

室内环境下日本囊对虾 2 种形态变异类型群体生长特性比较研究

董宏标^{1,2}, 苏永全², 毛勇², 边力², 王军²

1. 中国水产科学研究院, 南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005

摘要: 我国沿海日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 群体资源可依据其头胸甲形态分为两种不同形态变异类型。文章对室内养殖环境中日本囊对虾 2 种形态变异类型 F₁ 群体不同性别对虾的体长和体质量进行了跟踪测量, 研究其生长特性及其规律。结果表明: 日本囊对虾体长和体质量呈幂函数关系, 两群体雌、雄虾的体长、头胸甲长与体重的拟合参数 b 值皆近似为 3, 呈等速生长。拟合其 von Bertalanffy 生长方程如下, 形态变异类型 (♀): $L_t=15.932 \times [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]$, $W_t=48.798 \times [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]^{2.973}$; 形态变异类型 (♂): $L_t=13.642 \times [1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]$, $W_t=30.437 \times [1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]^{2.969}$; 形态变异类型 (♀): $L_t=13.865 \times [1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]$, $W_t=31.449 \times [1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]^{3.103}$; 形态变异类型 (♂): $L_t=12.094 \times [1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]$, $W_t=21.470 \times [1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]^{3.120}$ 。进一步分析其极限生长年龄和生长拐点日龄结果表明, 在同池饲养条件下, 雌虾个体大于雄虾, 形态变异类型 的个体大于形态变异类型 ; 前者临界最大体重高于后者, 但性成熟时间晚于后者。研究结果为日本囊对虾生长性状相关群体选育提供了基础生物学依据。

关键词: 日本囊对虾; 室内环境; 形态变异类型; 生长特性

中图分类号: S968.22 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2014)04-0051-10

Growth characteristics of two morphologically similar varieties of *Marsupenaeus japonicus* under indoor cultivation environment

DONG Hong-biao^{1,2}, SU Yong-quan², MAO Yong², BIAN Li², WANG Jun²

1. Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: The kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* is widely distributed throughout the Indo-West Pacific. Two morphologically similar varieties I and II were recognized along the coast of China. The growth characteristics were studied on the basis of the successive data of body length and body weight of *Marsupenaeus japonicus* cultured in indoor cultivation environment. The results showed that the relationships between body length and body weight can be described by the power functions as follows: Variety (♀): $W=0.013 \times L^{2.973}$, Variety (♂): $W=0.013 \times L^{2.960}$, Variety (♀): $W=0.009 \times L^{3.103}$, Variety (♂): $W=0.009 \times L^{3.120}$, where the value b in $W=a \times L^b$ was all close to 3, indicating an isometric growth. The von Bertalanffy equations were expressed as follows: Variety (♀): $L_t=15.932 \times [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]$, $W_t=48.798 \times [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]^{2.973}$; Variety (♂): $L_t=13.642 \times [1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]$, $W_t=30.437 \times [1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]^{2.969}$; Variety (♀): $L_t=13.865 \times [1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]$, $W_t=31.449 \times [1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]^{3.103}$; Variety (♂): $L_t=12.094 \times [1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]$, $W_t=21.470 \times [1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]^{3.120}$. Further analysis of their asymptotic values of body length, body weight and longevity showed that the female was higher than male and that

收稿日期: 2013-09-23; 修订日期: 2013-10-22。林强编辑

基金项目: 国家“虾产业体系”项目(CARS-47); 高技术研究发展计划(“863”计划)项目“主要养殖甲壳类良种培育”(2012AA10A409)

作者简介: 董宏标(1983~), 男, 浙江省温州市人, 博士, 主要从事水产动物生物学与健康养殖研究。E-mail: donghongbiao@163.com

通信作者: 王军。E-mail: junw@xmu.edu.cn

Variety was higher than Variety .

Key words: *Marsupenaeus japonicus*; indoor cultivation environment; morphologically similar varieties; growth characteristics

日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 亦称车虾、斑节虾、竹节虾、花虾, 自然分布于印度—西太平洋东岸至日本北海道、澳洲及斐济群岛, 在我国主要分布于长江口以南沿海。该虾因肉质细嫩, 滋味鲜美, 营养丰富, 深受人们喜爱, 具有重要的经济价值和养殖前景。目前, 日本囊对虾亲虾仍来源于海区捕捞, 导致苗种质量参差不齐, 野生资源逐年减少, 制约了该产业的可持续发展。通过人工选育, 进行品种改良, 开发具有优良经济性性状的新品系/品种, 是有效解决上述问题的良好途径。

已有研究表明, 我国沿海日本囊对虾群体资源可依据其头胸甲侧面斜纹差异区分为两种形态类型 (Tzeng, et al, 2004; Tsoi, et al, 2005; 蔡晓鹏等, 2010), 即头胸甲侧面斜纹延伸至头部底缘的形态变异类型 (variety) 和斜纹仅延伸至头胸甲侧面中部的形态变异类型 (variety) (图 1)。二者地理分布不同且存在较大遗传分化 (Tzeng, et al, 2004; Tsoi, et al, 2005; 谭树华等, 2009; 蔡晓鹏等, 2010; 曾凡荣等, 2010)。在我国, 前者主要分布于整个东海、台湾海峡及以北海域, 后者主要分布于南海南部及以南海域, 而南海北部海域是为两者重叠分布区域 (曾凡荣等, 2010)。以这两类群体为材料, 开展相关育种研究, 具有重要意义。

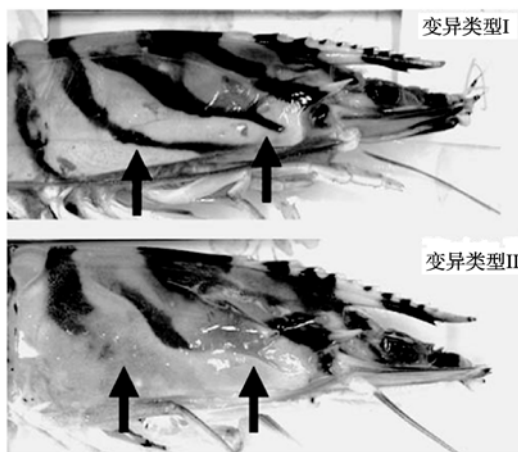


图 1 日本囊对虾 2 种形态变异类型头胸甲侧纹(黑色箭头)比较 (Tsoi, et al, 2005)

Fig. 1 Banding patterns on the lateral carapace of two morphologically similar varieties of *M. japonicus* (Tsoi, et al, 2005)

