹壳面积在蜕壳后的增长情况	$G_3$	$G_3(\%)=(S_{3后}-S_{3前})/S_{3前}\times 100$

表 3 不同海区三疣梭子蟹生长参数

Tab. 3 The growth parameters of *P. trituberculatus* from different areas

采样地点 sampling locations	全甲宽/mm full carapace width	甲宽/mm carapace width	体长/mm carapace length	体质量/g body weight
朝鲜盐州 CX	138.63±8.29	116.83±7.93	68.92±6.29	164.02±20.92
辽宁葫芦岛 LN	141.55±5.84	119.16±6.96	70.15±2.91	168.40±17.09
浙江象山 XS	140.38±6.69	117.23±5.88	70.02±3.45	165.08±18.77

用SPSS17.0软件,以 $P<0.05$ 作为显著差异水平,描述性统计采用平均值±标准差表示。同时采用SPSS17.0软件对3个群体三疣梭子蟹白色斑纹分布特点进行聚类分析。聚类分析中,采用欧式距离的最短系统聚类法<sup>[12]</sup>,为消除三疣梭子蟹大小对其分析的影响,选用标准化后的白色斑纹参数,即白色斑纹面积百分比( $R_1$ )、斑纹区域面积百分比( $R_2$ )和密度( $D$ )参数的平均值综合进行聚类分析。根据聚类结果,采用逐步判别法进行

判别分析。

## 2 结果

### 2.1 白色斑纹识别方法的建立

为验证计算机视觉技术的准确性,任意选取30张蟹壳图片,对其进行手动分辨(图4),然后对30张图片原图与手动分辨图分别进行计算机视觉识别处理,分别计算平均值与标准差,并

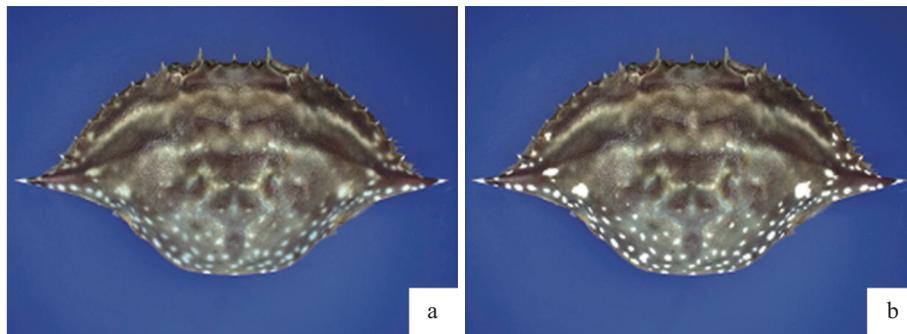


图4 三疣梭子蟹蟹壳效果图

a. 未处理, b. 人工勾画

Fig. 4 The carapace image of *P. trituberculatus*

a. untreated; b. artificial sketch

进行比对分析。

方差分析结果发现, 手动分辨和计算机视觉识别两种方法之间无显著差异( $P>0.05$ ), 相似度达100%(表4), 说明计算机识别和参数提取程序能够准确对白色斑纹性状进行量化分析。

## 2.2 白色斑纹的生长特性观察

三疣梭子蟹蜕壳前后, 其壳体总面积明显增大, 斑纹提取及重合效果对比发现白色斑纹特征差别并不明显(图5, 6, 7)。统计结果显示, 三疣梭子蟹蜕壳前后白色斑纹重合率( $C_1$ )为 $90.56\% \pm 4.02\%$ ; 白色斑纹个数比值( $C_2$ )为

$87.67\% \pm 5.97\%$ ; 斑纹区域面积百分比比值( $C_3$ )为 $102.22\% \pm 3.03\%$ 。在蜕壳后, 蟹壳总面积增长率( $G_3$ )为 $94.66\% \pm 8.26\%$ , 白色斑纹面积增长率( $G_1$ )为 $89.33\% \pm 8.61\%$ , 斑纹区域面积增长率( $G_2$ )为 $90.51\% \pm 7.95\%$ 。

双变量相关分析显示, 白色斑纹面积变化与蟹壳面积变化呈正相关, 相关系数达0.718, 显著相关( $P<0.05$ ); 斑纹区域面积变化与蟹壳面积变化也呈正相关, 相关系数达0.725, 显著相关( $P<0.05$ )。雌雄性别间斑纹特征差异均不显著( $P>0.05$ )。

