密度胁迫对日本囊对虾生长和水环境的影响

李玉全[1,2], 王仁杰[1,2], 姜令绪[1,2]

(1. 青岛农业大学 海洋科学与工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 东营青农黄河三角洲盐碱地综合利用及生态农业研究中心, 山东 东营 257452)

摘要: 为了探讨密度胁迫对日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)生长、存活及水质因子的影响, 作者设置了 100 尾/m^2(DD)、200 尾/m^2(GD)、400 尾/m^2(GZ)、600 尾/m^2(GG)4 个养殖密度, 分析了不同养殖密度下日本囊对虾的生长量、存活率、肥满度及水质因子的差异。结果表明, 实验所监测的水质因子均在对虾生长的安全阈值内, 氨态氮、亚硝态氮、总氮和总磷含量表现出随养殖密度增加逐渐升高的趋势; 体长和体质量增长量、存活率与养殖密度呈负相关, 其中存活率处理间均达到极显著水平($P < 0.01$), 且当养殖密度高于 200 尾/m^2 时存活率迅速降低; 低养殖密度(DD)处理的对虾肥满度与其他处理间差异均达到显著水平($P < 0.01$)。因此, 在相似养殖条件下, 日本囊对虾的适宜养殖密度应该不高于 200 尾/m^2。本实验过程中, 各处理间水质因子均在对虾生长的适宜范围内, 说明水质不是造成对虾死亡的主要原因。所以, 推测密度胁迫可能是造成日本囊对虾存活率低的主要原因。

关键词: 日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*); 密度胁迫; 水环境; 生长

中图分类号: S966.1　　文献标识码: A　　文章编号: 1000-3096(2013)10-0053-05

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)原称日本对虾(*Penaeus japonicus*), 具有耐低温、适应能力强、生长迅速、养殖周期短、色泽艳丽、肉质鲜嫩丰实, 味道鲜美等优点, 市场价格显著高于其他对虾养殖种类。中国 20 世纪 80 年代开始全人工养殖, 至 2005 年养殖面积已达到 47 982 hm^2, 产量 41 090 t [1], 成为中国沿海地区重要的海水养殖对象之一。露天池塘养殖是该虾目前最主要的养殖方式, 单产仅有 850 kg/ hm^2 左右。低产量致使养殖面积逐年减少, 但该虾市场需求量却迅速增加, 供需矛盾日渐突出, 迫切需要探求新的养殖模式以提高产量。

对虾工厂化养殖是 20 世纪末出现的养殖新模式。它是在封闭或半封闭水体中进行高密度集约化养殖, 有利于切断病毒来源、防止疾病传播, 被誉为对虾养殖业的一次新技术革命。根据养殖环境的开放程度, 对虾工厂化养殖可分为全封闭式和半封闭式两种。全封闭式是指放苗前一次性进水, 养殖期间不排水, 只在调整盐度、pH 或补充蒸发失水时少量补水, 如国内现行的循环水养殖、国外的跑道式养殖(raceway farming); 半封闭式是指养殖过程中进行一定量的水交换, 如中国北方地区的室内养殖。中国的对虾工厂化养殖始于 1999 年, 用对虾育苗池及废旧的珍珠育苗池养殖凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 因产量高, 经济效益好, 随后迅速发展起来, 现已遍及中国沿海各省市及部分内陆地区, 平均养殖密度和产量分别为 200~400 尾/m^2 和 2.0~4.0 kg/m^2[2]。刘鹰[3]等报道封闭式循环水养殖凡纳滨对虾, 密度 1 029 尾/m^3, 养殖 84 d, 存活率达 64 %左右, 产量为 6.9 kg/m^3。日本囊对虾具有同类相残 [4]、底质选择 [5]、潜沙、分散活动等生物学特性, 难以直接借鉴凡纳滨对虾工厂化养殖的经验进行日本囊对虾的工厂化养殖。探明不同养殖密度对对虾生长、存活及对水环境等的影响, 是进行高密度工厂化养殖的理论基础。凡纳滨对虾和中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)等工厂化养殖模式的应用和推广都是建立在大量理论研究基础上的 [6-11]。衣萌萌等[12]、李玉全等[9]分析了密度胁迫对凡纳滨对虾生长、行为及生理等方面的影响; Li 等[6]分析了密度胁迫对中国对虾生长性状的影响等。然而, 目前国内对于日本囊对虾高密度养殖的相关理论研究甚少 [13], 对不同养殖密度下日本囊对虾的生长、存活、水环境变化等方面的研究国

