

文章编号: 1000-0615(2018)11-1848-07

DOI: 10.11964/jfc.20170910971

3种对虾的图像测量技术与人工测量方法的比较分析

金焯楠¹, 龚瑞², 刘向荣², 曾湘祥², 毛勇^{1*}

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361102;

2. 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 对虾形态参数测量传统上使用游标卡尺, 但误差较大。为提高对虾形态测量的智能化水平, 实验录用图像测量技术测量凡纳滨对虾、日本囊对虾和刀额新对虾3个品种的体长、头胸甲长和头胸甲宽, 所得结果与游标卡尺测量值比较。实验共测量对虾421尾, 获得数据15 156个。基于Bland-Altman作图法和组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)开展2种测量方法的一致性评价和重复性评价。结果发现, (1)图像测量技术与游标卡尺测量结果的差值95%以上落在LoA范围内, 且LOA CI在专业意义上可接受, 说明二者一致性好; (2)图像测量技术对每尾对虾同一角度的识别结果一致; 识别3个角度的ICC分别为0.996、0.973、0.957, 与1名测量者用游标卡尺3次测量的ICC(ICC=0.997、0.980、0.965)无显著差异, 但高于3名测量者(ICC=0.991、0.952、0.947), 说明图像测量技术同一角度的重复性最佳; (3)图像测量技术识别同一角度的结果最接近假定真值, 变异程度最小, 相对误差分别为1.52%、2.37%、3.74%。研究表明, 图像测量技术与游标卡尺一致性好, 且重复性优于后者, 具有非接触、测量快、适用范围广等特点, 可代替游标卡尺应用于对虾形态参数测量之中。

关键词: 对虾; 游标卡尺; 形态测量; 视觉技术; 图像测量

中图分类号: S 951.2

文献标志码: A

对虾形态参数测量通常包括体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节宽、第一腹节高、第三腹节宽、第三腹节高、第六腹节宽、第六腹节长、尾节长等^[1-2](图1)。其中, 前3种参数使用率最高, 能基本反映对虾体质量和体型特征, 是育种研究中非常重要的生长性状测量指标^[3-4], 因此测量结果的准确性、可重复性是对虾研究的重要前提。

游标卡尺属于传统直接测量, 存在4个不足: (1)测量时多次抓捏, 导致对虾严重应激; (2)每尾对虾测量3种参数, 效率低; (3)结果受测量者主观影响较大; (4)需人工记录测量结果。为更准确高效地获取体长、头胸甲长和头胸甲宽数据, 提升对虾测量智能化水平, 发明一种

可自动、快速、非接触、精确测量的新方法或新工具显得尤为重要。

本课题组与厦门大学信息科学与技术学院合作, 首次发明了基于机器视觉技术的图像测量技术, 分为3个步骤: 图像采集、图像处理和分析、结果输出或显示。计算机能自动识别对虾特征点(眼柄基部、头胸甲后缘、尾尖), 把图像当检测和传递载体加以利用, 根据所设标尺自动获取体长、头胸甲长及头胸甲宽原始数据, 然后根据对虾体型的对称性进行旋转和数据校正, 最终实现数据自动精准记录。这是一种间接的测量方法。

本实验将对图像测量技术与游标卡尺所测数据进行比较, 评价2种方法所得结果的一致性

收稿日期: 2017-09-14 修回日期: 2018-03-02

资助项目: 国家虾产业技术体系专项(CARS-48); 福建省科技厅重大专项(NO:2016NZ0001-4); 厦门海洋经济创新发展示范项目(16CZY009SF05); 厦门大学校长基金(20720170054)

通信作者: 毛勇, E-mail: maoyong@xmu.edu.cn

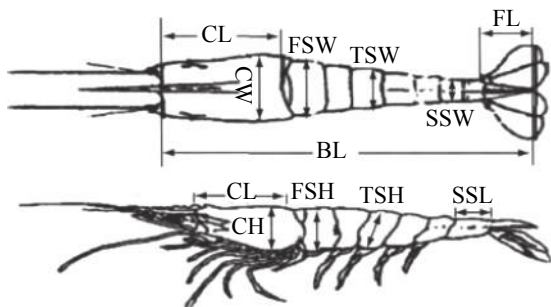


图1 对虾形态参数测定示意图^[5]