表4 手动勾画与计算机识别的比对结果

Tab. 4 The comparison results between artificial sketch and computer imaging

比值 ratio	白色斑纹个数 white spot number	白色斑纹面积 white spot area	斑纹区域面积 white spot regional area	蟹壳面积 carapace area
手动勾画/计算机识别 artificial sketch/computer imaging	1.00±0.01	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00

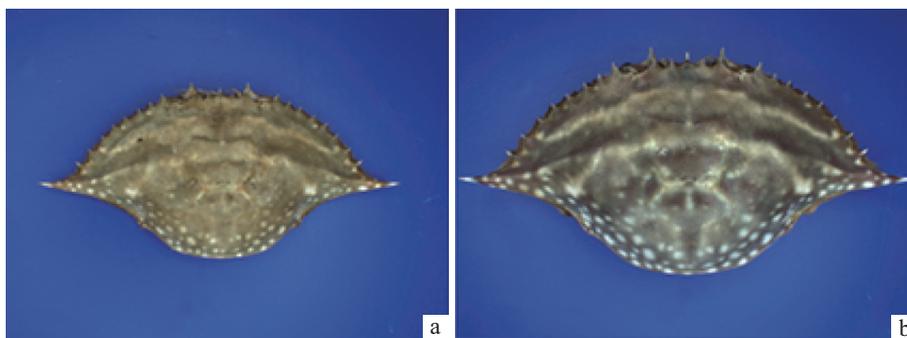


图5 同一只三疣梭子蟹蜕壳前后的蟹壳

a. 蜕壳前, b. 蜕壳后, 下同

Fig. 5 The carapace of the same *P. trituberculatus*

a. before molting, b. after molting; the same below

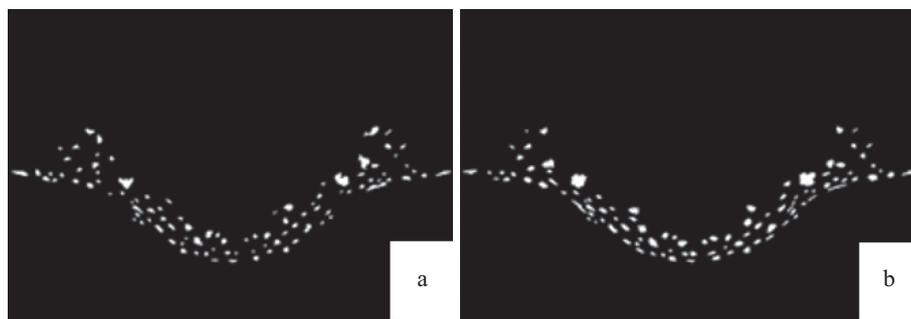


图 6 提取白色斑纹

Fig. 6 Extraction of the white spots



图 7 重合点分布图

Fig. 7 The distribution of the coincidence spots

### 2.3 不同群体三疣梭子蟹白色斑纹的特性

不同海区典型三疣梭子蟹蟹壳斑纹在数量及比率等方面具有明显差别(图8)。统计分析表明,白色斑纹面积、斑纹区域面积和白色斑纹面积百分比等3个参数的单因素方差分析达到显著水平( $P < 0.05$ )。浙江象山海区白色斑纹面积( $S_1$ )远大于朝鲜盐州和辽宁葫芦岛海区;辽宁葫芦岛海区三疣梭子蟹斑纹区域面积( $S_2$ )显著大于浙江象山和朝鲜盐州海区;浙江象山海区三疣梭子蟹白色斑纹面积百分比( $R_1$ )显著高于朝鲜盐州和辽宁葫芦岛海区。此外,密度参数( $D$ )的比

