

溶解氧含量和养殖密度对中国对虾生长的影响

李玉全^{1,2}, 李 健², 王清印², 刘德月²

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:研究溶解氧(DO)含量、养殖密度及两者交互作用对中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)生长、存活率、蜕皮率、摄食量及饵料转化率(FCE)的影响,同时通过生产试验探讨中国对虾工厂化养殖的可行性。结果表明,养殖密度显著影响中国对虾的体重增长量、存活率和体长增长量,影响程度由高到低依次为50尾/m³组(LSD, 0.032 8 g·d⁻¹, 91%和0.041 5 cm·d⁻¹), 200尾/m³组(MSD, 0.030 0 g·d⁻¹, 61%和0.040 3 cm·d⁻¹), 600尾/m³组(HSD, 0.021 0 g·d⁻¹, 39%和0.034 8 cm·d⁻¹)。养殖密度对中国对虾摄食量和FCE的影响达到显著水平,影响程度由低到高依次为LSD(0.061 g·g⁻¹·d⁻¹), MSD(0.081 g·g⁻¹·d⁻¹), HSD(0.094 g·g⁻¹·d⁻¹)和HSD(10.7%), MSD(14.9%), LSD(17.3%)。养殖密度影响中国对虾生长的机制主要取决于存活率、摄食量和食物转化率的变化。DO含量对体重增长量、体长增长量、存活率、蜕皮率、摄食量和FCE的影响不明显。分析发现,蜕皮率和FCE受到DO含量和养殖密度交互作用的影响。生产试验表明,中国对虾在体长小于7 cm,养殖密度在200~250尾/m³时,与相同条件下凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)的生长速度无显著差异,且成活率显著高于后者,说明中国对虾前期进行工厂化养殖是可行的。

关键词:中国对虾;溶解氧含量;养殖密度;蜕皮率;生长;食物转化率(FCE)

中图分类号:S968 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2005)06-0751-06

对虾工厂化养殖是近年兴起的养殖模式。它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。工厂化养殖方式的出现为中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)养殖业的发展提供了契机。对虾工厂化养殖的关键点也即难点是如何解决高密度养殖条件下的增氧问题,即如何根据增氧能力合理搭配养殖密度。因此,溶解氧(DO)含量和养殖密度是限制工厂化养殖的两大因素,前者制约后者的提高,后者影响前者的增加,两者共同影响养殖的产量和效益。故研究DO含量和养殖密度及两者交互作用的影响有利于进一步了解中国对虾的生物学特性,为中国对虾工厂化养殖的发展提供生物学理论。目前,养殖密度对对虾生长的影响研究较多^[1-4],而对DO含量的研究较少,两者的交互作用未见报道。本研究目的是探讨溶解氧含量、养殖密度及两者交互作用对中国对虾体长增长量、体重

增长量、存活率、蜕皮率、摄食量和食物转化率的影响。另外,诸多学者认为凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)是可以进行工厂化养殖的唯一对虾种^[1],本试验同时通过生产试验探讨中国对虾工厂化养殖的可行性。

1 材料与方法

1.1 DO含量和养殖密度试验

1.1.1 材料 试验于2004年7月25日至9月5日在青岛卓越海洋科技股份有限公司进行,历时40 d,试验材料为本试验室培育的中国对虾品种(黄海一号),体长为(5.30±0.5) cm,体重为(1.78±0.3) g。

1.1.2 试验设计 试验在200 L白色PVC桶中进行,注水140 L,设50尾/m³(LSD)、200尾/m³(MSD)和600尾/m³(HSD)3个养殖密度和4~6 mg/L(LDO)、6~10 mg/L(MDO)和10~18 mg/L

收稿日期:2005-05-11; 修订日期:2005-07-11。

基金项目:农业科技跨越计划项目(2003-5);国家科技攻关计划项目(2004BA526B0201)。

作者简介:李玉全(1978-),男,博士生,主要从事养殖生态学方面研究。E-mail: jianglongqian@suhu.com

通讯作者:王清印。E-mail: qgwang@public.qd.scl.cn

1) 第四届世界华人群类养殖研讨会论文集[C], 2004. 12, 23-30, 35.

