

检出虾肝肠胞虫(*Enterocytozoon hepatopenaei*) 的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 群体的体长和体重关系*

刘雅梅^{1,2} 邱 亮^{1,2} 程东远^{1,2}
张庆利^{1,2} 万晓媛¹ 黄 健^{1,2①}

(1. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 农业部海水养殖病害防治重点实验室 青岛市海水养殖流行病学与生物安保重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 对采自天津、浙江和山东等养殖场 5 个凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)群体的 442 尾个体进行虾肝肠胞虫(*Enterocytozoon hepatopenaei*, EHP)的 TaqMan 探针荧光定量 PCR 检测, 并测量各群体每尾对虾的生物学体长和体重。引入医学上的劳累尔(Rohrer)体重指数(Ponderal index, PI, W/L^3)关系建立对虾体重(W)和体长(L)关系函数。结果显示, 4 个凡纳滨对虾的 EHP 阳性群体[平均体长为(5.37±1.19) cm]的体重指数 PI 平均值为(5.19±0.26)×10⁻³ g/cm³, EHP 阴性群体的凡纳滨对虾群体[平均体长为(2.49±0.21) cm]为(7.96±0.51)×10⁻³ g/cm³, 根据 $PI = a \cdot L^{(b-3)}$ 的函数矫正 EHP 阴性和阳性群体的体长差异引起的 PI 差值后, 同等体长 EHP 阳性群体的 PI 值为阴性群体的(70.5±8.7)%, 表明同样大小的个体, EHP 阳性群体的平均体重比阴性群体平均体重低 30%; EHP 阳性群体中凡纳滨对虾体长和体重的变异系数是 EHP 阴性群体的(2.39±0.93)和(2.05±0.86)倍, 表现为对虾 EHP 阳性群体个体大小不均匀; EHP 阳性群体体重偏差率是 EHP 阴性群体的 2.34–3.45 倍, 体长相同时, EHP 阳性的体重波动变大。

关键词 凡纳滨对虾; 体长; 体重; 劳雷尔体重指数; 虾肝肠胞虫

中图分类号 S945 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)04-0096-08

近年来, 亚太地区养殖的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)中虾肝肠胞虫(*Enterocytozoon hepatopenaei*, EHP)感染广泛流行(Thitamadee *et al*, 2016), 这种微孢子虫于 2009 年最早在泰国发现, 在宿主肝胰腺小管上皮细胞的细胞质内繁殖(Tang *et al*, 2015)。我国最

早于 2013 年在养殖的凡纳滨对虾中检出了 EHP 的感染, 在采集的样品中有很高的阳性检出率(Huang *et al*, 2015), 其感染的对虾可以继续存活和摄食, 但引起对虾的生长缓慢甚至停滞, 导致了养殖产业的严重损失。

* 公益性行业科研专项经费项目(201103034)、现代农业产业技术体系(CARS-47)、山东省泰山学者建设工程专项经费和青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新项目(2015ASKJ02)共同资助[This work was supported by the Projects under the Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest (201103034), China Agriculture Research System (CARS-47), the Construction Programme for Taishan Scholars of Shandong Province of China, and the Scientific and Technological Innovation Project Financially Supported by Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology (2015ASKJ02)].
刘雅梅, E-mail: perfect_ym@163.com

① 通讯作者: 黄 健, 研究员, E-mail: huangjie@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2016-04-18, 收修改稿日期: 2016-05-27

人与动物生长特征的参数中, 体长(体高)是最直观的可量化形态学参数, 而体重直接与健康或生产效益相关, 因此, 体重和体长的关系是人们广泛关注的关系(孙成波等, 2011; 肖广侠等, 2014)。与人类健康相关的身高与体重关系常用到体质指数(Body mass index, BMI), 该指数是体重与身高平方的比值($BMI=W/L^2$), 常用来衡量人的胖瘦或用作健康指标(王平等, 2011)。但这一指标只能在正常身高的成年人中应用, 对于身高很矮或很高的人、未成年人以及婴幼儿就不能适用, 而适用性更广的指标是体重指数(Ponderal index, PI), 亦称为肥胖指数(Corpulence index, CI)或劳雷尔指数(Rohrer's index, RI), 这是体重与身高立方的比值($PI=W/L^3$) (宗心南等, 2011; Wikipedia, 2016)。由于人与动物都是三维均衡生长, 因此, 该值几乎能应用于所有体长(身高)的范围。分析表明, 在各种评价体重-身高与健康关系的模式中, PI 是最有效的指数(Babar *et al.*, 2010), 即使是跨物种的体型庞大的人与微小的对虾, PI 在数值上也有可比性。国内外学者对鱼类、对虾等水生动物的体重和体长关系研究(黄忠等, 2011; 邱小琮等, 2000; 宗心南等, 2011)表明, 所有水生动物乃至陆生动物的体重-体长关系均采用幂函数 $W=a \cdot L^b$ 自然回归法, 通过测量一定数量样本的体重和体长进行统计回归, 所得的参数 a 和 b 是没有量纲的实数, 其中, b 值多在 3 的上下波动, 通常不是整数, 因此, 研究者在解释 a 和 b 的生物学意义时常常遇到困难, Ricker(1977)认为, b 值可以判断鱼类是否处于等速生长, 即三维均衡生长, 这一揭示也适用于虾类(黄建华等, 2006)。长期以来, 未见用劳累尔体重指数作为水生动物生长特征的分析模型。