BL. 体长; CL. 头胸甲长; CW. 头胸甲宽; CH. 头胸甲高; FSW. 第一腹节宽; FSH. 第一腹节高; TSW. 第三腹节宽; TSH. 第三腹节高; SSW. 第六腹节宽; SSL. 第六腹节长; FL. 尾节长

Fig. 1 Sketch of measurement part of morphometric attributes^[5]

BL. body length; CL. carapace length; CW. carapace width; CH. carapace height; FSW. first segment width; FSH. first segment height; TSW. third segment width; TSH. third segment height; SSW. sixth segment width; SSL. sixth segment length; FL. tail-fan length

和重复性, 分析图像测量各个环节可能存在的误差, 从而探究图像测量技术的可行性和优势, 为开发一种新的测量方法或工具获得理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验用凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)、日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)和刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*)3个品种共计421尾采购于福建省厦门市第八市场, 其中凡纳滨对虾155尾, 日本囊对虾128尾, 刀额新对虾138尾, 体质量范围为1.52~25.32 g。

1.2 仪器和用具

电子数显游标卡尺(测量范围200 mm; 分辨率0.01 mm)、塑封的白色背景纸(含99.26×9.91 mm的绿色长方形标尺)、发光板、佳能G11数码相机、QH-C081翻拍架、自主发明的图像测量技术。

1.3 测量方法

游标卡尺法 使用电子数显游标卡尺测量对虾3种形态参数(体长、头胸甲长和头胸甲宽), 并依次录入Excel文档。

图像测量技术 固定拍摄装置(图2), 打开发光板(底部打光), 将鲜活的对虾放入经低温预处理的海水中(16~18 °C), 待对虾安静后, 取一尾用滤纸去除多余水分, 正立置于背景纸上完



图2 拍摄装置效果图

Fig. 2 Sketch of the filming equipment

成图像拍摄(勿与标尺重叠), 然后使用首次发明的图像测量技术测量3种形态参数, 输出至Excel文档。

1.4 实验方案

实验分组 为验证图像测量技术应用的广泛性及其在重复测量中的优势, 实验按测量方法和重复方式将数据分为4组, 每组包括3列平行数据:

图像1组: 1个角度拍摄3次;

图像2组: 3个角度各拍摄1次;

卡尺1组: 1名测量者用游标卡尺重复测量3次;

卡尺2组: 3名测量者用游标卡尺各测量1次。

一致性评价

Bland-Altman分析作为国际上广泛认可且活跃应用的评价方法之一, 可从集中趋势、离散趋势和同步变化程度3个方面进行一致性评价^[6-10]。本实验利用MedCalc软件对不同分组数据进行Bland-Altman作图, 再根据差值的均数 \bar{d} 、标准差SD、标准误SE计算一致性区间(LoA)为 $\bar{d} \pm 1.96SD$, 观察是否95%的点都分布在LoA内^[8]。考虑到抽样误差, 本实验还计算LoA的95%可信区间(LoA CI)^[11-12]来科学地进行一致性评价: 根据样本量对应的 t 值, 可求得LoA CI上限为 $(\bar{d} + 1.96SD) + t \times 1.71 \times SE$, 下限为 $(\bar{d} - 1.96SD) - t \times 1.71 \times SE$, 若在专业意义上可

接受, 则说明二者一致性较好。

重复性研究 ①ICC。对于定量指标, 不同受试者内和不同经验操作者间的重复性比较通常结合ICC进行评价^[13-17], 基于方差分析结果计算ICC值^[18-20]:

$$ICC = \frac{MS_{\text{受试者间}} - MS_{\text{误差}}}{MS_{\text{受试者间}} + (k-1)MS_{\text{误差}} + \frac{k(MS_{\text{观察者}} - MS_{\text{误差}})}{n}}$$

ICC值范围为0~1, 值越大说明重复性越好。本实验利用SPSS 18.0计算ICC值及其95%置信区间(95%CI), 从而开展不同分组的重复性研究。

②相对误差。根据实验方案, 每尾对虾测得3种形态参数各12个。现假定12个数据的平均值为真值, 计算各数据的相对误差 $\left[\text{相对误差}(\%) = \frac{\text{测量值} - \text{真值}}{\text{真值}} \times 100 \right]$, 再统计各分组的平均相对误差, 用SPSS 18.0进行差异显著性检验。