(HDO) 3个DO水平组。正交设计,设置2个重复。各处理分别表示为, T_{LL} : $LSD \times LDO$, T_{ML} : $MSD \times LDO$, T_{LM} : $LSD \times MDO$, T_{MM} : $MSD \times MDO$, T_{LH} : $LSD \times HDO$, T_{MH} : $MSD \times HDO$, T_{HL} : $HSD \times LDO$, T_{HM} : $HSD \times MDO$, T_{HH} : $HSD \times HDO$ 。

1.1.3 日常管理 DO含量每天6:00和16:00测定2次,另外根据天气变化情况 etc 不定时检测、调控通气量,确保其在试验范围。每天投饵4次(5:00、11:00、17:00和23:00),日投喂量为对虾湿重的8%左右,饵料为常兴牌“中虾3号”配合饲料。每天上午7:00时换水50%,所用海水为高位池过滤的地下水。

1.1.4 指标测定 试验前随机取20尾对虾测体长和体重,确定开始时的规格。以后每10天测定1次体长、体重及水温(T)、盐度、pH、DO含量、电导率、补偿电导率、氨态氮、亚硝态氮和无机磷等水质指标; T 、盐度、pH、DO含量、电导率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;无机磷采用钼钼蓝分光光度法测定;每天6:30和18:30收集虾壳2次,并计数,以确定蜕皮率。试验结束时收虾计算存活率。

1.1.5 摄食量和FCE的测定 试验前,称取15g饵料,70℃烘至恒重,确定饵料的含水量,重复3次;称取10g饵料浸泡于海水中于1.5h和7.5h时收集残饵,70℃烘至恒重,估算饵料在海水中的溶解率,重复3次。实验对虾在设计的密度和溶解氧水平下驯养7d。正式试验前停食1d,排空肠胃中的饵料和粪便。每天6:30和18:30收集残饵2次,70℃烘干称重,确定摄食量。

1.2 生产试验

生产试验同在青岛卓越海洋科技股份有限公司进行,采用室内工厂化养殖池4个(I_{C1} 、 I_{C2} 、 I_{V1} 、 I_{V2}),每池面积为49 m²,试验期间水深0.7 m;室外半集约化养殖池2个(S_{C1} 、 S_{C2}),面积分别为5336 m²和1668 m²;试验期间水深分别为1.0 m和1.3 m。其中 I_{C1} 、 I_{C2} 、 S_{C1} 和 S_{C2} 4个池养殖中国对虾,养殖密度分别为227.4尾/m³、232.6尾/m³、19.3尾/m³和36.9尾/m³; I_{V1} 和 I_{V2} 2个池养殖凡纳滨对虾,养殖密度为232.6尾/m³。凡纳滨对虾规格详见表3。每天投喂6次,日常管理按常规进行,且各处理保持一致。每隔15天测定1次体长,试验结束时计算存活率。

1.3 统计分析方法

体重和体长增长量以日增量($g \cdot d^{-1}$, $cm \cdot d^{-1}$)表示。数据统计分析借助SPSS 11.0,利用单因子方差分析(one-way ANOVA)和Univariate多因素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 试验期间水质因子的变化

如表1所示,试验期间各处理的水质参数变化范围为:水温21.5~23.3℃,补偿电导率37.7~42.1 mS/cm,电导率36.2~39.5 mS/cm,盐度23.9~27.1, pH 6.6~8.4。上述水质因子处理间无显著差异;溶解氧含量始终维持在试验设计范围内;各处理氨态氮质量浓度低于0.6 mg/L, $NO_2^- - N$ 质量浓度低于0.2 mg/L, $PO_4^{3-} - P$ 质量浓度低于0.3 mg/L,均在安全阈值以下。其中,氨态氮浓度各处理只有1个峰值,HSD处理峰值出现时间(8月15日)早于MSD和LSD处理(8月25日),2个最大值(0.5033 mg/L和0.4996 mg/L)出现在DO为6~10 mg/L的处理(T_{LM} 、 T_{HM})中; $NO_2^- - N$ 浓度各处理只有1个峰值,均出现在8月15日,2个最大值(0.1481 mg/L和0.1347 mg/L)出现在密度为200尾/m³的处理(T_{ML} 、 T_{LM})中; $PO_4^{3-} - P$ 浓度变化与 $NO_2^- - N$ 相似,各处理也只有1个峰值,同样出现在8月15日,不过2个最大值(0.2436 mg/L和0.2377 mg/L)出现在密度为600尾/m³的处理(T_{HL} 、 T_{HH})中。差异性分析表明,氨态氮浓度和亚硝态氮浓度各处理间无显著差异,不受养殖密度或DO含量的影响; $PO_4^{3-} - P$ 浓度受到养殖密度的显著影响,且HSD与MSD和LSD间差异显著,而MSD与LSD间差异不显著。