中国水产科学研究院黄海水产研究所养殖生物疾病控制与分子病理学研究室通过建立 EHP 的荧光定量 PCR 检测技术测定对虾肝胰腺中的 EHP 载量, 观察到在一些群体中 EHP 载量与对虾生长存在负相关性(刘珍等, 2016), 但另一些群体的相关性却又不显著(结果另文发表), 为了进一步了解养殖对虾中 EHP 检出与对虾生长特征的关系, 本研究对采自不同地区的 5

个凡纳滨对虾群体进行了 EHP 检测和体长、体重测量, 并引入医学上使用的体重指数 PI 函数, 来分析 EHP 阳性与对虾生长特征之间的关系。

1 材料与方法

1.1 材料来源

2015 年 7 月—2016 年 4 月在天津、浙江舟山和山东东营选取放养了单一批次凡纳滨对虾苗种的 5 个群体进行采样, 各群体采样数量在 20–143 尾不等。将样品保存于 3 倍体积 95% 乙醇, 带回实验室进行测量(表 1)。

1.2 体长和体重测量

将各群体的样品从 95% 乙醇中取出, 用吸水纸吸掉表面液体, 进行体长和体重的测量。凡纳滨对虾体长测量标准为眼柄基部至尾节末端的生物学体长, 精确到 0.1 cm, 对虾体重精确到 0.01 g。

1.3 样品 TaqMan qPCR 检测

取 95% 乙醇中保存的对虾肝胰腺组织, 经无菌水涮洗去除乙醇, 切取约 30 mg, 利用海洋动物组织基因组 DNA 提取试剂盒(天根生化科技有限公司, 北京)提取样品肝胰腺总 DNA (HpDNA), 用核酸分析仪(Nanodrop 2000c, Thermo)测定样品 HpDNA 浓度后取 10 μ l, 稀释至 50 ng/ μ l, -20°C 保存。对每份样品进行 TaqMan qPCR-EHP 的检测, 根据 GenBank 上公布的虾肝肠胞虫 SSU rDNA 序列(GenBank: KF362129), 利用 Beacon Designer 2 设计一对特异性引物 F168 (5'-AGT AAA CTA TGC CGA CAA-3')、R168 (5'-GCG TTG AGT TAA ATT AAG C-3')和探针(5'-FAM-TCC TGG TAG TGT CCT TCC GT-TAMRA-3') 预计扩增目的片段大小为 168 bp。常规 PCR 扩增体系为 25 μ l, 包含 12.5 μ l 2 \times PCR Mix(TaKaRa, 大连)、F168 (10 μ mol/L)和 R168 (10 μ mol/L)各 0.5 μ l。反应程序为 94°C 预变性 5 min, 94°C 20 s、 54°C 30 s 和 72°C 30 s 共 30 个循环, 72°C 延伸 10 min, 4°C 保存。

1.4 体重-体长关系分析

体重(W , g)和体长(L , cm)之间的关系采用回归分

表 1 采集的凡纳滨对虾群体样品信息
Tab.1 Information of collected samples from five *L. vannamei* populations

群体 Populations	样品编号 Sample code	采样地 Sampling location	数量 Number of individuals
P1	20150710201–20150710220	天津 Tianjing	20
P2	20150811001–20150811143	天津 Tianjing	143
P3	20150811201–20150811320	天津 Tianjing	120
P4	20150920101–20150920200	舟山 Zhoushan	100
P5	20160408001–20160408059	东营 Dongying	59

析方法,先利用 Microsoft Excel 的幂函数($W=a \cdot L^b$)进行回归分析,确定各群体幂函数的 b 值均接近 3,符合劳累尔 PI 的函数关系,因此,将回归关系式简化为: $W=PI \cdot L^3$,在此基础上求出各群体 PI 值。

1.5 体重和体长变异系数分析

统计各群体体重和体长的平均值(Mean, M)和标准差(Standard error, SE),变异系数(CV)即为标准差对平均值的百分比($SE/M \times 100\%$)。

1.6 体重偏离估测值分析

根据 1.4 中所得的体重和体长的关系式: $W=PI \cdot L^3$,用每个样本的体长数据计算出体重估测值(W_e),将实际体重(W)与对应样本的估测值相比较,得出二者偏差率(Deviation ratio, Dr),即:

$$Dr=(W-W_e)/W_e \times 100\%$$

统计偏差率的平均值和标准差(Mean \pm SE),用标准差比较各群体的体重与估测值的偏离程度。

2 结果

2.1 各群体的 EHP 检测结果

经 TaqMan qPCR-EHP 反应程序为 95℃ 30 s 后,95℃ 5 s 和 60℃ 30 s,40 个循环。检测结果显示,群体 P1、P2、P3 感染率均为 100%,群体 P4 感染率为 98%,EHP 在肝胰腺中的载量(copies/ng HpDNA)的对数分别为(1.84 \pm 1.50)、(2.23 \pm 0.69)、(2.26 \pm 0.65)和(2.50 \pm 0.54),群体 P5 无 EHP 感染(表 2)。

表 2 各群体虾肝肠胞虫检出情况
Tab.2 Detection of *E. hepatopenaei* in five *L. vannamei* populations

项目 Items	群体 Populations				
	P1	P2	P3	P4	P5
EHP 平均载量 Average load of EHP (copies/ng HpDNA)	10 ^{1.84\pm1.50}	10 ^{2.23\pm0.69}	10 ^{2.26\pm0.65}	10 ^{2.50\pm0.54}	0
阳性率 Positive(%)	100	100	100	98	0