③变异系数。计算各分组内每尾对虾3种形态参数的变异系数 $\left[\text{变异系数}(\%) = \frac{\text{标准差}}{\text{真值}} \times 100 \right]$, 再统计各分组的平均变异系数, 用SPSS 18.0进行差异显著性检验。

2 结果

2.1 一致性评价

计算各分组内每尾对虾3种形态参数的平均值并作Bland-Altman图, 图像1组、图像2组分别与卡尺1组和卡尺2组比较。现以图像1组与卡尺1组体长的Bland-Altman图(图3)为例进行分析。

结果显示, 有19个点落在LoA外, 约占总样本数的4.51%, 相关系数为0.99($P < 0.05$), $\bar{d} = -2.54$ mm, $SD = 1.25$ mm, $SE = 0.06$ mm, 样本量421对应 $t = 1.648$, 可求得LoA为(-4.98, -0.09) mm, LoA CI为(-5.15, 0.08) mm, 在专业意义上可接受, 说明图像1组与卡尺1组体长数据的一致性较好。同理可得其余11个比较组的结果(表1)。

12个比较组落在LoA范围外的点占比均低于5%, 且LoA CI在专业意义上均可接受, 说明图像测量和游标卡尺所得结果一致性较好。

2.2 重复性研究

组内相关系数 使用SPSS 18.0计算各分组3次测量值的ICC及其95%CI(表2)。

对于体长和头胸甲长, 图像1组的ICC最高, 卡尺2组最低, 且与其他分组的置信区间无重

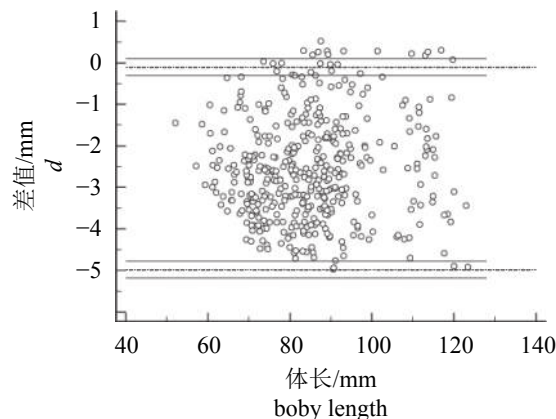


图3 图像1组和卡尺1组的体长Bland-Altman图
虚线为LoA上下限, 两侧的实线为LoA CI

Fig. 3 Bland-Altman figure of length of Image 1 and Caliper 1

The dotted line is the upper and lower limit of LoA, the solid lines on both sides are LoA CI

叠, 说明图像1组的重复性最佳, 卡尺2组相对较差; 图像2组和卡尺1组置信区间有重叠, 即二者重复性无显著差异, 介于图像1组和卡尺2组之间。

对于头胸甲宽而言, 图像1组ICC最高, 且与其他分组的置信区间无重叠, 说明图像1组重复性最佳; 卡尺1组与卡尺2组置信区间无重叠, 且前者ICC高于后者, 说明卡尺1组的重复性略优于卡尺2组, 而图像2组与二者置信区间均有重叠, 即无显著差异。

相对误差和变异系数 使用Excel 2016计算并统计各分组的相对误差和变异系数, 用SPSS 18.0进行差异显著性检验(表3)。

差异显著性检验结果Sig均小于0.05, 说明差异显著, 可进行优劣比较。

相对误差: 图像1组 < 图像2组 < 卡尺1组 < 卡尺2组;