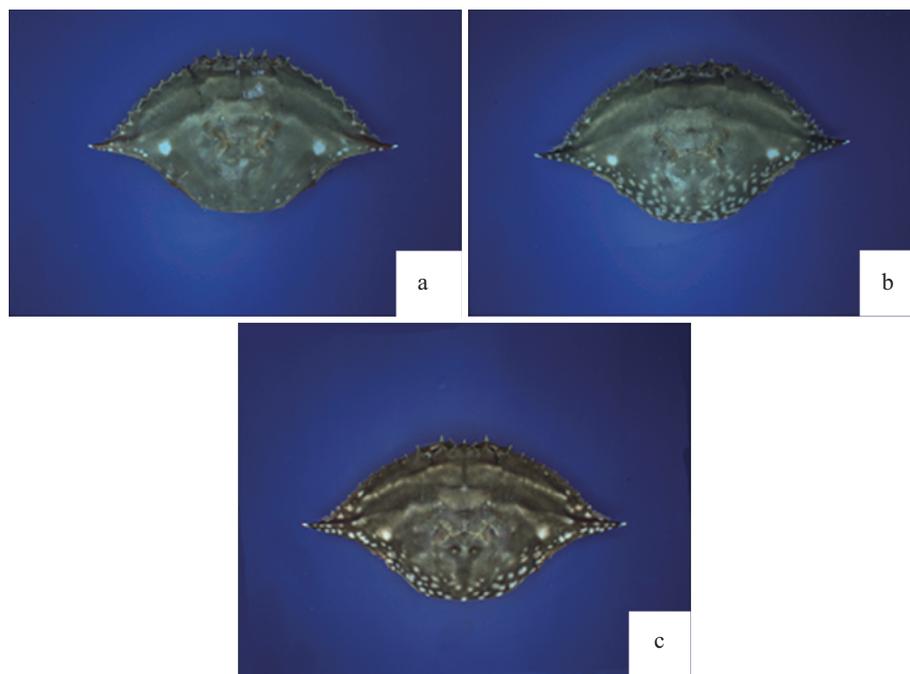


图 8 不同地区种群三疣梭子蟹壳示例

a. 朝鲜盐州, b. 辽宁葫芦岛, c. 浙江象山

Fig. 8 The carapace of *P. trituberculatus* from different area

a. Yomju North Korea, b. Huludao Liaoning, c. Xiangshan Zhejiang

较结果虽然未达到显著性差异, 但两两比较结果显示, 浙江象山海区[(4.98±0.66)个/10<sup>-4</sup>px]显著高于辽宁葫芦岛海区[(4.31±1.14)个/10<sup>-4</sup>px]。白色

斑纹个数(N)及斑纹区域面积百分比(R<sub>2</sub>)两个参数的比较在3个海区三疣梭子蟹中不存在显著差异(P>0.05)(表5)。

表 5 不同海区三疣梭子蟹白色斑纹性状的比较

Tab. 5 Comparison of white spot of *P. trituberculatus* from different sea area

白色斑纹参数 white spot parameter	朝鲜盐州 CX	辽宁葫芦岛 LN	浙江象山 XS
N/个	48.83±13.44	53.67±20.62	52.83±12.08
S <sub>1</sub> /px	6408.67±3005.04 <sup>a*</sup>	7153.67±2770.78 <sup>ab*</sup>	8697.03±3439.90 <sup>b*</sup>
S <sub>2</sub> /px	104 461.87±17 940.85 <sup>a*</sup>	120 617.70±19 147.19 <sup>b*</sup>	105 644.50±17 417.19 <sup>a*</sup>
R <sub>1</sub> /%	1.92±0.86 <sup>a*</sup>	1.90±0.75 <sup>a*</sup>	2.63±0.98 <sup>b*</sup>
R <sub>2</sub> /%	31.48±5.07	31.99±5.10	32.13±4.58
D/(个/10 <sup>-4</sup> px)	4.81±1.59 <sup>ab*</sup>	4.31±1.14 <sup>a*</sup>	4.98±0.66 <sup>b*</sup>

注: 同一行中标有不同字母的表示有显著性差异(P<0.05)  
Notes: the different letters in the line mean significant difference (P<0.05)