虾类的生长研究是虾类生理和生态学研究的重要内容 (Jong, et al, 1993), 对虾的生长特性是其种质和生长环境综合作用的呈现。一直以来, 优良的种质和适宜的生长环境都是对虾养殖业追求的目标。因此, 全面了解日本囊对虾的生长特性与规律, 明确不同选育群体间的生长特性差异, 对于提高对虾良种选育和养殖管理水平, 促进日本囊对虾养殖业发展有重要意义。

本文通过分析和比较室内相同养殖环境下日本囊对虾 2 种形态变异类型群体的生长特性, 为开展日本囊对虾的良种选育提供基础生物学论据, 也为日本囊对虾的室内工厂化养殖奠定基础。

1 材料

实验所用日本囊对虾两形态变异类型群体为课题组于 2011 年 3 月同期建立的 F_1 群体, 亲虾均为广东惠来海域野捕虾, 采用常规方法育苗, 虾苗在相同管理条件下培育至平均体长 4~5cm (此时已可肉眼判别对虾性别), 再经可见植入性橡胶 (visible implant elastomer, VIE) 荧光染料标记 (Godin, et al, 1996) 后同池培养。

2 方法

2.1 实验设置

养殖试验在规格为 $2\text{m} \times 2.5\text{m} \times 1.2\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高) 的室内水泥池中进行, 水深 0.9m。池上方 3/4 区域覆黑膜以部分遮光。养殖密度为 $100\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 即每个群体雌、雄虾各 $25\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 设置 3 个平行组。

2.2 日常管理

各平行组日常管理相同。对虾日投喂 3 次, 8:00 和 19:00 投喂福星牌草虾熟化配合饲料 (粗蛋白含量 40%~42%, 根据对虾规格更换饲料粒径), 投喂比例 3:7, 日投喂量为虾体重 5%~8%; 22:00 投喂碎鱿鱼、低值贝类等鲜活饵料, 投喂量占体虾重 15%~30%, 日投喂量根据对虾摄食情况和气候变化做适当调整。罗茨鼓风机连续充气, 曝气石密度 $0.5\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。前期每 2~3 天换水 1 次, 换水比例为 20%~30%, 后期换水频率依投饵情况适当增加。所用海水经砂滤池和过滤棉袋 2 次过滤, 并于室内储水池中放置定温后使

用。养殖期间水温 23.0~32.5 , 盐度 23‰~ 34‰, pH 为 8.1~8.8。

2.3 取样与数据分析

本文的对虾日龄指从受精卵孵化开始的养殖天数。从 85 日龄起每 10d 取样 1 次, 每次随机选取两形态变异类型群体雌、雄虾各 30 尾, 吸干体表水分后, 电子天平称重, 精确到 0.001g。体长与头胸甲长测量参照何铜 等(2009)的方法, 先以数码相机对对虾正面拍照, 通过 Photoshop 软件测量目标性状和图片背景中刻度尺单位刻度像素, 结合刻度尺单位刻度实际长度求得目标性状实际长度, 精确至 0.001cm。每一指标重复测量 3 次, 取平均值。

采用 Excel 和 SPSS 17.0 进行数据统计分析, 以 SigmaPlot 12.0 软件作图。

参数计算和方程构建方法如下:

$$W=aL^b \quad (1)$$

$$F=W/L^3 \times 100 \quad (2)$$

$$R_L=(L_n-L_{n-1})/L_{n-1} \times 100\% \quad (3)$$

$$R_W=(W_n-W_{n-1})/W_{n-1} \times 100\% \quad (4)$$

$$SGR=(\ln W_n - \ln W_{n-1}) \times 100 / (t_n - t_{n-1}) \quad (5)$$

采用 Walford 作图法(殷名称, 1995), 求得最大体长(L_∞)、体重(W_∞), 然后采用 von Bertalanffy 生长方程来拟合日本囊对虾生长参数, 公式如下:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (6)$$

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (7)$$

将上述 $L_t=f(t)$ 和 $W_t=f(t)$ 函数式对 t 求一阶导数, 得体重、体长生长速度方程:

$$dL/dt = L_\infty k e^{-k(t-t_0)} \quad (8)$$

$$dW/dt = bW_\infty k e^{-k(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-1} \quad (9)$$

将上述 $L_t=f(t)$ 和 $W_t=f(t)$ 函数式对 t 求二阶导数, 得体长、体重生长加速度方程:

$$d^2L/dt^2 = L_\infty k^2 e^{-k(t-t_0)} \quad (10)$$

$$d^2W/dt^2 = bW_\infty k^2 e^{-k(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b [be^{-k(t-t_0)} - 1] \quad (11)$$

当 $d^2W/dt^2=0$ 时, 求其生长的拐点年龄 t_{ro} 。

以上各式中: L 为体长(mm); W 为体重(g); F 为肥满度; R_L 为体长相对增长率(%); R_W 为体重相对增长率(%); SGR (specific growth rate)为特定生长率(%); t 为日龄(d); L 和 W 分别为平均渐近体长(mm)与体重(g); t_0 为理论生长起点日龄; n 为生长阶段; k 为生长系数; a, b 均为常数。

3 结果

3.1 体长、头胸甲长与体重的关系

经不同曲线拟合估计, 筛选得出日本囊对虾两形态变异类型群体体长(L)、头胸甲长(L_C)与体重(W)的关系均以幂函数模型 $Y=aX^b$ 拟合最佳, 而头胸甲长 L_C 与体长 L 的关系则以线性函数模型 $Y=a+bX$ 拟合较好, 两群体对虾体长、头胸甲长与体重拟合方程参数及相关系数见表 1, 其散点图见图 2、3、4。

3.2 阶段生长情况

在实验期内两群体对虾不同阶段生长情况见表 2。结果表明, 形态变异类型 群体生长速度高于形态变异类型 群体; 雌虾生长要快于雄虾。比较两群体的生长率发现, 两群体对虾体长和体重的生长率总体上均呈现由高到低的趋势, 但在某些阶段出现较大波动, 可能与水温变化有关(表3)。

3.3 生长各阶段肥满度

两群体对虾肥满度在不同生长阶段呈现规律性变化(图5), 其变化规律为: 先缓慢上升再快速上升, 至最高值后快速下降, 并逐渐趋近于渐进值。比较两群体发现, 相同体重的形态变异类型 群体, 其雌、雄对虾肥满度在到达峰值前均显著高于形态变异类型 群体($p<0.05$), 到达峰值后则渐渐趋于一致; 两种形态变异类型雄虾的肥满度均稍高于雌虾, 但差异不显著。