变异系数: 图像1组 < 卡尺1组 < 图像2组 < 卡尺2组。

综上所述, 图像1组重复性最佳, 最接近假定真值, 且变异程度最小, 即结果更稳定、更真实。因此, 在对虾图像采集时最好统一对虾与标尺间的角度。

3 讨论

3.1 图像测量的技术优势

游标卡尺法在测量时需人工定位特征点, 但受主观影响较大, 且3个参数需逐步测量, 速

表 1 一致性评价的各参数计算结果

Tab. 1 The results of parameters for consistency evaluation

参数 Parameter	卡尺1组 caliper 1				卡尺2组 caliper 2			
	体长 BL	头胸甲长 CL	头胸甲宽 CW	体长 BL	头胸甲长 CL	头胸甲宽 CW		
图像1组 Image 1	个数 number	19	17	17	21	20	15	
	百分比 PCT	4.51%	4.04%	4.04%	4.99%	4.75%	3.56%	
	相关系数 r	0.99	0.96	0.92	0.99	0.97	0.91	
	差值的均数/mm \bar{d}	-2.54	-0.80	0.62	-2.40	-0.72	0.55	
	标准差/mm SD	1.25	1.08	0.68	1.43	0.97	0.76	
	标准误/mm SE	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.04	
	LoA CI/mm	(-5.15, 0.08)	(-3.05, 1.46)	(-0.81, 2.05)	(-5.39, 0.59)	(-2.76, 1.32)	(-1.05, 2.15)	
图像2组 Image 2	个数 number	21	20	19	21	19	18	
	百分比 PCT	4.99%	4.75%	4.51%	4.99%	4.51%	4.28%	
	相关系数 r	0.99	0.96	0.94	0.99	0.97	0.93	
	差值的均数/mm \bar{d}	-2.60	-0.88	0.61	-2.46	-0.81	0.54	
	标准差/mm SD	1.24	1.09	0.60	1.43	0.88	0.68	
	标准误/mm SE	0.06	0.05	0.03	0.07	0.04	0.03	
	LoA CI/mm	(-5.19, 0.00)	(-3.17, 1.40)	(-0.65, 1.88)	(-5.47, 0.55)	(-2.66, 1.04)	(-0.88, 1.96)	

表 2 组内相关系数及其95%置信区间

Tab. 2 Intraclass correlation coefficient and its 95% confidence interval

参数 Parameter	体长 BL	头胸甲长 CL	头胸甲宽 CW
图像1组 Image 1	ICC	1	1
	95%置信区间 CI	(1, 1)	(1, 1)
图像2组 Image 2	ICC	0.996	0.973
	95%置信区间 CI	(0.996, 0.997)	(0.969, 0.977)
卡尺1组 Caliper 1	ICC	0.997	0.980
	95%置信区间 CI	(0.997, 0.998)	(0.976, 0.983)
卡尺2组 Caliper 2	ICC	0.991	0.952
	95%置信区间 CI	(0.990, 0.993)	(0.944, 0.959)

度较慢。人工测量还会多次抓捏对虾导致严重应激。另外人工记录结果也降低了整体效率。

图像测量技术采取非接触测量, 能最大程度减少对虾应激, 且能快速准确定位特征点, 测量结果稳定性好、准确度高, 用于代替游标卡尺具有一定的可行性。此外, 图像测量技术可直接输出数据, 大大减少了工作量。本实验的实验数据为图像测量技术运用到实践生产中提供了理论依据。

3.2 图像测量的误差分析与技术要点

机器误差分析 机器误差取决于相机品质, 主要包括机械误差和电学误差, 但二者相对拍摄误差对测量精度的影响要小得多, 可不予考虑。

拍摄误差分析 拍摄误差是图像测量技术中的主要误差。拍摄时若角度不佳, 会因畸变引起较大误差。因此拍摄前需检查相机与拍摄架的水平以及视野效果。拍摄对象是影响图

表3 误差分析结果

Tab. 3 The results of error analysis

	相对误差/% RE			变异系数/% CV		
	体长	头胸甲长	头胸甲宽	体长	头胸甲长	头胸甲宽
	BL	CL	CW	BL	CL	CW
图像1组 Image 1	1.52	2.37	3.74	0.00	0.00	0.00
图像2组 Image 1	1.68	3.06	3.86	0.87	2.44	2.57
卡尺1组 Caliper 1	1.68	3.26	3.92	0.74	2.04	2.49
卡尺2组 Caliper 2	1.79	3.36	4.44	1.39	3.51	3.46
Sig	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00

像测量精度的另一个重要因素, 主要包括: 对虾是否完整、对虾体色是否过深或过浅、对虾姿势是否正立, 尾尖是否露出。为尽可能降低拍摄对象导致的误差, 拍摄时需统一对虾放置标准: 正立, 尾尖露出, 不与标尺重叠。