2.2 对虾的生长量、存活率、蜕皮率、摄食量及FCE分析

从表2可以看出,体重增长量与养殖密度的关系密切程度由高到低依次为LSD ($0.0328 g \cdot d^{-1}$)、MSD ($0.0300 g \cdot d^{-1}$)、HSD ($0.0210 g \cdot d^{-1}$),相关系数为-0.867;体长增长量与养殖密度的关系密切程度由高到低依次为LSD ($0.0415 cm \cdot d^{-1}$)、MSD ($0.0403 cm \cdot d^{-1}$)、HSD ($0.0348 cm \cdot d^{-1}$),相关系数为-0.663;存活率与养殖密度的关系密切程度由高到低依次为LSD (91%)、MSD (61%)、HSD

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 Variable	T _{LL}	T _{SL}	T _{LM}	T _{SM}	T _{LH}	T _{MH}	T _{HL}	T _{SH}	T _{HH}
水温/℃ Temperature	21.8- 23.3	21.5- 23.2	21.6- 23.0	21.5- 22.9	21.6- 23.1	21.7- 23.2	21.6- 22.9	21.5- 23.1	21.5- 23.1
电导率/(mS·cm ⁻¹) Conductivity	36.7 38.5	36.4 39.5	36.3 39.5	36.2 39.4	36.4 39.5	36.4 39.5	36.2- 39.5	36.5- 39.5	36.3- 39.5
补偿电导率/(mS·cm ⁻¹) C.compensation	38.0- 42.0	37.7- 42.1	37.8- 42.1	37.8- 42.1	37.9- 42.1	37.7- 42.1	37.8- 42.1	37.9- 42.1	37.8 42.1
盐度 Salinity	24.1 27.0	23.9 27.0	24.0 27.0	24.0 27.0	24.1 27.0	23.9 27.0	24.0- 27.1	24.1- 27.1	23.9- 27.1
溶解氧/(mg·L ⁻¹) Dissolved oxygen	5.0- 6.0	5.3- 5.9	7.0- 8.9	7.0- 8.6	11.9- 16.3	12.1- 17.2	5.4- 5.8	7.0- 8.9	11.4- 17.9
pH	6.6-8.4	6.6-8.3	7.0-8.3	7.0-8.1	7.0-8.2	7.0-8.1	6.6-7.6	7.0-8.0	7.0-8.1
氨态氮/(mg·L ⁻¹) TAN	0.03- 0.34	0.10- 0.38	0.08- 0.50	0.13- 0.50	0.06- 0.34	0.10- 0.50	0.07- 0.36	0.05- 0.45	0.10- 0.43
NO ₂ ⁻ -N/(mg·L ⁻¹)	0.01 0.13	0.02 0.15	0.01- 0.05	0.02- 0.14	0.01- 0.06	0.02- 0.09	0.04- 0.08	0.05- 0.17	0.03- 0.07
PO ₄ ³⁻ -P/(mg·L ⁻¹)	0.03- 0.11	0.04- 0.13	0.02- 0.10	0.04- 0.14	0.02- 0.10	0.06- 0.15	0.08- 0.24	0.08- 0.20	0.05- 0.25