聚类分析结果显示, 朝鲜盐州海区和辽宁葫芦岛海区三疣梭子蟹白色斑纹性状较为接近, 首先聚为一类, 然后与浙江象山海区聚为

一类(图9)。根据聚类分析结果对其进行判别分析, 准确率: 朝鲜盐州海区为20%、辽宁葫芦岛海区为60%、浙江象山海区为53.30%(表6)。

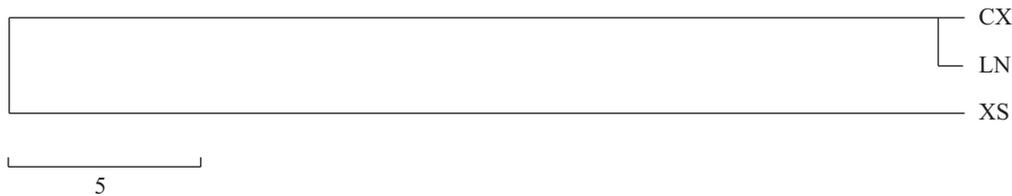


图 9 三个海区三疣梭子蟹聚类分析图

CX. 朝鲜盐州, LN. 辽宁葫芦岛, XS. 浙江象山; 标尺表示欧式距离值

Fig. 9 Cluster dendrogram of three different areas

CX. Yomju North Korea, LN. Huludao Liaoning, XS. Xiangshan Zhejiang; the scale represents the Euclidean distance

表 6 不同地区三疣梭子蟹判别分析结果

Tab. 6 Discriminant analysis of *P. trituberculatus* from different area

地区 area	样本数/只 number of sample	朝鲜 盐州 CX	辽宁 葫芦岛 LN	浙江 象山 XS	判别准 确率(P)% accuracy
朝鲜盐州 CX	30	6	17	7	20.00
辽宁葫芦岛 LN	30	4	18	8	60.00
浙江象山 XS	30	6	8	16	53.30

### 3 讨论

感兴趣区域(region of interest, RIO)是指以各种不规则图形等方式从图像中勾画目的区域, 以备对其进行深入的研究处理<sup>[13]</sup>。通过计算机视

觉技术识别RIO区域可以节约处理时间, 增加其精确度, 现已广泛应用于医学病灶组织、人体结构成像识别中<sup>[14-15]</sup>。张超等<sup>[10]</sup>采用计算机视觉技术, 通过摄像头拍摄不同生长阶段的三疣梭子蟹图像, 对图像进行模板校正及图像分割, 提取三疣梭子蟹面积特征参数, 利用最小二乘法对面积和质量进行拟合, 其中二次多项式相关性最好, 可达到0.922, 测试平均相对误差为6.40%, 证明该方法可以满足三疣梭子蟹质量预估的要求。本研究将这一方法应用于识别水产动物的表观特征, 通过计算机视觉技术处理三疣梭子蟹白色斑纹性状。研究表明, 该方法具有较高的准确性, 同时可量化白色斑纹的性状, 从而为深入研究其遗传规律做铺垫。

目前,已有不少研究表明,生物体色斑纹的形成是由于不同色素细胞沉积所致<sup>[16]</sup>。同时,也有研究证实生物体色斑纹受到遗传因素控制。Ueshima等<sup>[17]</sup>通过鱼类体色杂交试验,发现不同等位基因控制鳞片黑色素的形成。迟大利<sup>[6]</sup>对绿壳色及紫壳色的三疣梭子蟹进行了遗传性状比较,发现三疣梭子蟹的体色属于数量性状且由微效多基因控制,且两种体色三疣梭子蟹的亲缘关系非常亲近。本实验结果发现,三疣梭子蟹蜕壳前后,白色斑纹的个数、位置以及斑纹区域面积百分比均保持不变,表明白色斑纹性状可能受遗传因素控制,在三疣梭子蟹生长过程中基本保持稳定;另一方面,随着蜕壳后蟹壳面积的增大,白色斑纹面积及斑纹区域面积都有增大的趋势,且显著相关,表明白色斑纹也同其他生长指标一样,会随着形态的变大而相应变化。随着蜕壳期数增加,其具体的变化趋势还有待进一步研究。

三疣梭子蟹在我国沿海分布广泛,从辽东半岛到广东沿海海区均有分布<sup>[18]</sup>。高保全等<sup>[19]</sup>对不同地理种群三疣梭子蟹自繁子代和杂交子代生长性状进行了比较,结果发现,不同地理种群存在较高的遗传多样性,不同地理种群间的杂交是培育三疣梭子蟹优良新品系的重要方法之一。本实验通过对朝鲜、中国辽宁及象山等海区三疣梭子蟹白色斑纹的特点分析,发现这3个海区三疣梭子蟹在白色斑纹的分布方面也呈现不同特点,表明三疣梭子蟹白色斑纹这一外观特征也存在地理种群多样性,该性状与遗传差异之间的相关性还有待进一步研究。

吴惠仙等<sup>[20]</sup>研究认为,三疣梭子蟹亲缘关系不应以海区和地理位置等因素为依据,因为发现存在不同海区三疣梭子蟹亲缘关系高于同一海区的情况,究其原因可能是三疣梭子蟹洄游习性或跨海域捕捞造成的。但随着海区之间距离的扩大,洄游难度和捕捞成本的增大,使得距离相隔较远的三疣梭子蟹保持各自种群的特征,可能因为地理隔离会产生较明显的差异。刘爽等<sup>[21]</sup>通过分子标记方法证明东海与黄海两个群体三疣梭子蟹之间存在遗传分化。本研究聚类分析结果同样发现,象山海区的三疣梭子蟹与朝鲜和辽宁海区三疣梭子蟹在白色斑纹的特性方面差异较大,表明海域距离越远,外观差异也越明显。