虽然图像测量技术存在一定的误差和拍摄要求, 但通过本次比对实验的结果可见, 图像测量技术具有非接触、测量快、适用广泛、重复性好等优势, 可为对虾规格检测提供更好的选择。若后期改进该技术, 能直接识别水中动态对虾并准确计算形态参数, 那么该技术在水产动物育种中将具极高的实用价值。

感谢厦门大学信息科学与技术学院的刘向荣教授和曾湘祥副教授在发明图像测量技术过程中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 858-862.
Liu X L, Wu C G, Zhang Z H, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 858-862(in Chinese).
- [2] 杨长明, 何铜, 刘小林, 等. 凡纳对虾形态性状对体质量的逐步回归分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 15-20.
Yang C M, He T, Liu X L, *et al.* Stepwise regression analysis of morphometric attributes on body weight of *Penaeus vannamei*[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2011, 20(2): 15-20(in Chinese).
- [3] 何玉英, 王清印, 谭乐义, 等. 中国对虾生长性状的遗传力和遗传相关估计[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10499-10502.
He Y Y, Wang Q Y, Tan L Y, *et al.* Estimates of heritability and genetic correlations for growth traits in Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(17): 10499-10502(in Chinese).
- [4] 徐如卫, 钱昭英, 刘小林, 等. 凡纳滨对虾生长性状遗传参数的估计[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 672-678.
Xu R W, Qian Z Y, Liu X L, *et al.* Genetic parameter estimation for growth traits of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 672-678(in Chinese).
- [5] 蔡晓鹏, 游欣欣, 曾凡荣, 等. 中国沿海日本囊对虾5个地理群体间形态差异比较分析[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 478-486.
Cai X P, You X X, Zeng F R, *et al.* Analysis on morphological variations among five populations of *Marsupenaeus japonicus* from coastal areas of China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 478-486(in Chinese).
- [6] 闻浩, 陆梦洁. 定量测量Bland-Altman一致性评价方法研究及临床应用[J]. 医学研究生学报, 2015, 28(10): 1107-1111.
Wen H, Lu M J. Consistency evaluation for quantitative measurements by Bland-Altman method and its clinical application[J]. Journal of Medical Postgraduates, 2015, 28(10): 1107-1111(in Chinese).
- [7] 薛建, 刘桂芬. 定量测量结果的一致性评价及Bland-Altman法的应用[J]. 中国卫生统计, 2011, 28(4): 409-411, 413.
Sa J, Liu G F. Assessing the agreement of quantitative measurement data and the application of Bland-Altman method[J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2011, 28(4): 409-411, 413(in Chinese).
- [8] Altman D G, Bland J M. Measurement in medicine: The analysis of method comparison studies[J]. The Statistician, 1983, 32(3): 307-317.
- [9] Bland J M, Altman D G. Applying the right statistics: Analyses of measurement studies[J]. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology, 2003, 22(1): 85-93.
- [10] Bland J M, Altman D G. Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual[J]. Journal of Biopharmaceutical Statistics,