收稿日期: 2012-07-02; 修回日期: 2012-08-29

基金项目: 国家自然科学基金(31101916); 山东省自然科学基金(ZR2010CM060); 山东省现代农业产业技术体系; 青岛市产学研合作引导计划(10-3-4-5-6-jch); 青岛农业大学校自然科学基金(610804)

作者简介: 李玉全(1978-), 男, 山东潍坊人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事虾蟹养殖生理生态学研究, 电话: 18561552689, E-mail: jiangfangqian@163.com, 姜令绪, 通信作者, 电话: 18663971121, E-mail: jianglingxu888@163.com

内未见报道。作者拟探讨不同密度胁迫对日本囊对虾生长及水环境的影响，为日本囊对虾工厂化养殖模式的研发提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2011 年 8 月 1 日~9 月 25 日在青岛农业大学动物科技学院开放实验室和潍坊海丰水产养殖有限责任公司进行，历时 56 d，试验材料日本囊对虾购自山东日照对虾育苗场，试验时体长和体质量分别为(0.81±0.088)cm 和(0.005±0.0003)g。

1.2 试验设计与日常管理

试验于 200 L 白色 PVC 桶中进行，注水 140 L，设置 100 尾/m^2(DD)、200 尾/m^2(GD)、400 尾/m^2(GZ)、600 尾/m^2(GG)4 个养殖密度，所有处理均设置 3 个平行组。每天于 5 :00, 11 :00, 17 :00 和 23 :00 投为配合饲料 4 次，日投喂量约为对虾湿质量的 5 %。每天上午 8 :00 时换水 50%，所用海水为自然海水。试验期间连续充气。

1.3 指标测定

试验前随机取 20 尾对虾测体长和体质量，确定开始时的规格。以后每 2 周测定 1 次体长、体质量及水温、盐度、pH、DO 含量、补偿电导率、氨态氮、亚硝态氮、总氮和总磷等水质指标；温度、盐度、pH、DO 含量和补偿电导率借助于 YSI 556 型水质分析仪测定；氨态氮采用靛酚蓝分光光度法测定；亚硝态氮采用萘乙二胺分光光度法测定；总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定；总磷采用过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法测定。

1.4 数据统计分析

体质量和体长增长量以日增量(g/d, cm/d)表示。肥满度(K)的计算公式为：K(g/cm)=(W/L)×100，其中 W 为对虾体质量(g)，L 为对虾体长(cm)。借助 SPSS 11.5 对所得数据进行统计分析，利用单因子方差分析(one-way ANOVA)比较分析不同处理间的差异，$P < 0.05$ 为显著水平，$P < 0.01$ 为极显著水平。

2 结果与分析

2.1 水质因子的变化

如表 1 所示，试验期间各处理的水质参数变化范围为：水温 16.31~27.74 ℃，补偿电导率 50.92~56.84 mS/cm，盐度 34.20~37.72，DO 含量 5.58~7.87 mg/L，DO 饱和度 87.0%~99.3%，pH 7.22~8.88。上述水质因子处理间无显著差异(P>0.05)；总氮(0.82~1.31 mg/L)和总磷(0.07~0.22 mg/L)含量一直维持在较低的水平；各处理氨态氮含量低于 0.8 mg/L、NO_2-N 含量低于 0.3 mg/L，均在对虾生长的安全阈值以下。其中，氨态氮含量的最高值出现在 GZ 处理，其余时期 GG 组的氨态氮含量均高于其他处理，且一直维持在较高水平(大于 0.31 mg/L)。亚硝态氮含量的最高值出现在 GG 处理，养殖前期各处理间差异不显著，随养殖进程各处理亚硝态氮含量逐渐升高，且增幅随密度的增加而增加。差异性分析表明，氨态氮含量 DD 与 GD 处理间无显著差异(P>0.05)，GG 处理与其他处理间差异显著(P<0.05)；亚硝态氮含量 DD 与 GD 处理间无显著差异(P>0.05)，其余处理间差异均达到显著水平(P<0.05)。