高保全等<sup>[22]</sup>研究了4个不同地理种群三疣梭子蟹头胸甲特征,发现不同海区三疣梭子蟹的白色斑纹存在区别,但不能作为区别群体的依据。本研究采用聚类分析进行3个群体个体判定的准确率介于20%~60%,不能准确地进行个体判别,进一步分析发现,判定错误大都发生在地理区域较近的三疣梭子蟹之间。

本研究首次通过计算机视觉技术建立三疣梭子蟹白色斑纹量化评估方法,并在此基础上对白斑性状的特征进行了分析,表明该性状具有个体稳定性,且在不同地理群体间存在显著特征性差异,为该性状的研究以及利用提供了参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 杨景玲. 海洋动物的色彩信号[J]. 大自然探索, 2010(3): 34-41.  
Yang J L. Color signal of marine animal[J]. Discovery of Nature, 2010(3): 34-41(in Chinese).
- [2] Torrissen O J, Naevdal G. Pigmentation of salmonids—variation in flesh carotenoids of Atlantic salmon[J]. Aquaculture, 1988, 68(4): 305-310.
- [3] Shikano T. Marker-based estimation of heritability for body color variation in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. Aquaculture, 2005, 249(1-4): 95-105.
- [4] 黄永政. 鱼类体色研究进展[J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 89-94.  
Huang Y Z. The study on fish body color[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2008, 21(1): 89-94(in Chinese).
- [5] 王庆恒, 邓岳文, 杜晓东, 等. 马氏珠母贝4个壳色选系 F<sub>1</sub> 幼虫的生长比较[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 488-492.  
Wang Q H, Deng Y W, Du X D, et al. Growth comparison of F<sub>1</sub> larvae between four shell color lines of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 488-492(in Chinese).
- [6] 迟大利. 三疣梭子蟹两种体色相关分子标记研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2009.  
Chi D L. Study on molecular marker analysis between color-different individuals of the blue swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[D]. Suzhou: Soochow University, 2009(in Chinese).
- [7] 何东健, 张海亮, 宁纪锋, 等. 农业自动化领域中计算机视觉技术的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 171-175.  
He D J, Zhang H L, Ning J F, et al. Application of computer vision technique to automatic production in agri-

- culture[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 171-175(in Chinese).
- [ 8 ] Quevedo R A, Aguilera J M, Pedreschi F. Color of salmon fillets by computer vision and sensory panel[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(5): 637-643.
- [ 9 ] 徐建瑜. 基于计算机视觉的急性应激条件下尼罗罗非鱼的行为研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- Xu J Y. Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute stress monitored by computer vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005(in Chinese).
- [10] 张超, 徐建瑜, 王文静. 基于机器视觉的梭子蟹质量估计方法研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2014, 27(2): 49-51.
- Zhang C, Xu J Y, Wang W J. Machine vision based weight estimation of swimming crab[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition), 2014, 27(2): 49-51(in Chinese).
- [11] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [12] 张庭尧, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 393-404.
- Zhang T Y, Fang K T. An Introduction to multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Science Press, 1982: 393-404(in Chinese).
- [13] 袁源, 樊万梅. 基于背景统计的ROI提取方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2012, 26(3): 89-92.
- Yuan Y, Fan W M. A method for ROI extraction based on background statistics[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2012, 26(3): 89-92(in Chinese).
- [14] 吴青霞, 丁蓓, 凌华威, 等. 磁共振扩散张量成像在评估帕金森病脑内白质改变中的应用[J]. 实用放射学杂志, 2010, 26(7): 923-925, 966.
- Wu Q X, Ding B, Ling H W, et al. The application of MR diffusion tensor imaging in the evaluation of the white matter changes in patients with Parkinson's disease[J]. Journal of Practical Radiology, 2010, 26(7): 923-925, 966(in Chinese).
- [15] 李登旺. 医学图像配准和分割技术研究及在图像引导放射治疗系统中的应用[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- Li D W. Research on medical image registration and segmentation with applications in IGRT system[D]. Ji'nan: Shandong University, 2011(in Chinese).
- [16] 刘金海, 王安利, 王维娜. 金鱼总色素及色素组分的比较研究[J]. 水生生物学报, 2007, 31(1): 73-77.
- Liu J H, Wang A L, Wang W N. Comparative studies on the total pigment and pigment components of goldfish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(1): 73-77(in Chinese).
- [17] Ueshima G, Nakajima M, Fujio Y. A study on the inheritance of body color and chromatophores in the guppy, *Poecilia reticulata*[J]. Tohoku Journal of Agricultural Research, 1998, 48(3-4): 111-122.
- [18] 戴爱云, 冯钟琪, 宋玉枝, 等. 三疣梭子蟹渔业生物学的初步调查[J]. 动物学杂志, 1977, 12(2): 30-33.
- Dai A Y, Feng Z Q, Song Y Z, et al. The preliminary investigation of *Portunus trituberculatus* in fisheries biology[J]. Chinese Journal of Zoology, 1977, 12(2): 30-33(in Chinese).
- [19] 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代生长性状的比较[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 291-296.
- Gao B Q, Liu P, Li J, et al. Heterosis of F<sub>1</sub> *Portunus trituberculatus* from matings and crosses among different geographical populations[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(3): 291-296(in Chinese).
- [20] 吴惠仙, 徐雪娜, 薛俊增, 等. 中国沿海三疣梭子蟹的遗传结构和亲缘关系分析[J]. 海洋学研究, 2009, 27(3): 48-53.
- Wu H X, Xu X N, Xue J Z, et al. Analysis of the genetic structure and relationship of the swimming crab, *Portunus triuberculatus* in the coastal area of China[J]. Journal of Marine Sciences, 2009, 27(3): 48-53(in Chinese).
- [21] 刘爽, 薛淑霞, 孙金生. 黄海和东海三疣梭子蟹(*Portunus triuberculatus*)的AFLP分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(2): 152-156.
- Liu S, Xue S X, Sun J S. Genetic diversity of *Portunus triuberculatus* revealed by AFLP analysis[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(2): 152-156(in Chinese).
- [22] 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)4个地理群体体色差异分析[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 79-84.
- Gao B Q, Liu P, Li J, et al. Analysis of body color variations among four wild populations of *Portunus trituberculatus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 79-84(in Chinese).