表 3 5 个凡纳滨对虾群体的体重和体长统计数据

Tab.3 Descriptive data of body weight and length of *L. vannamei*

群体 Populations	个体数量 Number of individuals	体长 Body length (cm)		体重 Weight (g)	
		范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean
P1	20	4.00–8.00	5.74 \pm 1.17	0.39–2.99	1.170 \pm 0.700
P2	143	3.00–6.20	5.08 \pm 0.68	1.43–0.16	0.779 \pm 0.276
P3	120	3.40–7.00	5.21 \pm 0.80	1.59–0.19	0.774 \pm 0.344
P4	200	3.50–9.50	5.90 \pm 1.82	4.31–0.21	1.330 \pm 1.200
P5	59	2.20–3.00	2.49 \pm 0.21	0.08–0.22	0.125 \pm 0.035

2.2 体长和体重测量

对所采集的凡纳滨对虾 5 个群体的体重和体长测量数据进行统计,得到每尾对虾体长和体重的范围及其平均值,结果见表 3。

2.3 体长和体重的关系

将 2.1 中 4 组凡纳滨对虾样品,每尾对虾的体长和体重数据绘出散点图,经 SigmaPlot 11 回归分析得出每组样品体长和体重的关系式见图 1。从图 1 可以看出,

$$P1: W = (5.49 \pm 1.95) \times 10^{-3} \cdot L^3 (R^2 = 0.9515, n=20);$$

$$P2: W = (5.63 \pm 0.88) \times 10^{-3} \cdot L^3 (R^2 = 0.9068, n=143);$$

$$P3: W = (5.12 \pm 0.82) \times 10^{-3} \cdot L^3 (R^2 = 0.9244, n=120);$$

$$P4: W = (5.07 \pm 0.71) \times 10^{-3} \cdot L^3 (R^2 = 0.9803, n=100);$$

$$P5: W = (7.96 \pm 0.51) \times 10^{-3} \cdot L^3 (R^2 = 0.9719, n=59)$$

SigmaPlot 同时给出了各群体回归统计学分析的 t 检验和 P 值。群体 P1 中 $t_{0.05}=2.086 < t = 2.812 < t_{0.01}=2.845, 0.01 < P=0.0115 < 0.05$,体长和体重的关系显著,表明函数 $W = (5.49 \pm 1.95) \times 10^{-3} \cdot L^3$ 成立;P2 中 $t = 6.377 > t_{0.01}=2.611, P < 0.0001$,体长和体重关系极显著,表明函数 $W = (5.63 \pm 0.88) \times 10^{-3} \cdot L^3$ 成立;P3 中 $t = 6.227 > t_{0.01}=2.617, P < 0.0001$ 体长和体重关系极显著,表明函数 $W = (5.12 \pm 0.82) \times 10^{-3} \cdot L^3$ 成立;P4 中 $t = 7.155 > t_{0.01}=2.626, P < 0.0001$,体长和体重关系极显著,表明函数 $W = (5.07 \pm 0.71) \times 10^{-3} \cdot L^3$ 成立;P5 中 $t = 15.710 > t_{0.01}=2.662, P < 0.0001$,体长和体重回归关系极显著,说明函数 $W = (7.96 \pm 0.51) \times 10^{-3} \cdot L^3$ 成立。

上述回归函数可以得出各群体的 PI (图 2),EHP 阳性群体的 PI 分布于 $(5.07 \pm 0.71) \times 10^{-3}$ – $(5.63 \pm 0.88) \times 10^{-3}$ g/cm³ 范围,不同群体间没有显著差异,因此,可以合并计算,平均值为 $(5.19 \pm 0.26) \times 10^{-3}$ g/cm³ (图 2),而 EHP 阴性群体的 PI 为 $(7.96 \pm 0.51) \times 10^{-3}$ g/cm³,EHP 阳性群体与 EHP 阴性群体在 PI 上相差显著,EHP 阳性群体的 PI 为 EHP 阴性群体的 (65.2 \pm 5.3)%。在平均值中,各 EHP 阳性群体的 PI 与 EHP 载量的拷贝数平均值呈轻微的负相关(相关系数 $R = -0.6754$),但统计上没有显著性差异。