表 1 试验期间水质因子的变动

Tab. 1 Variations of water quality parameters during the experiment

水质因子	养殖密度(尾/m^2)			
	100(DD)	200(GD)	400(GZ)	600(GG)
水温(℃)	16.40~27.74	16.34~27.55	16.54~27.61	16.31~27.73
补偿电导率(mS/cm)	52.75~56.84	51.84~56.17	50.92~56.01	51.30~55.91
盐度	34.82~37.72	35.26~37.67	33.47~37.12	34.20~37.05
溶解氧含量(mg/L)	5.58~7.87	5.65~6.45	5.60~7.82	5.58~7.83
溶解氧饱和度(%)	87.0~99.3	88.8~96.6	87.4~98.2	87.0~98.3
pH	8.0~8.88	7.22~8.87	7.87~8.77	7.92~8.73
氨态氮(mg/L)	0.14~0.23	0.25~0.49	0.14~0.79	0.31~0.56
亚硝态氮(mg/L)	0.01~0.14	0.01~0.15	0.07~0.19	0.03~0.29
总氮(mg/L)	0.87~1.04	0.86~1.08	0.82~1.08	0.97~1.31
总磷(mg/L)	0.07~0.18	0.10~0.18	0.10~0.22	0.14~0.20

2.2 密度胁迫对日本囊对虾生长和肥满度的影响

从表 2 可以看出，体长增长量与养殖密度的关系为 DD(0.0918 cm/d) > GD(0.0839 cm/d) > GZ(0.0822 cm/d) > GG(0.0808 cm/d)，其中 GZ 与 GG 处理间差异不显著($P > 0.05$)，其他处理间差异显著($P < 0.01$)；体质量增长量与养殖密度的关系表现为 DD(0.0439 g/d) > GG(0.0349 g/d) > GD(0.0344 g/d) > GZ(0.0325 g/d)，其中 GD 与 GG 处理间差异不显著($P > 0.05$)，其他处理间差异显著($P < 0.05$)；存活率与养殖密度的关系为 DD(66.7 %) > GD(55.6 %) > GZ(38.8 %) > GG(24.1 %)，处理间均达到显著水平($P < 0.01$)；肥满度与养殖密度的关系为 DD(4.148 g/cm) >GG (3.683 g/cm) > GZ(3.508 g/cm) > GD(3.372 g/cm)，其中 DD 处理与其他处理间差异均达到显著水平($P < 0.01$)，GZ 处理与 GD 和 GG 处理间差异不显著($P > 0.05$)，但 GD 处理与 GG 处理间差异显著($P < 0.05$)。

表 2 密度胁迫对日本囊对虾生长量、存活率和肥满度的影响

Tab. 2 Effects of stocking density on growth, survival rate and relative fatness of *Marsupenaeus. japonicus*

养殖密度(尾/m^2)	体长增长量(cm/d)	体质量增长量(g/d)	存活率(%)	肥满度(g/cm)
100(DD)	0.0918±0.0206^a	0.0439±0.0199^a	66.7±20.3^a	4.148^a
200(GD)	0.0839±0.0059^b	0.0344±0.0068^b	55.6±18.7^b	3.372^c
400(GZ)	0.0822±0.0008^c	0.0325±0.0001^c	38.8±13.2^c	3.508^{bc}
600(GG)	0.0808±0.0142^c	0.0349±0.0129^b	24.1±10.3^d	3.683^b