- 2007, 17(4): 571-582.
- [11] Hamilton C, Stamey J. Using Bland-Altman to assess agreement between two medical devices-don't forget the confidence intervals![J]. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 2007, 21(6): 331-333.
- [12] Hamilton C, Lewis S. The importance of using the correct bounds on the Bland-Altman limits of agreement when multiple measurements are recorded per patient[J]. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 2010, 24(3): 173-175.
- [13] 左君丽, 葛茜, 初少莉, 等. 3种无创性动脉功能测量在健康人中的重复性[J]. *中华高血压杂志*, 2009, 17(2): 133-136.
- Zuo J L, Ge Q, Chu S L, *et al.* Reproducibility of non-invasive arterial stiffness measurements in healthy adults[J]. *Chinese Journal of Hypertension*, 2009, 17(2): 133-136(in Chinese).
- [14] 李佳录, 嵇辉, 陈星佐, 等. 定量CT测量膝关节骨密度的重复性研究[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2012, 18(11): 988-991.
- Li J L, Ji H, Chen X Z, *et al.* The reproducibility of knee bone mineral density (BMD) measured by quantitative CT[J]. *Chinese Journal of Osteoporosis*, 2012, 18(11): 988-991(in Chinese).
- [15] Kovačić J, Varnai V M. Intraclass correlation coefficient for grouped data[J]. *Epidemiology*, 2014, 25(5): 769-770.
- [16] 王涛, 周理乾, 孙孟锟, 等. 6种颈椎曲度测量方法的可信度及可重复性比较[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(4): 323-327.
- Wang T, Zhou L Q, Sun M K, *et al.* Comparison of reliabilities and repetitiveness of six standard methods for assessing the sagittal alignment of the cervical spine[J]. *Chinese Journal of Spinal and Spinal Cord*, 2015, 25(4): 323-327(in Chinese).
- [17] 陈光榆, 潘勤, 沈峰, 等. Fibroscan检测肝脏受控衰减参数的重复性研究[J]. *肝脏*, 2015, 20(11): 855-857.
- Chen G Y, Pan Q, Shen F, *et al.* Reproducibility study of Fibroscan for liver controlled attenuator parameters measurement[J]. *Chinese Hepatology*, 2015, 20(11): 855-857.
- [18] 余红梅, 罗艳红, 萨建, 等. 组内相关系数及其软件实现[J]. *中国卫生统计*, 2011, 28(5): 497-500.
- Yu H M, Luo Y H, Sa J, *et al.* Intraclass correlation coefficient and software procedures[J]. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2011, 28(5): 497-500(in Chinese).
- [19] 潘晓平, 倪宗瓚. 组内相关系数在信度评价中的应用[J]. *华西医科大学学报*, 1999, 30(1): 62-63.
- Pan X P, Ni Z P. Application of intraclass correlation coefficient to reliability assessment[J]. *Journal of West China University of Medical Sciences*, 1999, 30(1): 62-63(in Chinese).
- [20] Bartko J J. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability[J]. *Psychological Reports*, 1966, 19(1): 3-11.

Comparative analysis of image measurement technology and artificial measurement method based on three kinds of prawns

JIN Yenan¹, GONG Rui², LIU Xiangrong², ZENG Xiangxiang², MAO Yong^{1*}

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China;

2. School of Information Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The measurement of prawns' morphological parameters was traditionally to use vernier caliper, but the error was great. In order to improve the intelligent level of prawns measurement, this paper first invented image measurement technique based on computer vision technology. Using this technique, we measured body length(BL), carapace length(CL) and carapace width(CW) of *Marsupenaeus japonicus*, *Litopenaeus vannamei* and *Metapenaeus ensis*, then compared these results with those from vernier calipers. We measured 421 prawns and obtained 15 156 data. Based on Bland-Altman mapping method and Intraclass Correlation Coefficient (ICC) to judge the consistency and repeatability. It turned out that: (1) More than 95% of the D-value between image measurement technique and vernier caliper method fell within the scope of LoA, and LoA CI was acceptable in professional sense, which showed that the consistency of the two methods was good. (2) For one individual, the results of identifying one angle by using image measurement technique were the same. The ICC of identifying three different angles were 0.996, 0.973, 0.957, which had no significant difference compared with that of 3 times measurements using vernier caliper by one person (ICC=0.997, 0.980, 0.965), but larger than three different persons (ICC=0.991, 0.952, 0.947). The result indicated that the repeatability of image measurement technique was related to shooting angle, and the same angle was the best. (3) The results of identifying one angle using image measurement technique were the closest to assumed truth value. Meanwhile, the degree of variation was minimal, the relative error was 1.52%, 2.37% and 3.74% respectively. In short, the consistency of image measurement technique and vernier caliper method was good, and the repeatability of the former was superior to the latter, with advantages in non-contact, fast measurement and wide application. Therefore, we could replace vernier caliper with image measurement technique to be applied in prawns morphological parameters measurement.

Key words: vision technology; prawns; morphological parameters; image measurement; vernier caliper

Corresponding author: MAO Yong. E-mail: maoyong@xmu.edu.cn.

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-48); Fujian Provincial Department of Science and Technology (2016NZ0001-4); Marine Economy Innovation and Development Project of Xiamen (16CZY009SF05); President Fund of Xiamen University (20720170054)