表 1 日本囊对虾两种形态变异类型群体体长、头胸甲长与体重拟合方程参数及相关系数

Tab. 1 Parameters and coefficients of the relationship among body length, carapace length and body weight in two morphologically similar varieties of *M. japonicas* ($n=450$)

群体	模型	雌性			雄性		
		a	b	R^2	a	b	R^2
形态变异类型	$W=aL^b$	0.013	2.973	0.975	0.013	2.969	0.969
	$W=aL_C^b$	0.458	2.935	0.971	0.417	2.950	0.965
	$L=a+bL_C$	0.762	2.784	0.979	0.347	2.988	0.981
形态变异类型	$W=aL^b$	0.009	3.103	0.984	0.009	3.120	0.978
	$W=aL_C^b$	0.423	2.976	0.974	0.388	2.993	0.973
	$L=a+bL_C$	0.986	2.721	0.974	0.629	2.887	0.975

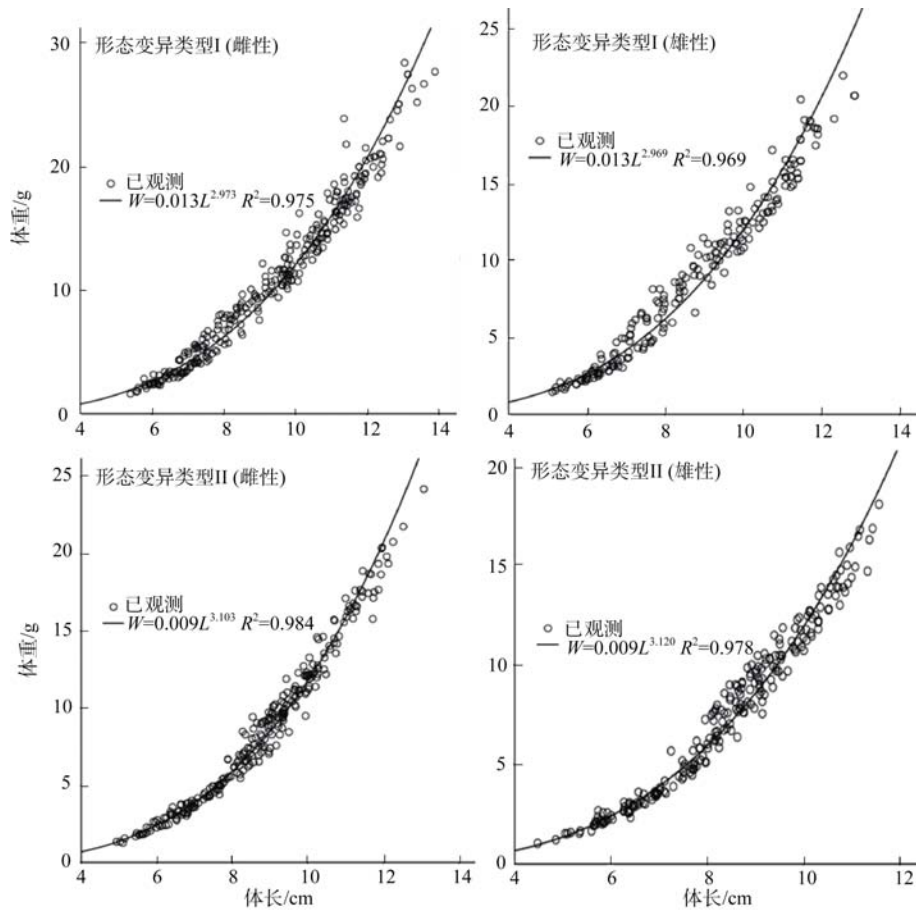


图 2 日本囊对虾两种形态变异类型群体体长与体重的关系

Fig. 2 Relationship between body length and body weight in two morphologically similar varieties of *M. japonicas* (n=450)

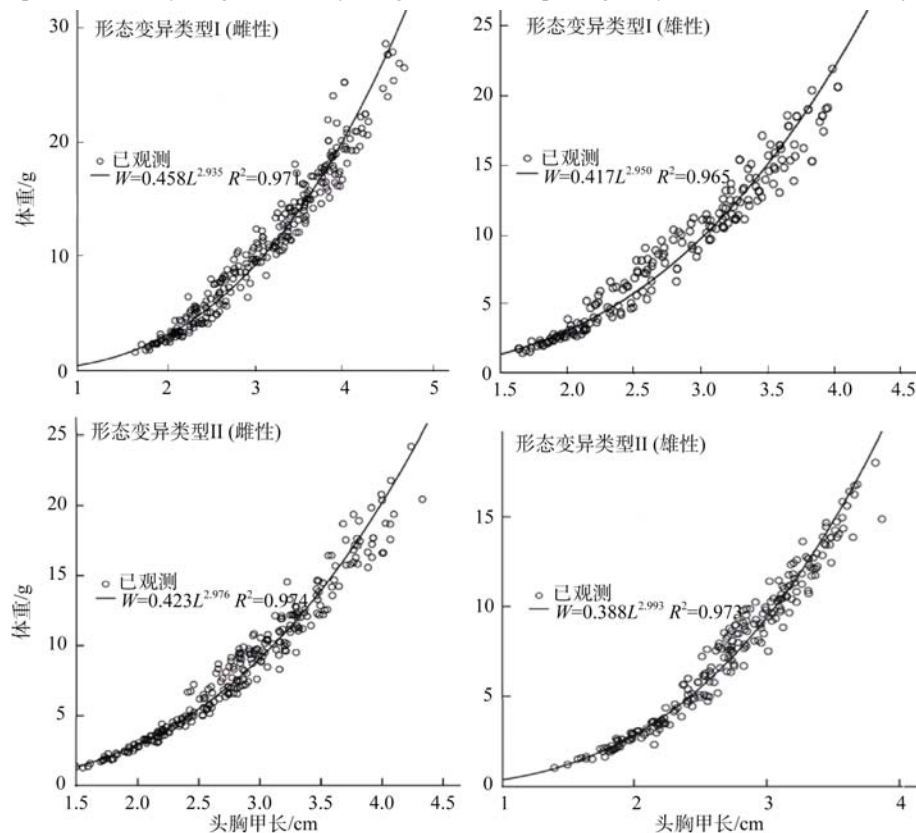


图 3 日本囊对虾两种形态变异类型群体头胸甲长与体重的关系

Fig. 3 Relationship between carapace length and body weight in two morphologically similar varieties of *M. japonicas* (n=450)