注:上角字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 密度胁迫与水质因子的关系

关于养殖密度对对虾养殖过程中水质因子的影响及其规律研究国内外报道较多。张吕平等[14]分析了养殖密度对凡纳滨对虾养殖水质的影响，认为主要水质因子的变化与对虾的死亡相关；侯文杰等[15]探讨了室内凡纳滨对虾养殖密度对水质的影响，发现随密度增加水质逐步下降；Li 等[6]认为中国对虾养殖密度不同会造成水质因子的差异。前人的报道表明，养殖密度的增加往往导致水质的恶化，从而影响对虾的生长和存活率。因此，水质因子方面的探讨一直是对虾养殖研究的重点之一。本试验所测定的各项水质因子均在对虾生长的安全范围内[16-17]，且水温、补偿电导率、盐度、DO%、DO 含量和 pH 处理间差异均不显著。TAN、NO_2-N、总氮和总磷含量显著受到密度胁迫的影响，由于养殖过程中受到外界环境因子及人为因子的影响，各因子含量呈现出动态变化特征，但总体趋势为物质含量随密度的增加而升高的趋势。这与前人报道结果一致[8-9, 14]。由于本实验期间所测水质因子均在对虾生长的安全范围内，因此作者认为水质因子的变化不是影响对虾生长差异的主要原因。这与李玉全等[9]、Tseng 等[18]、Piyatiratitivorakul 等[19]和 Nga 等[20]的研究结果一致。

3.2 密度胁迫与对虾生长、存活的关系

前人做过大量的对密度胁迫对对虾生长影响的研究。Allan 等[21]和温为庚等[22]对斑节对虾(*Penaeus monodon* Favricius)、张天时等[23]和 Li 等[6]对中国对虾、张吕平等[14]、李玉全等[9]和 Martin 等[24]对凡纳滨对虾不同养殖密度下对虾的生长、存活等进行了探讨，结果均认为较高养殖密度下，对虾的生长率和存活率随养殖密度的继续升高而降低。本研究中，日本囊对虾的生长和存活率同样表现为随养殖密度的增加而降低，这与前人在其他对虾上的研究结果相一致。

日本囊对虾具有同类相残的生物学习性，普遍认为不适合高密度养殖。国内日本囊对虾的养殖也以室外土池的粗放式养殖为主，放养密度一般不超过 75 000 尾/hm^2，产量一般为 800 kg/hm^2 左右[1]。不过，也有利用室内水泥池进行高密度养殖的相关报道，如林琼武[25]等研究的养殖密度为 294 尾/m^3，养殖 87 d，平均成活率达到 50.1%。本实验中，设置了 100、200、400 和 600 尾/m^2 4 个养殖密度，经 56 d 实验，存活率分别为 66.7%、55.6%、38.8%和 24.1%。该结果与林琼武等[25]的报道相近，但低于相似养殖密度下的中国对虾[6]和凡纳滨对虾[9, 15]。仅从存活率方面来看，日本囊对虾较凡纳滨对虾和中国对虾不耐高密度养殖，尤其养殖密度超过 200 尾/m^2 时，

存活率显著降低。因此，基于本实验的结果，作者认为在相似养殖条件下，日本囊对虾的适宜养殖密度应该不高于 200 尾/m^2。本实验过程中，各处理间水质因子均在对虾生长的适宜范围内，说明水质不是造成对虾死亡的主要原因。因此，推断不同养殖密度下的拥挤胁迫程度的差异可能是造成对虾存活率不同的主要原因，但拥挤胁迫如何引起对虾死亡，其过程和机理均不清楚，还需进一步探讨。

参考文献:

[1] 王克行. 虾类健康养殖原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

[2] 李健, 刘得月, 刘淇, 等.北方地区对虾工厂化养殖技术研究[J]. 渔业现代化, 2003, 1: 11-13.

[3] 刘鹰, 杨红生, 刘石林, 等.封闭循环系统对虾合理养殖密度的试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 122-125.

[4] 陈学雷, 林琼武, 李少菁, 等. 日本对虾仔虾相残的实验研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2003, 42(3): 358-362.

[5] 臧维玲, 戴习林, 姚庆祯, 等. 底质对日本对虾幼虾生长的影响[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(1): 72-75.

[6] Li Y Q, Li J, Wang Q Y. The effects of dissolved oxygen concentration and stocking density on growth and non-specific immunity factors in Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Aquaculutre, 2006, 256:608-616.

[7] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 对虾工厂化养殖与池塘养殖系统结构与效益比较分析[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(5): 85-90.

[8] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 养殖密度对工厂化对虾养殖池氮磷收支的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(6): 926-931.

[9] 李玉全, 李健, 王清印, 等. 密度胁迫对凡纳滨对虾生长及非特异性免疫因子的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 2091-2096.