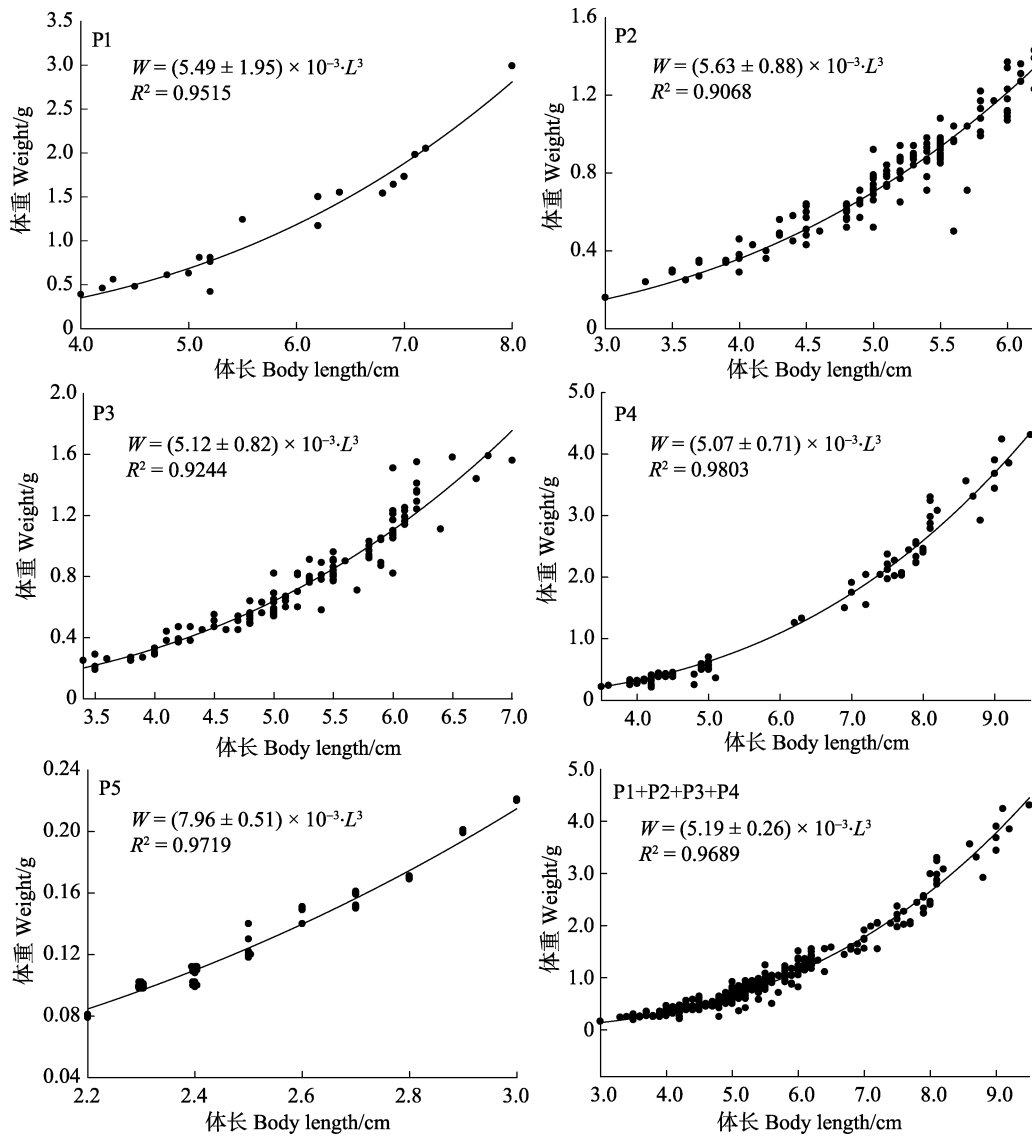


图 1 凡纳滨对虾各群体样品体重和体长的回归曲线

Fig.1 Regression curves of relationship between body weight and length of five populations of *L. vannamei*

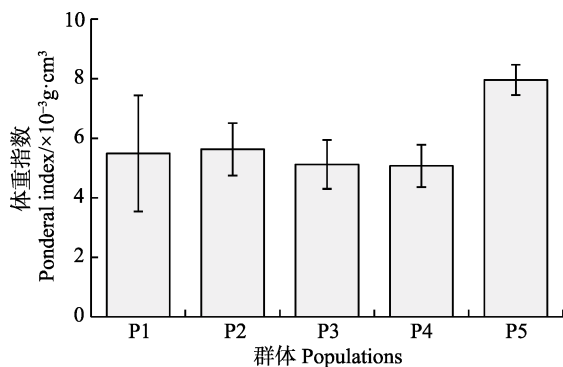


图 2 不同凡纳滨对虾群体的体重指数(体重/体长³)

Fig.2 The ponderal index (PI, W/L^3) of different population of *L. vannamei*

2.4 群体间体重偏离估测值分析

根据各群体体重和体长的关系式 $W=PI \cdot L^3$, 计算

每个样本体重值的估测值, 将实际体重值与对应样本的估测值相比较, 得出二者偏差率, 偏差率的平均值和标准差见表 4, 从标准差可看出各群体的体重与估测偏离程度, EHP 为阳性的 4 个群体的体重实际值与估测值偏差率平均值的标准差在 11.33%–16.72%, 是 EHP 阴性群体 P5 的 2.34–3.45 倍, 且表现出显著差异 ($P < 0.05$)。这表明感染了 EHP 的凡纳滨对虾个体的体重与体长间的关系会发生较大的偏离。

2.5 群体间变异系数的比较

对各群体体长和体重的变异系数进行统计, 结果见表 5。从表 5 可以看出, EHP 阴性的群体 P5 体长变异系数为 8.39%, 体重的变异系数为 28.0%, 小于 EHP 阳性的对虾群体 P1–P4 的 13.5%–31.0% 和 35.4%–90.3%, 后者是前者的 (2.39 ± 0.93) 和 (2.05 ± 0.86)

倍。这表明与 EHP 阴性的凡纳滨对虾群体相比, 感染了 EHP 的凡纳滨对虾群体的体长和体重的离散性变大, 形态学表现为个体大小不均匀。

表 4 凡纳滨对虾 5 个群体实际体重与依据体长估测的体重的偏差率

Tab.4 Deviation of the actual weight to estimated weight based on body length of *L.vannamei* in five populations

群体 Populations	平均估测体重 Average estimated weight (g)	实际体重与估测体重的偏差率均值 Average deviation rate of actual weight to estimated weight (%)
P1	1.160±0.690	1.790±16.720 ^a
P2	0.775±0.277	1.760±11.330 ^b
P3	0.775±0.329	0.140±11.420 ^b
P4	1.350±1.160	-5.340±12.350 ^b
P5	0.125±0.033	-0.460±4.840 ^c