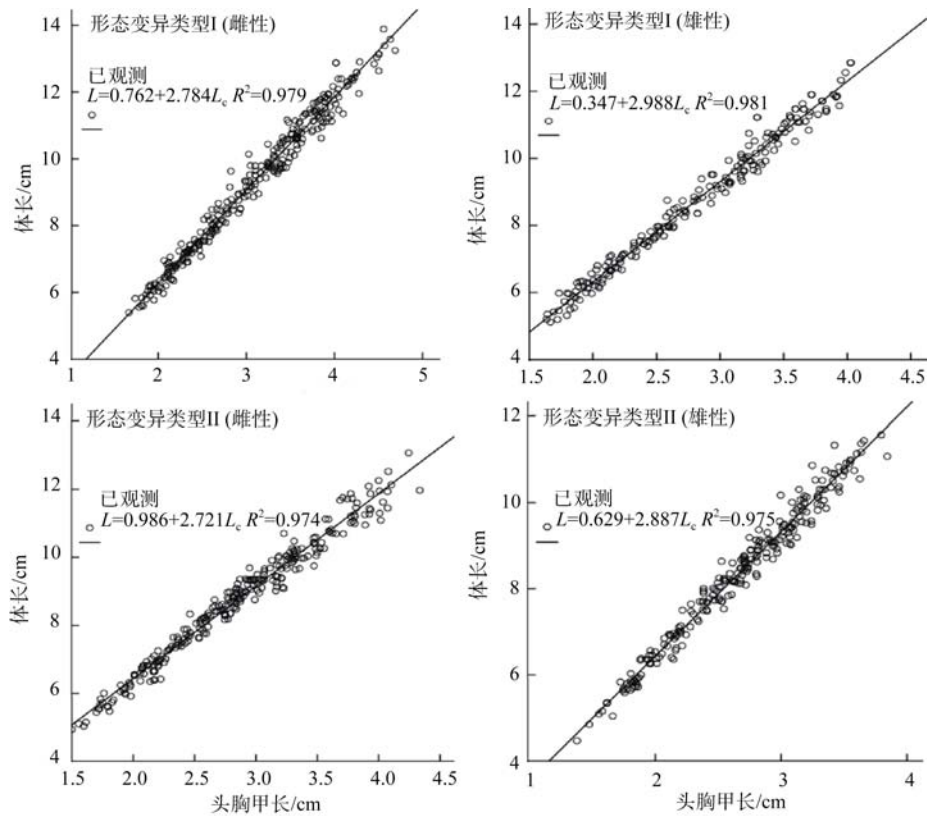


图 4 日本囊对虾两种形态变异类型群体头胸甲长与体长的关系

Fig. 4 Relationship between carapace length and body length in two morphologically similar varieties of *M. japonicas* ($n=450$)

表 2 日本囊对虾两种形态变异类型群体阶段性生长

Tab. 2 Growth in two morphologically similar varieties of *M. japonicus* at various stages ($n=30$, mean \pm SD)

日龄/d	形态变异类型				形态变异类型			
	雌性		雄性		雌性		雄性	
	体长/cm	体重/g	体长/cm	体重/g	体长/cm	体重/g	体长/cm	体重/g
85	5.400 \pm 0.306	1.763 \pm 0.501	5.144 \pm 0.483	1.574 \pm 0.515	5.308 \pm 0.413	1.534 \pm 0.567	5.003 \pm 0.447	1.337 \pm 0.492
95	6.010 \pm 0.392	2.488 \pm 0.474	5.816 \pm 0.561	2.299 \pm 0.624	5.778 \pm 0.588	1.996 \pm 0.628	5.639 \pm 0.596	1.954 \pm 0.530
105	6.571 \pm 0.562	3.264 \pm 0.763	6.419 \pm 0.415	3.122 \pm 0.503	6.219 \pm 0.481	2.560 \pm 0.606	6.002 \pm 0.467	2.435 \pm 0.531
115	6.899 \pm 0.400	3.780 \pm 0.526	6.722 \pm 0.550	3.666 \pm 0.888	6.834 \pm 0.529	3.392 \pm 0.688	6.689 \pm 0.393	3.334 \pm 0.488
125	7.313 \pm 0.544	4.719 \pm 0.792	7.479 \pm 0.643	5.100 \pm 1.175	7.556 \pm 0.501	4.632 \pm 0.898	7.431 \pm 0.457	4.598 \pm 0.834
135	7.813 \pm 0.692	5.866 \pm 1.489	7.877 \pm 0.800	6.130 \pm 1.945	8.322 \pm 0.544	6.352 \pm 1.487	8.078 \pm 0.498	6.096 \pm 1.077
145	8.572 \pm 0.681	8.808 \pm 2.256	8.491 \pm 0.806	7.946 \pm 2.290	8.536 \pm 0.660	7.181 \pm 1.639	8.430 \pm 0.487	7.064 \pm 1.021
155	9.213 \pm 0.640	10.402 \pm 2.131	8.969 \pm 0.856	8.963 \pm 2.794	8.798 \pm 0.543	8.010 \pm 1.493	8.618 \pm 0.485	8.356 \pm 1.199
165	9.780 \pm 0.612	11.802 \pm 2.009	9.387 \pm 0.817	10.225 \pm 2.587	9.191 \pm 0.552	9.351 \pm 1.873	8.827 \pm 0.558	8.805 \pm 1.538
175	10.211 \pm 0.664	13.266 \pm 2.552	10.142 \pm 0.834	12.622 \pm 2.781	9.539 \pm 0.604	10.243 \pm 2.069	9.102 \pm 0.701	9.511 \pm 2.031
185	10.674 \pm 0.700	14.920 \pm 2.878	10.377 \pm 0.864	13.388 \pm 3.154	9.854 \pm 0.812	11.229 \pm 2.870	9.527 \pm 0.674	10.656 \pm 1.727
195	10.972 \pm 0.886	16.096 \pm 3.719	10.501 \pm 0.777	13.521 \pm 2.226	10.231 \pm 0.707	12.247 \pm 2.566	9.792 \pm 0.631	11.213 \pm 1.872
205	11.183 \pm 1.019	16.763 \pm 4.437	10.732 \pm 0.510	13.998 \pm 1.926	10.455 \pm 0.663	13.101 \pm 2.498	10.078 \pm 0.532	11.777 \pm 1.597
215	11.317 \pm 0.883	17.118 \pm 4.199	10.891 \pm 0.817	14.151 \pm 2.746	10.672 \pm 0.730	13.778 \pm 2.801	10.171 \pm 0.684	12.030 \pm 2.143
225	11.448 \pm 0.848	17.526 \pm 4.012	11.037 \pm 0.765	14.330 \pm 2.575	10.814 \pm 0.766	14.380 \pm 3.108	10.330 \pm 0.437	12.490 \pm 1.470