## Development of the recognition method based on computer vision for white spots in the carapace of *Portunus trituberculatus* and research on its characteristics

LU Shaokun<sup>1,2</sup>, LI Ronghua<sup>1,2</sup>, SHI Ouwen<sup>1,2</sup>, WANG Chunlin<sup>1,2\*</sup>, MU Changkao<sup>1,2</sup>,  
SONG Weiwei<sup>1,2</sup>, WANG Bin<sup>3</sup>, XU Jianyu<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of the Ministry of Education for Applied Marine Biotechnology, School of Marine Science,  
Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Collaborative Innovation Center for Zhejiang Marine High-efficiency and Healthy Aquaculture,  
Ningbo 315211, China;

3. Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** To study the morphological characteristics of white spots in the carapace of *Portunus trituberculatus*, a computer vision-based recognition method was developed in this paper with an accuracy of 100%. The molting process of thirty crabs from sea area [ body weight (2.8±0.56) g] was tracked to investigate the growth changes of white spots in the carapace of *P. trituberculatus*. Results showed that the number and relative positions of white spots had no significant changes after molting, however, the white spot area and its distribution area grew with the carapace. After molting, the white spot area increased by 89.33%±8.61%, the distribution area increased by 90.51%±7.95%, and the carapace area increased by 94.66%±8.26%. *P. trituberculatus* from North Korea, Liaoning and Zhejiang were collected to compare six parameters related to white spots trait in the carapace, and results showed significant geographical differences. The white spot traits of North Korea had the features of small spots, small distribution area and accounted for a low proportion of the carapace area. The traits of Liaoning had the features of small spots, larger distribution area and accounted for a high proportion of the carapace area. While the traits of Zhejiang had the features of big spots, small distribution area and accounted for a low proportion of the carapace area. This study developed the recognition method based on computer vision for white spots in the carapace of *P. trituberculatus*, and illustrated the growth features of this trait, and revealed significant geographical differences among three populations.

**Key words:** *Portunus trituberculatus*; white spots; figure recognition; molting; diversity

**Corresponding author:** WANG Chunlin. E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

**Funding projects:** National High Technology Research and Development Program of China (2012AA10A409); National Natural Science Foundation of China (41476124); Natural Science Foundation of Zhejiang Province, China (LY17C190005); Ningbo Science and Technology Project (2016C10037); Open Fund of Zhejiang Provincial Top Key Discipline of Aquaculture in Ningbo University (xkzsc1505)