表 5 5 个群体的凡纳滨对虾体长和体重的变异系数

Tab.5 The variable coefficient of body length and weight of the individuals in 5 populations of *L.vannamei*

群体 Populations	体长变异系数 CV of body length (%)	体重变异系数 CV of body weight (%)
P1	20.3	59.8
P2	13.5	35.4
P3	15.4	44.4
P4	31.0	90.3
P5	8.39	28.0

3 讨论

对虾体重-体长关系已有相关研究报道, 所有研究者均采用了幂函数 $W=a \cdot L^b$ 对数据进行自然回归, 并得出相应的 a 和 b 的关系(李卓佳等, 2005; 栾生等, 2013)。幂函数的指数 b 在 2.6429-3.2895 之间变动, 函数系数 a 在 4.490×10^{-3} - 28.861×10^{-3} 范围变动。但因为 a 和 b 两个参数相互影响, 从二者的数值很难直观比较不同对虾的生长特征, 而且由于样本的随机性, 在不同的采样测量中, 较为离散的样本可能导致回归所得的 a 和 b 值发生较大的差异, 而且 b 值的微小变化就会使得 a 值发生显著的跃迁, 这使得实验数据反映出来的对虾体重-体长关系的规律变得难以捉摸(李星颖等, 1983; 刘瑞玉等, 1989)。对所报道的 36 份 b 和 a 值的统计, b 的平均值为 3.0081 ± 0.1206 , a 的平均值为 $(11.543 \pm 5.877) \times 10^{-3}$ (表 6)。同样的种类中, 报道的 a 和 b 值常常难以相互比较。各研究数据的 b 值围绕 3 上下波动, 说明对虾体重与体长的关系函数总体来说符合 PI 规律, 因此, 本研究建议直接应用医

学上描述人体的体重指数的概念, 将函数关系简化为: $W=PI \cdot L^3$ 。这样人们在评估对虾生长属性时, 不同生长效应的对虾就只需要比较 1 个参数 PI 即能很直观地表明其特征(查广才等, 2006; 谢仁政等, 2007)。在数学上, 引入体重指数 PI 后, 原始的幂函数:

$$W=a \cdot L^b$$

可以转换为体重指数的关系:

$$W=PI \cdot L^3, \text{ 或 } PI=W/L^3$$

式中, W 为体重; L 为体长; 体重指数 $PI=a \cdot L^{b'}$; $b'=b-3$

转换后的函数关系中每个量均有了明确的量纲和生物学意义, PI 是体重与体长立方的比值, 代表对虾个体即刻的生物学特征, 直观上等于个体体积(V)所占据的以体长为边长的正方体体积(L^3)的比率与身体平均密度(ρ)的乘积($\rho \cdot V/L^3$), 水生动物身体的平均密度具有一定的特征值, 种类、生活期、营养条件以及健康状况会对 V/L^3 有较为显著的影响, 决定了 PI 的特征值。生活期改变水生动物体型而影响 V/L^3 值, 因而, 体长 L 与 PI 有一定的动态关系, 可以用 b' 对这种动态关系进行评判, $b'=0$ 表示完全均衡生长, $b'<0$, 表示生长倾向于细长型变化, $b'>0$ 则表示生长倾向于粗壮型变化。

对上述报道的 36 份 a 和 b 值的函数关系转换后, 根据不同体长, 得出 PI 值在 5×10^{-3} - 20×10^{-3} g/cm³ 范围变动, 体长为 3-12 cm 的 PI 统计平均值为 $(10.972 \pm 3.518) \times 10^{-3}$ - $(11.159 \pm 4.464) \times 10^{-3}$ g/cm³(表 6)。原 a 值的 CV 为 50.9%, 转换为 PI 后, CV 降低到了 32.1%-40.0%, 说明该值更具有特征性。PI 值越大, 则同样体长条件下体重越大, 形态上对虾越粗壮。

本研究根据幂函数 $W=a \cdot L^b$ 的关系, 先对不同群体的对虾体长和体重数据进行回归分析, 证明所研究的 5 个凡纳滨对虾群体幂函数中, 自然回归所得的体长的 b 值均在 3 上下变动, 不同群体对虾的体重和体长关系也符合上述关系, 因此, 本研究采用了 PI 作为衡量不同群体的生长效应的指标之一。从实验数据可以看到 EHP 阴性群体的平均大小为 (2.49 ± 0.21) cm, PI 为 $(7.96 \pm 0.51) \times 10^{-3}$ g/cm³, 高于张灵霞等(2006)报道的函数关系所得出相应体长的 PI 值, EHP 阳性群体的 PI 是 EHP 阴性群体的 PI 的 $(65.2 \pm 5.3)\%$, 本研究的 EHP 阳性群体的平均值为 (5.37 ± 1.19) cm, 根据报道的凡纳滨对虾体重与体长关系函数计算, 这个大小差异导致的 PI 值差异为 $(93.3 \pm 10.8)\%$, 以此估算, 体长相同的 EHP 阳性群体和 EHP 阴性群体的 PI 值比为 $(70.5 \pm 8.7)\%$, 即同样大小的个体, EHP 阳性群体的体重约为 EHP 阴性群体的 70%。刘珍等

表 6 报道的对虾体重和体长关系函数($W=a \cdot L^b$)的 a 和 b 参数及转换到的体重指数($PI=W/L^3$)
 Tab.6 Parameters a and b of the original function ($W=a \cdot L^b$) of body weight and length and converted ponderal index in the ponderal function ($W=PI \cdot L^3$)