表 3 日本囊对虾两种形态变异类型群体各阶段生长率

Tab. 3 Growth rate in two morphologically similar varieties of *M. japonicus* at various stages ($n=30$, mean \pm SD)

日龄/d	形态变异类型 I						形态变异类型 II					
	雌性			雄性			雌性			雄性		
	$R_L/\%$	$W_L/\%$	SGR/ $\%$	$R_L/\%$	$W_L/\%$	SGR/ $\%$	$R_L/\%$	$W_L/\%$	SGR/ $\%$	$R_L/\%$	$W_L/\%$	SGR/ $\%$
95	11.299	41.107	3.443	13.057	46.045	3.787	8.855	30.182	2.638	12.720	46.086	3.790
105	9.347	31.179	2.714	10.376	35.787	3.059	7.632	28.249	2.488	6.432	24.663	2.204
115	4.983	15.822	1.469	4.724	17.453	1.609	9.889	32.499	2.814	11.440	36.883	3.140
125	6.005	24.829	2.218	11.261	39.109	3.301	10.565	36.534	3.114	11.095	37.930	3.216
135	6.840	24.303	2.176	5.317	20.187	1.839	10.138	37.146	3.159	8.707	32.578	2.820
145	9.712	50.151	4.065	7.795	29.625	2.595	2.571	13.049	1.227	4.358	15.875	1.473
155	7.478	18.103	1.664	5.629	12.797	1.204	3.069	11.544	1.093	2.230	18.293	1.680
165	6.154	13.459	1.263	4.660	14.087	1.318	4.467	16.744	1.548	2.425	5.375	0.524
175	4.407	12.402	1.169	8.043	23.438	2.106	3.786	9.540	0.911	3.115	8.021	0.772
185	4.534	12.468	1.175	2.317	6.070	0.589	3.302	9.624	0.919	4.669	12.043	1.137
195	2.792	7.884	0.759	1.195	0.994	0.099	3.826	9.060	0.867	2.782	5.223	0.509
205	1.923	4.147	0.406	2.200	3.524	0.346	2.189	6.977	0.674	2.921	5.034	0.491
215	1.198	2.114	0.209	1.482	1.092	0.109	2.076	5.168	0.504	0.923	2.146	0.212
225	1.158	2.383	0.236	1.341	2.772	0.273	1.334	4.005	0.393	1.563	3.819	0.375

注: R_L 为体长相对增长率; W_L 为体重相对增长率; SGR 为特定生长率。

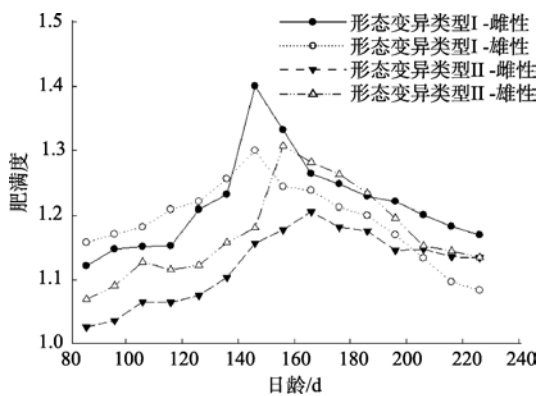


图 5 日本囊对虾两形态变异类型群体各生长阶段的肥满度

Fig. 5 Fullness of two morphologically similar varieties of *M. japonicus* at various growing stages

3.4 生长特性

3.4.1 生长方程

采用 SPSS 17.0 软件依据表 2 中体长数据用 L_{n+1} 对 L_n 作图, 拟合 Walford 线性方程如下:

形态变异类型 (雌性): $L_{n+1}=0.956+0.940L_n$
($R^2=0.989, p<0.001$),

形态变异类型 (雄性): $L_{n+1}=1.105+0.919L_n$
($R^2=0.991, p<0.001$),

形态变异类型 (雌性): $L_{n+1}=1.016+0.926L_n$
($R^2=0.988, p<0.001$),

形态变异类型 (雄性): $L_{n+1}=1.161+0.904L_n$
($R^2=0.987, p<0.001$).

Walford 线与通过原点 45° 对角线($Y=X$)相交的

点, 依横坐标测得它的长度, 即 L , 再根据体长与体重的幂函数求得 W (表 4)。得 von Bertalanffy 生长方程分别为:

形态变异类型 (雌性): $L_t=15.933 \times [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]$, $W_t=48.798 \times [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]^{2.973}$,

形态变异类型 (雄性): $L_t=13.642 \times [1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]$, $W_t=30.437 \times [1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]^{2.969}$,

形态变异类型 (雌性): $L_t=13.865 \times [1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]$, $W_t=31.449 \times [1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]^{3.103}$,

形态变异类型 (雄性): $L_t=12.094 \times [1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]$, $W_t=21.470 \times [1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]^{3.120}$ 。

表 4 日本囊对虾两种形态变异类型群体渐进值和生长极限年龄估计

Tab. 4 Asymptotic values of body length and body weight and longevity in two morphologically similar varieties of *M. japonicus*

群体	性别	L_∞/cm	W_∞/g	极限年龄/d
形态变异类型 I	雌	15.933	48.798	713.92
	雄	13.642	30.437	541.12
形态变异类型 II	雌	13.865	31.449	620.95
	雄	12.094	21.470	484.21

表 4 结果表明, 相同性别对虾形态变异类型群体的体长和体重渐进值以及生长极限年龄均要明显高于形态变异类型 群体, 结果亦可表明前者达性成熟时的体长、体重高于后者。

室内养殖环境下日本囊对虾体重、体长生长曲线如图 6、图 7 所示, 其中体质量的生长曲线为一条具拐点、不对称且渐趋于渐近值 (W) 的 S 型曲线。以 t 检验对对虾各生长阶段体长和体重的实测值与以体长和体重生长方程计算的对应阶段理论值比较分析表明, 两者之间无显著性差异 ($p > 0.05$), 表明拟合出的 von Bertalanffy 生长方程能真实反映了室内养殖环境下日本囊对虾的生长规律。