[10] 刘娇, 曲克明, 刘海英, 等. 对虾工厂化养殖水环境基本特征研究[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(6): 1-8.

[11] 李奕雯, 李卓佳, 曹煜成, 等. 对虾海水高密度养殖后期水质因子的昼夜变化规律[J]. 南方水产, 2010, 6(6): 26-31.

[12] 衣萌萌, 于赫男, 林小涛, 等. 密度胁迫下日本囊对虾的行为与生理变化[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 2012,33(1): 81-87.

[13] 孙成波, 李婷, 李义军, 等. 高位池精养日本囊对虾的生长规律[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(4): 316-321.

[14] 张吕平, 胡超群, 沈琪, 等. 不同养殖密度对我国热带地区集约化养殖凡纳滨对虾水质和成活率的影响[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(4): 85-91.

[15] 侯文杰, 臧维玲, 刘永士, 等. 室内凡纳滨对虾养殖密度对水质与生长的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 284-289.

[16] 臧维玲, 戴习林, 徐嘉波, 等. 室内凡纳滨对虾工厂化养殖循环水调控技术与模式[J]. 水产学报, 2008, 32(5): 749-757.

[17] 臧维玲, 杨明, 戴习林, 等. 凡纳滨对虾室内封闭式养殖水质变化与氮收支的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5): 1019-1024.

[18] Tseng K F, Su H M, Su M S. Culture of *Pnaeus monodon* in a recirculating system[J]. Aquaculture Engineering, 1998, 17(2): 138-147.

[19] Piyatiratitivorakul S, Rengpipat S, Viyakarn V, et al. High efficient closed recirculating tube-system use for *Penaeus monodon* culture[C]// 6th Asian Fish Forum, Taiwan: Asian Fisheries Society, 2001: 198.

[20] Nga B T, Lürling M, Peeters E T H M, et al. Chemical and physical effects of crowding on growth and survival of *Penaeus monodon* Favricius post-larvae[J]. Aquaculture, 2005, 246: 455-465.

[21] Allan G L, Maguire G B. Effects of stocking density on production of *Penaeus monodon* Fabricius in model farming ponds[J]. Aquaculture, 1992, 107(1):49-66.

[22] 温为庚, 叶乐, 杨其彬, 等. 养殖密度对斑节对虾存活、生长和能量收支的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 630-632.

[23] 张天时, 孔杰, 刘萍, 等. 饵料和养殖密度对中国对虾幼虾生长及存活率的影响[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 41-49.

[24] Martin J L M, Veran Y, Guelorget O, et al. Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds[J]. Aquaculture, 1998, 164: 135-149.

[25] 林琼武, 单保党, 刘立东, 等. 北方地区秋季日本对虾室内高密度精养的试验[J]. 台湾海峡, 2001, 20(4): 510-514.

Effects of density-stress on water quality and growth of *Marsupenaeus japonicus*

LI Yu-quan[1, 2], WANG Ren-jie[1, 2], JIANG Ling-xu[1, 2]

(1. College of Marine Science & Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 2. Research Center for Synthetic Using and Ecological Agriculture for Saline-alkaline Soil of Huanghe River Delta, Dongying & Qingdao Agriculture University, Dongying 257452, China)

Received: July, 2, 2012
Key words: *Marsupenaeus japonicus*; density-stress; water environment; growth

Abstract: To examine the effects of density-stress on growth, survival rates and water quality during *Marsupenaeus japonicas* farming, four stocking densities (100 (DD), 200 (GD), 400 (GZ) and 600 (GG) individuals/m^2) were set in this study. The body length, body weight, survival rate and water quality factors under different farming densities were determined. The results showed that the water quality factors were all within the safe range for shrimp growth. The concentrations of TAN, NO_2-N, TN and TP increased with the increase of stocking density. The gain of shrimp weight, and length and survival rate reduced with the increase of stocking density. The survival rate reduced significantly when the stocking density was more than 200 individuals/m^2. The relative fatness had significant difference between DD and other treatments ($P < 0.01$). This study suggests that the suitable stocking density for *M. japonicus* is less than 200 individuals/m^2. Furthermore, the density-stress, not the water quality might be the main cause resulting in low survival rate of shrimp.

(本文编辑: 谭雪静)