种类 Species	性别 Sex	$W=a \cdot L^b$		参考文献 References	$PI=W/L^3 (a L^{b'}, \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3)$				$b'=b-3$
		$a (\times 10^{-3})$	b		$L=3 \text{ cm}$	$L=6 \text{ cm}$	$L=9 \text{ cm}$	$L=12 \text{ cm}$	
长毛明对虾 <i>F. penicilatus</i>	♀	6.642	3.1448	王渊源等(1996)	7.787	8.609	9.130	9.518	0.1448
	♂	6.316	3.1543	王渊源等(1996)	7.483	8.327	8.865	9.267	0.1543
	♀	16.008	2.8812	刘瑞玉等(1998)	14.049	12.938	12.330	11.915	-0.1188
	♂	28.861	2.6429	刘瑞玉等(1998)	19.500	15.221	13.169	11.883	-0.3571
日本囊对虾 <i>M. japonicus</i>	♀	6.387	3.1160	王渊源等(1996)	7.255	7.863	8.241	8.521	0.1160
	♂	9.949	3.0295	王渊源等(1996)	10.277	10.489	10.615	10.706	0.0295
		17.053	2.8929		15.160	14.075	13.477	13.068	-0.1071
宽沟对虾 <i>M. latisulcatus</i>		11.820	3.0235	孙成波等(2011)	12.129	12.328	12.446	12.531	0.0235
	♀	15.290	2.9420	王渊源等(1996)	14.346	13.781	13.461	13.238	-0.0580
	♂	12.650	2.9750	王渊源等(1996)	12.307	12.096	11.974	11.888	-0.0250
墨吉明对虾 <i>F. merguensis</i>	♀	8.483	3.0943	王渊源等(1996)	9.409	10.045	10.437	10.724	0.0943
	♂	10.820	3.0306	王渊源等(1996)	11.189	11.429	11.572	11.674	0.0306
桃红美对虾 <i>F. duorarum</i>	♀	5.929	3.0920	王渊源等(1996)	6.560	6.992	7.257	7.452	0.0920
	♂	10.023	2.9670	王渊源等(1996)	9.666	9.448	9.322	9.234	-0.0330
	♀	5.060	3.1200	王渊源等(1996)	5.773	6.274	6.587	6.818	0.1200
	♂	4.490	3.1300	王渊源等(1996)	5.179	5.668	5.974	6.202	0.1300
欧洲沟对虾 <i>M. kerathurus</i>	♀	4.830	3.0690	王渊源等(1996)	5.210	5.466	5.621	5.733	0.0690
	♂	8.330	2.8440	王渊源等(1996)	7.018	6.299	5.913	5.653	-0.1560
褐美对虾 <i>F. aztecus</i>	♀	9.528	2.9660	王渊源等(1996)	9.179	8.965	8.842	8.756	-0.0340
	♂	11.614	2.9110	王渊源等(1996)	10.532	9.902	9.551	9.310	-0.0890
凡纳滨对虾 <i>L. vannamei</i>		5.900	3.2895	张灵侠等(2006)	8.109	9.911	11.146	12.114	0.2895
		15.000	2.9379	李卓佳等(2005)	14.011	13.421	13.087	12.855	-0.0621
		4.900	3.0716	查广才等(2006)	5.301	5.571	5.735	5.854	0.0716
中国明对虾 <i>F. chinensis</i>		19.550	2.7840	谢仁政等(2007)	15.420	13.276	12.163	11.430	-0.2160
		11.088	3.0019		11.111	11.126	11.134	11.141	0.0019
		11.114	3.0009		11.125	11.132	11.136	11.139	0.0009
	♂	6.800	3.0760	肖广侠等(2014)	7.392	7.792	8.036	8.213	0.0760
	♀	5.800	3.1153	肖广侠等(2014)	6.583	7.131	7.472	7.724	0.1153
斑节对虾 <i>P. monodon</i>		12.600	3.0768	黄忠等(2011)	13.709	14.459	14.916	15.249	0.0768
	♀	20.000	2.9633	吴琴瑟等(1992)	19.210	18.727	18.451	18.257	-0.0367
	♂	20.000	2.9498	吴琴瑟等(1992)	18.927	18.280	17.911	17.655	-0.0502
		9.613	3.0690	王平等(2011)	10.370	10.878	11.187	11.411	0.0690
	♂	20.000	2.9498	黄建华等(2006)	18.927	18.280	17.911	17.654	-0.0502
	20.000	2.9633	黄建华等(2006)	19.210	18.727	18.451	18.257	-0.0367	
平均值 Mean		11.543	3.0081		11.159	11.027	10.986	10.972	0.0081
标准差 SE		5.877	0.1206		4.464	3.883	3.643	3.518	0.1206

(2016)等研究表明, EHP 感染导致对虾生长缓慢, 在生产上观察到对虾肝胰腺中的 EHP 载量与对虾体长呈负相关性, 本研究更进一步说明, EHP 感染还将导致对虾变得消瘦, 重量降低, 这也将对养殖产量造成直接影响。