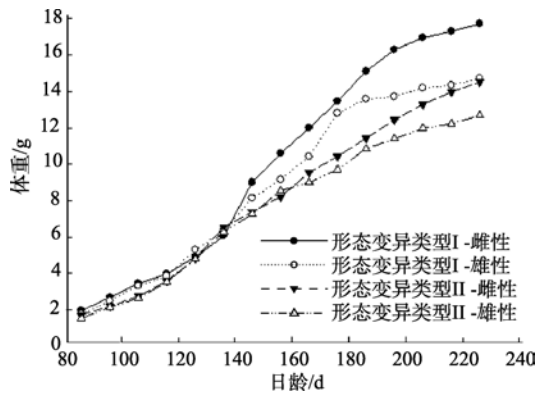


图 6 日本囊对虾两种形态变异类型群体体重生长情况
Fig. 6 Growth of body weight in two morphologically similar varieties of *M. japonicus* at various stages

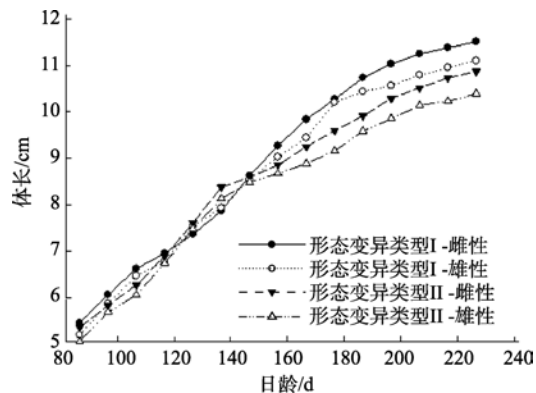


图 7 日本囊对虾两种形态变异类型群体体长生长情况
Fig. 7 Growth of body length in two morphologically similar varieties of *M. japonicus* at various stages

3.4.2 两群体对虾体长、体重生长速度方程

两群体对虾体长和体重的生长速度曲线分别见图 8 和图 9。室内养殖环境下日本囊对虾两形态变异类型群体体长生长速度均随日龄的增加而递减, 并逐渐趋向于零; 当日龄 $t <$ 拐点日龄 t_r 时, 两群体对虾体重生长速度随日龄的增加而上升。两群体对虾体长、体重生长速度均以形态变异类型 I 群体为高, 不同性别对虾在早期阶段体重生长速度相近, 但在中后期雌性对虾体重生长速度高于雄性对虾。两群体不同性别的生长速度方程如下。

$$\begin{aligned} \text{形态变异类型 I (雌性): } & dL/dt=0.1068e^{-0.0067(t-26.5055)}, \\ & dW/dt=0.9720e^{-0.0067(t-26.5055)}[1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]^{1.973}, \\ \text{形态变异类型 I (雄性): } & dL/dt=0.1241e^{-0.0091(t-35.0053)}, \\ & dW/dt=0.8223e^{-0.0091(t-35.0053)}[1-e^{-0.0091(t-35.0053)}]^{1.969}, \\ \text{形态变异类型 II (雌性): } & dL/dt=0.1068e^{-0.0077(t-22.8107)}, \\ & dW/dt=0.7514e^{-0.0077(t-22.8107)}[1-e^{-0.0077(t-22.8107)}]^{2.103}, \\ \text{形态变异类型 II (雄性): } & dL/dt=0.1234e^{-0.0102(t-32.6776)}, \\ & dW/dt=0.6833e^{-0.0102(t-32.6776)}[1-e^{-0.0102(t-32.6776)}]^{2.120}. \end{aligned}$$

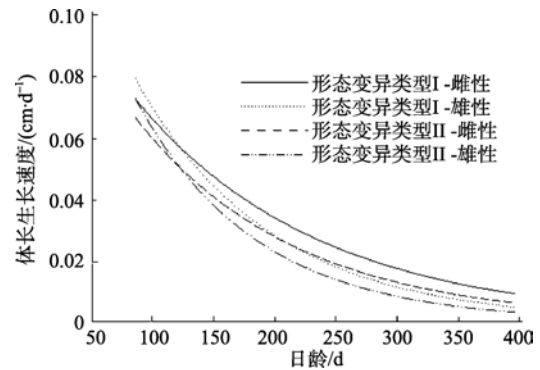


图 8 日本囊对虾两种形态变异类型群体体长生长速度曲线

Fig. 8 Growth rate curve of body length in two morphologically similar varieties of *M. japonicus*

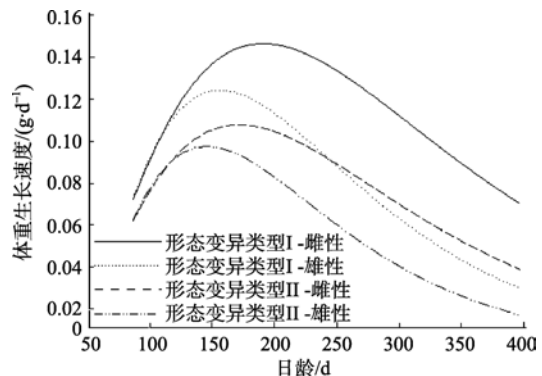


图 9 日本囊对虾两种形态变异类型群体体重生长速度曲线

Fig. 9 Growth rate curve of body weight in two morphologically similar varieties of *M. japonicas*

3.4.3 体重生长加速度方程

两群体对虾体重的生长加速度曲线见图 10。当日龄 $t <$ 拐点日龄 t_r 时, 两群体对虾体重生长加速度随日龄增加而下降, 但其加速度仍为正值; 当日龄 $t >$ 拐点日龄 t_r 时, 两群体对虾体重生长加速度随日龄增加而下降, 且其加速度小于 0。两群体不同性别的体重加速度方程如下。

$$\begin{aligned} \text{形态变异类型 I (雌性): } & d^2W/dt^2=6.512 \times 10^{-3} e^{-0.0067(t-26.5055)} [1-e^{-0.0067(t-26.5055)}]^{0.973} \\ & [2.973e^{-0.0067(t-26.5055)} - 1]; \end{aligned}$$

形态变异类型 (雄性):

$$d^2W/d^2t=7.483 \times 10^{-3} e^{-0.0091(t-35.0053)} [1 - e^{-0.0091(t-35.0053)}]^{0.969} [2.969 e^{-0.0091(t-35.0053)} - 1];$$

形态变异类型 (雌性):

$$d^2W/d^2t=5.786 \times 10^{-3} e^{-0.0077(t-22.8107)} [1 - e^{-0.0077(t-22.8107)}]^{1.103} [3.103 e^{-0.0077(t-22.8107)} - 1];$$

形态变异类型 (雄性):

$$d^2W/d^2t=6.969 \times 10^{-3} e^{-0.0102(t-32.6776)} [1 - e^{-0.0102(t-32.6776)}]^{1.120} [3.120 e^{-0.0102(t-32.6776)} - 1].$$

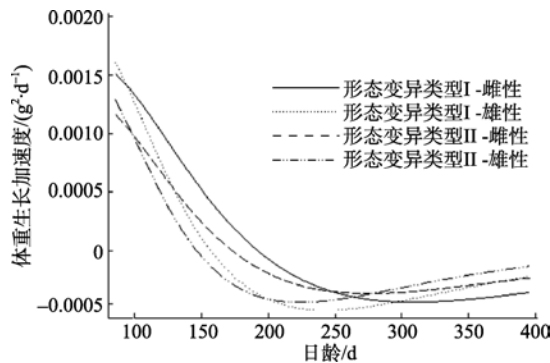


图 10 日本囊对虾两种形态变异类型群体体重生长加速度曲线

Fig. 10 Acceleration rate curve of body weight in two morphologically similar varieties of *M. japonicus*

根据体重生长加速度方程求得两群体雌、雄虾达到最大生长速度时的日龄(t_i)及相应的体长和体重(表5)。结果表明,在相同性别下,形态变异类型群体对虾体重达到最大生长速度时日龄要较形态变异类型群体约早10d左右,此时拐点体长和体重亦较之为小;不同性别间,雄性对虾约比雌性对虾提前25d左右,此时对应的拐点体长和体重也比雌性对虾小。

表 5 日本囊对虾两种形态变异类型群体拐点日龄及相应性状

Tab. 5 Age, body weight and body length at inflexion in two morphologically similar varieties of *M. japonicus*

群体	性别	拐点日龄/d	拐点体重/g	拐点体长/cm
形态变异类型 I	雌	179.1	13.578	10.574
	雄	151.0	8.651	8.920
形态变异类型 II	雌	169.9	9.405	9.589
	雄	144.2	6.430	8.218

4 讨论

4.1 体长与体重关系

体长和体重均是度量生长的属性,用于表达体长与体重的数学相关式有多种,其中以幂函数较为常用。施永海等(2009)和 Cheng, et al(1990)对斑节

对虾 *Penaeus monodon*, 张灵侠等(2006)和查广才等(2006)对凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 以及张澄茂(2001)对中国对虾 *Fenneropenaeus chinensis* 的体长与体重关系的优化模型均以 $Y=aX^b$ 为最佳。本研究表明,室内养殖环境下日本囊对虾两种形态变异类型群体的体长与体重关系的优化模型与上述已报道的虾类相似,均为幂函数模型 $Y=aX^b$ 。本结果也与孙成波等(2011)报道的高位池精养日本囊对虾体长与体重关系结果相似,说明幂函数模型在分析虾类体长与体重关系上具有较高适用性。另外,两群体雌虾和雄虾体长、头胸甲长与体重的拟合参数 b 值皆为 3 左右,表示它们均为等速生长,具有体形不变和比重不变的特征(叶富良等, 2002),而形态变异类型群体雌虾头胸甲长和体长呈非匀速生长,体长较之头胸甲长生长稍慢。

4.2 von Bertalanffy 生长方程

动物个体在生长发育过程中某部分或整体随年龄增长而变化的规律性可用生长曲线(growth curve)来表示(Mignon, et al, 1999),它可对动物体质量或组织器官等生长或增重过程进行动态描述和分析,是研究动物生长发育规律的主要方法之一(张春艳等, 2006),已广泛用于畜禽(Mignon, et al, 1999; 张春艳等, 2006)和水产动物(Cheng, et al, 1990; Jong, et al, 1993; 黄晓荣等, 2008; 施永海等, 2009)等的生长研究。

生物生长曲线模型是对生物品种遗传生长潜力的本质反映,同时,也可表明生物的生长规律仅与生物品种及性别有关,并不受环境、营养等因素的影响。因此,可以利用生物生长模型比较同一品种不同性别间的差异或不同品种间的种间差异(石婧等, 2011)。

对虾属于甲壳类动物,与一般动物的连续性生长不同,对虾的整个生长过程需通过多次蜕皮得以完成。处于蜕皮间期的虾蟹类几乎没有任何生长,而在每次蜕皮之后,体长和体重都会有所增加,因此,其生长是不连续的,而是随着每次蜕皮的发生呈现阶梯式增长(王红勇等, 2007)。虾蟹类个体的生长难以用一般的生长方程来拟合,但是在同一群体内(个体数量足够多),由于个体成员蜕皮不同步,此时群体的整体生长曲线可以认为是连续的,可用连续性生长方程来描述。不同养殖条件下对虾的生长特性存在差异,对其生长过程的拟合有时亦需要用到不同的模型。已有的研究通常以体长、体重来拟合生长方程。查广才等(2006)对珠海斗门地区低盐度养殖凡纳滨对虾生长的研究表明,其体长生长适用 Quadratic 曲线,而谢仁政等(2007)报道了高

位池养殖凡纳滨对虾的生长, 用 von Bertalanffy 拟合获得了较好的生长方程。此外, 苏振明等(2006)对黄海增殖日本囊对虾的生长特征研究, 张澄茂(2001)对闽东海区放流的中国明对虾的生长特性研究以及 Cheng, et al(1990)和黄建华等(2006)对斑节对虾的生长特性研究, 都采用了 von Bertalanffy 方程进行了拟合并获得了满意的结果。本文研究结果亦显示, von Bertalanffy 方程能够很好地拟合室内养殖环境下日本囊对虾的生长。上述相关研究也表明, 除对虾品种外, 养殖模式、养殖环境等因素也能影响其生长, 故用于生长方程的拟合曲线不同, 而相同生长方程的各参数也不同。

4.3 两形态变异类型群体生长特性

同一物种的不同群体因长期适应不同生活环境, 形成了各自特有的生物学特性, 包括生长、发育、繁殖以及对环境因子的适应力等(Wagner, et al, 2001)。本文研究的日本囊对虾 2 种形态变异类型生活于不同的地理环境, 包括气候、光线、饵料等因素差异造就其生物性状各异。比较两种形态变异类型对虾各阶段生长可发现, 在室内养殖环境下, 变异类型群体对虾生长速度总体上高于变异类型群体。另外, 从体长、体重渐进值和极限生长年龄也可看出, 变异类型群体对虾生长性能优于变异类型群体, 这与自然海区中两形态变异类型比较结果相同(蔡晓鹏等, 2010)。众所周知, 同种生物生活于高纬度地区的个体要大于生活于低纬度地区的个体, 而性成熟时间则相反, 生活于低纬度的个