本研究的数据分析除了揭示出 PI 在 EHP 感染下降低以外, 通过对采集的对虾群体进行体长和体重的 CV 的计算, 观察到 EHP 阳性群体体长和体重的 CV

显著大于 EHP 阴性群体, 分别是后者的(2.39±0.93)倍和(2.05±0.86)倍, 说明 EHP 阳性的对虾群体个体大小不均匀, 此外, 根据体重-体长关系, 用体长估算出的体重与实际体重的偏差率进行比较, 显示出 EHP 阳性群体的偏差率为 EHP 阴性群体的 2.34-3.45 倍, 表明 EHP 阳性对虾的体重变得难以预测, 在相同的体长情况下, 体重波动变大。值得注意的是, 数据显示各群体 EHP 载量的 CV 与上述偏差率呈现出正相

关性(相关系数 $R=0.9101$), 可能暗示这 EHP 载量的波动影响到体重的不稳定性, 但由于相关数据点偏少, 这种正相关性是否具有重复性的意义, 值得今后关注。

近几年, 养殖对虾中的虾肝肠胞虫的感染严重影响了养殖业, 大大制约了对虾的生产产量, 目前, 对虾肝肠胞虫的分子检测方法有多种, 如套式 PCR、荧光定量 PCR、LAMP 检测及原位杂交等技术手段, 利用分子检测手段能为虾肝肠胞虫感染对对虾生长的影响提供重要证据, 本研究将多批 EHP 阳性群体生长状况的分析数据与 EHP 阴性样品相比较表明, EHP 的感染会导致对虾消瘦, 大小不均, 重量离散, 这为以后研究 EHP 的感染起到了一定的数据支持。

参 考 文 献

- Babar SM. Evaluating the performance of 4 indices in determining adiposity (Abstract). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2010, 25 (2): 183
- Huang J, Zhang QL, Bai N, *et al.* Covert mortality nodavirus (CMNV): The pathogen, epidemiology, and co-infection with EMS/AHPND. International Technical Seminar/Workshop on EMS/AHPND: Government, Scientist and Farmer Responses, FAO TCP/INT/3502: Reducing and Managing the Risk of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) of Cultured Shrimp. Panama, 22–24, June, 2015, 91–93
- Huang JH, Ma ZM, Zhou FL, *et al.* The growth characteristics of *Penaeus monodon* in pond-culture. *Marine Fisheries Research*, 2006, 27(1): 14–20 [黄建华, 马之明, 周发林, 等. 池塘养殖斑节对虾的生长特征. *海洋水产研究*, 2006, 27(1): 14–20]
- Huang Z, Lin HZ, Huang JH, *et al.* Relationship between body length and weight of five *Penaeus monodon* families. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38 (4): 116–119 [黄忠, 林黑着, 黄建华, 等. 5 个斑节对虾家系体长和体重的关系. *广东农业科学*, 2011, 38 (4): 116–119]
- Li XJ, Chen SB. A mathematical description of the fish-growth. *Journal of Zhejiang Colloge of Fisheries*, 1983, 2 (1): 29–39 [李星颀, 陈赛斌. 鱼类生长的数学描述. *浙江水产学院学报*, 1983, 2 (1): 29–39]
- Li ZJ, Cao YC, Wen GL, *et al.* A relationship between body weight and length of intensively cultured *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Tropic Oceanography*, 2005, 24 (6): 67–71 [李卓佳, 曹煜成, 文国樑, 等. 集约式养殖凡纳滨对虾体长与体重的关系. *热带海洋学报*, 2005, 24 (6): 67–71]
- Liu RY, Zhong ZR. *Penaeid shrimps in the South China Sea*. Beijing: China Agriculture Press, 1998, 132–138 [刘瑞玉, 钟振如. 南海对虾类. 北京: 中国农业出版社, 1998, 132–138]
- Liu Z, Zhang QL, Huang J, *et al.* Development of real-time PCR assay for detection of microsporidian *Enterocytozoon hepatopenaei* and its growth correlation with shrimp samples. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(2): 119–126 [刘珍, 张庆利, 黄健, 等. 虾肝肠胞虫(*Enterocytozoon hepatopenaei*)实时荧光定量 PCR 检测方法的建立及其对不同长速的对虾样品的检测. *渔业科学进展*, 2016, 37(2): 119–126]
- Luan S, Luo K, Ruan XH, *et al.* Genetic parameters and genotype by environment interaction for body weight and survival of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44 (2): 445–452 [栾生, 罗坤, 阮晓红, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)体重、存活性状的遗传参数和基因型与环境互作效应. *海洋与湖沼*, 2013, 44 (2): 445–452]
- Qiu XZ, Wang YJ. Calculation and analysis on the scale-radius and body-length, body-length and body-weight of Huanghe River *Carassius auratus* by computer. *Ningxia University (Natural Science Edition)*, 2000, 21 (2): 186–188 [邱小琮, 王远吉. 黄河鲫鱼鳞径与体长、体长与体重相关关系的微机计算分析. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2000, 21 (2): 186–188]
- Ricker WE. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Journal of Wildlife Management*, 1977, 41(1): 154–155
- Sun CB, Li T, Li YJ, *et al.* Growth pattern of kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* cultured in intensive ponds above sea level. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(4): 316–321 [孙成波, 李婷, 李义军, 等. 高位池精养日本囊对虾的生长规律. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(4): 316–321]
- Tang KF, Pantoja CR, Redman RM, *et al.* Development of in situ hybridization and PCR assays for the detection of *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP), a microsporidian parasite infecting penaeid shrimp. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2015, 130: 37–41
- The shrimp research group of Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. *Cultivation of shrimp*. Beijing: Science Press, 1979, 50–85 [中国水产科学研究院黄海水产研究所养殖研究室对虾组. 人工养殖对虾. 北京: 科学出版社, 1979, 50–85]
- Thitamadee S, Prachumwat A, Srisala J, *et al.* Review of current disease threats for cultivated penaeid shrimp in Asia. *Aquaculture*, 2016, 452: 69–87
- Wang P, Li T, Li YJ, *et al.* Growth pattern of *Penaeus monodon* cultured in high level intensive pond. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2011, 29(3): 264–269 [王平, 李婷, 李义军, 等. 高位池精养斑节对虾(*Penaeus monodon*)的生长规律. *海南大学学报(自然科学版)*, 2011, 29(3): 264–269]
- Wang YY, Fang LS, Chen SX. Relationship between body weight and length of pond-cultured *Penaeus penicillatus*. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1996, 15(1): 25–31 [王渊源, 方丽珊, 陈世希. 池养长毛对虾体长与体重的关系. *台湾海峡*, 1996, 15(1): 25–31]
- Wikipedia. Corpulence index. https://en.wikipedia.org/wiki/Corpulence_index#cite_note-Ensminger-1, 2016