体先成熟。本研究中日本囊对虾两形态变异类型群体的生长性能差异与上述观点一致。此外, 上述结果也表明, 日本囊对虾在长期的系统发育进化中形成的生物学特性并不会因为短期的个体生长发育环境变更而发生较大改变。

一个完整生命过程中, 生物的生长速度通常存在慢—快—慢的共同特征, 其累积生长量初时较小, 随时间的延长而逐渐增大, 最终稳定在一个饱和值上, 这一过程则可以表示为一条拉长的 S 型曲线。依据生长速度的快慢(曲线曲率的变化)可将生长过程划分为初始生长、指数生长和稳定生长 3 个阶段。不过, 任意 2 个生长过程都不会完全相同, 它们的差异受诸多因素影响, 如生态环境、生物层次、生物物种和性别等(邢黎峰等, 1998)。本研究结果亦表明, 当日龄 $t < t_i$ 时, 两形态变异类型日本囊对虾体重生长速度呈曲线上升, 而体重生长加速度曲线却下降但仍为正值, 表明在 t_i 以前, 是其体重生长速度的递增阶段, 但递增速度逐渐减缓; 当日龄 $t > t_i$ 时, 体重生长速度曲线下降, 且体重生长加速度值为负值, 表明在拐点日龄 t_i 以后, 是其体重生长速度的递减阶段, 此时对虾进入生长缓慢期。由 von Bertalanffy 生长方程得出, 室内养殖环境下形态变异类型群体体质量的生长拐点均要大于同性别形态变异类型群体, 表明前者进入生长缓慢期的时间要迟于后者, 并获得了更大的拐点体重, 这也进一步证实了形态变异类型群体生长性能优于形态变异类型群体。

参考文献

- 蔡晓鹏, 游欣欣, 曾凡荣, 等. 2010. 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, 17(3): 478-486.
- 何铜, 刘小林, 杨长明, 等. 2009. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析[J]. 生态学报, 29(4): 2134-2142.
- 黄建华, 马之明, 周发林, 等. 2006. 池塘养殖斑节对虾的生长特性[J]. 海洋水产研究, 27(1): 14-21.
- 黄晓荣, 庄平, 章龙珍, 等. 2008. 人工养殖云斑尖塘鳢的生长特性[J]. 生态学杂志, 27(10): 1740-1743.
- 施永海, 张根玉, 刘建忠, 等. 2009. 室内工厂化养殖斑节对虾的生长特性[J]. 上海海洋大学学报, 18(6): 702-707.
- 石婧, 姚勤, 陈克平. 2011. 性别对生物生长发育速率影响的研究[J]. 安徽农业科学, 39(22): 13301-13302, 13305.
- 苏振明, 王克行, 张存义. 2006. 黄海增殖日本对虾的生长特性[J]. 水产学报, 20(1): 25-26.
- 孙成波, 李婷, 李义军, 等. 2011. 高位池精养日本囊对虾的生长规律[J]. 大连海洋大学学报, 26(4): 316-321.
- 谭树华, 王桂忠, 李少菁. 2009. 中国沿海日本囊对虾线粒体 16S rRNA 基因序列变异及遗传分化[J]. 生态学报, 29(12): 6805-6810.
- 王红勇, 姚雪梅. 2007. 虾蟹生物学[M]. 北京: 中国农业出版社: 28-37.
- 谢仁政, 刘建勇, 范才军, 等. 2007. 高位池养殖凡纳滨对虾生长的研究[J]. 广东海洋大学学报, 27(6): 50-54.
- 邢黎峰, 孙明高, 王元军. 1998. 生物生长的 Richards 模型[J]. 生物数学学报, (3): 13.
- 叶富良, 张健东. 2002. 鱼类生态学[M]. 广州: 广东高等教育出版社: 46-47.
- 殷名称. 1995. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社: 57-61.
- 曾凡荣, 王军, 周孔霖, 等. 2010. 基于线粒体 Cytb 基因探讨我国日本囊对虾 4 个地理群体的遗传结构及种群分化[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 49(5): 401-406.
- 查广才, 周昌清, 黄建荣, 等. 2006. 低盐度养殖的凡纳滨对虾体长和体重的增长规律[J]. 水产学报, 30(4): 489-494.
- 张澄茂. 2001. 闽东海区中国对虾放流虾的生长特性[J]. 水产学报, 25(2): 116-119.

- 张春艳, 沈忠, 周志权, 等. 2006. 波尔山羊羔羊生长发育规律研究[J]. 华中农业大学学报, 25(6): 640–644.
- 张灵侠, 沈琪, 胡超群, 等. 2006. 两个凡纳滨对虾家系体重与体长的关系[J]. 热带海洋学报, 25(1): 23–26.
- CHENG C S, CHEN L C. 1990. Growth characteristics and relationships among body length, body weight and tail length of *Penaeus monodon* from a culture environment in Taiwan[J]. Aquaculture, 91: 253–263.
- GODIN D M, CARR W H, HAGINO G, et al. 1996. Evaluation of a fluorescent elastomer internal tag in juvenile and adult shrimp *Penaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 139: 23–248.
- JONG K J, KOU K H, CHEN S N. 1993. Growth of *Penaeus monodon* Fabricius, 1778, in pond culture (Decapoda, Penaeidae) [J]. Crustaceana, 65(1): 25–28.
- MIGNON G S, BEAUMONT C L, BIHAN D E, et al. 1999. Genetic parameters of growth curve parameters in female chickens[J]. Poultry Sci, 40(1): 44.
- TZENG T D, YEH S Y, HUI C F. 2004. Population genetic structure of the kuruma prawn (*Penaeus japonicus*) in East Asia inferred from mitochondrial DNA sequences[J]. Journal of Marine Science, 61: 913–920.
- TSOI K H, WANG Z Y, CHU K H. 2005. Genetic divergence between two morphologically similar varieties of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus*[J]. Marine Biology, 147: 367–379.
- WAGNER E J, ARNDT R E, BROUGH M. 2001. Comparative tolerance of four stocks of cutthroat trout to extremes in temperature[J]. West N Am Nat, 61: 434–444.