- Wu QS, Huang HJ, Ye FX, *et al.* The relation between body length and body weight of giant tiger prawn *Penaeus mondon* in culture. *Tropic Oceanology*, 1992, 11(3): 53–56 [吴琴瑟, 黄鸿基, 叶妃轩, 等. 养殖斑节对虾体长与体重的关系. *热带海洋*, 1992, 11(3): 53–56]
- Xiao GX, Song WP, Guo B, *et al.* Growth characteristics of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) in Bohai Bay. *Marine Fisheries*, 2014, 36(2): 116–122 [肖广侠, 宋文平, 郭彪, 等. 渤海湾中国明对虾的生长特性. *海洋渔业*, 2014, 36(2): 116–122]
- Xie RZ, Liu JY, Fan CJ, *et al.* Growth of *Litopenaeus vannamei* cultivated in high-intensive ponds. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2007, 27(6):50–54 [谢仁政, 刘建勇, 范才军, 等. 高位池养殖凡纳滨对虾生长的研究. *广东海洋大学学报(自然科学)*, 2007, 27(6): 50–54]
- Zha GC, Zhou CQ, Huang JR, *et al.* On the characteristics of *Litopenaeus vannamei* body length and weight growth at low salinity environment. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 489–494 [查广才, 周昌清, 黄建荣, 等. 低盐度养殖的凡纳滨对虾体长和体重的增长规律. *水产学报*, 2006, 30(4): 489–494]
- Zhang LX, Shen Q, Hu CQ, *et al.* Relationship between body weight and length of two *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Tropical Oceanography*, 2006, 25 (1): 23–26 [张灵侠, 沈琪, 胡超群, 等. 两个凡纳滨对虾家系体重与体长的关系. *热带海洋学报*, 2006, 25 (1): 23–26]
- Zong XN, Li H, Wu HH. Growth patterns and reference growth curves of ponderal index for Chinese children under 7 years of age. *Chinese Journal of Evidence-Based Pediatrics*, 2011, 6 (2): 120–125 [宗心南, 李辉, 武华红. 中国7岁以下儿童重量指数的生长规律及参照标准建立. *中国循证儿科杂志*, 2011, 6 (2): 120–125]

(编辑 陈严)

The Relationship of Body Length and Weight in the *Litopenaeus vannamei* Populations Detected *Enterocytozoon hepatopenaei*

LIU Yamei^{1,2}, QIU Liang^{1,2}, CHENG Dongyuan^{1,2}, ZHANG Qingli^{1,2}, WAN Xiaoyuan¹, HUANG Jie^{1,2①}

(1. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Key Laboratory of Maricultural Organism Disease Control, Ministry of Agriculture, Qingdao Key Laboratory for Maricultural Organism Epidemiology and Biosecurity, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract Microsporidia *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) was detected using probe based real-time PCR from 442 shrimp coming from 5 farmed *Litopenaeus vannamei* populations in Tianjin, Zhejiang, and Shandong Province. The biological length and body weight of shrimp were measured individually. The Rohrer's ponderal index (PI, W/L^3) originally used in medical science was introduced in this study to establish the function of body weight (W) and biological length (L) of shrimp. The results showed that the PI of 4 EHP positive populations with an average biological length at (5.37 ± 1.19) cm was calculated as $(5.19 \pm 0.26) \times 10^{-3}$ g/cm³, while that of the EHP negative population with an average biological length was $(7.96 \pm 0.51) \times 10^{-3}$ g/cm³. After adjusting of the difference of PI caused by biological length according to the function $PI = a \cdot L^{(b-3)}$, the PI of EHP positive populations was about $(70.5 \pm 8.7)\%$ of that of the EHP negative populations at the same biological length. It indicated that the average body weight of shrimp in an EHP positive population was about 30% smaller than that of shrimp with same size in biological length in an EHP negative population. The coefficient of variation (CV) of biological length and body weight in EHP positive populations was (2.39 ± 0.93) times and (2.05 ± 0.86) times of those in the EHP population, respectively, suggesting significant size variation in the EHP positive populations. The deviation ratio of actual body weight to body weight estimated on biological length in the EHP positive populations was 2.34 to 3.45 times of that in the EHP negative population, indicating the shrimp with same size in the EHP positive populations had greater fluctuation in body weight.

Key words *Litopenaeus vannamei*; Biological length; Body weight; Rohrer's ponderal index; *Enterocytozoon hepatopenaei*

① Corresponding author: Huang Jie, E-mail: huangjie@ysfri.ac.cn