(39%), 相关系数为-0.917; 养殖密度与蜕皮率的相关系数为0.221; DO含量与体重增长量、体长增长量、存活率及蜕皮率的相关系数分别为-0.283、0.044、-0.062和0.404。方差分析及差异性检验表明, 养殖密度对体重增长量、体长增长量和存活率的影响达到显著或极显著水平, 且体重增长量和体长增长量HSD与LSD和MSD间差异显著, LSD与MSD间差异不显著; 存活率3种密度间两两差异显著; DO含量和养殖密度的交互作用极显著地影响蜕皮率($F=9.449, P=0.006<0.01$), HSD×MDO组合(13.5%)最高, LSD×LDO组合(9.7%)最低。

中国对虾的摄食量随养殖密度的升高而增加, 食物转化率随养殖密度的升高而降低。DO含量对摄食量和食物转化率的影响不明显($P>0.05$)。差异性分析表明, 养殖密度对中国对虾摄食量的影响达显著水平($F=6.20, P<0.05$), 从低到高依次为LSD($0.061\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), MSD($0.081\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), HSD($0.094\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), 且HSD与MSD和LSD间差异显著, MSD与LSD间差异不显著; 养殖密度对FCE也存在显著影响($F=167.35, P<0.001$), 从低到高依次为HSD(10.7%), MSD(14.9%),

LSD(17.3%), 且处理间差异显著。进一步分析表明, FCE受到DO含量与养殖密度交互作用的影响($F=21.91, P<0.01$), LSD×HDO组合(20.4%)最高, HSD×MDO组合(10.0%)最低。

2.3 生产试验结果

从表3可以看出, 工厂化养殖条件下, 养殖密度为227.4尾/ m^3 (I_{C2})和232.6尾/ m^3 (I_{C1}, I_{V1}, I_{V2})时, 中国对虾(I_{C1} 和 I_{C2})的体长增长量为 $0.0638\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$, 平均存活率为76.5%; 凡纳滨对虾(I_{V1} 和 I_{V2})的体长增长量为 $0.0723\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$, 平均存活率为61.5%。差异性分析表明, 中国对虾与凡纳滨对虾的体长增长量间无显著差异($F=12.929, P=0.069>0.05$), 而存活率间的差异达到显著水平($F=50.000, P=0.019<0.05$)。

在中国对虾半集约化养殖条件下, 养殖密度为19.3尾/ m^3 (S_{C1})和36.9尾/ m^3 (S_{C2})时, 体长增长量分别为 $0.0857\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.0677\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$, 存活率因检测误差较大未列出。差异性分析表明, 工厂化养殖(I_{C1} 和 I_{C2})和半集约化养殖(S_{C1}, S_{C2})中国对虾体长增长量间不存在显著性差异($F=1.915, P=0.301>0.05$)。

表2 溶解氧和密度梯度对中国对虾生长量、存活率、蜕皮率、摄食量及 FCE 的影响

Tab.2 Effects of DO level and stocking density on growth, survival rate, ecdysis rate, ingestion and FCE in *F. chinensis*

处理 Treatment	体重增长量/(g·d ⁻¹) Weight gain	体长增长量/ (cm·d ⁻¹) Length gain	存活率/% Survival	蜕皮率/(%·d ⁻¹) Daily ecdysis rate	摄食量/ (g·g ⁻¹ ·d ⁻¹) Food ingestion	FCE/% FCE/%
T _{1L}	0.033 30±0.000 ^a	0.042 75±0.002 ^a	86±0.0 ^a	9.9±1.27 ^b	0.063±0.005 ^a	15.1±0.14 ^a
T _{1M}	0.031 47±0.003 ^a	0.041 00±0.001 ^a	46±5.1 ^b	12.1±0.00 ^a	0.079±0.017 ^a	16.2±0.14 ^b
T _{1M}	0.032 83±0.001 ^a	0.042 50±0.001 ^a	86±0.0 ^a	12.7±1.27 ^a	0.067±0.013 ^a	16.5±0.07 ^a
T _{20L}	0.027 68±0.000 ^a	0.039 13±0.006 ^a	66±2.5 ^b	9.7±0.71 ^b	0.086±0.014 ^a	15.0±0.14 ^b
T _{20M}	0.031 68±0.001 ^a	0.039 50±0.006 ^a	100±0.0 ^a	12.9±1.31 ^a	0.054±0.011 ^a	20.4±1.55 ^a
T _{20L}	0.030 46±0.004 ^a	0.043 00±0.002 ^a	71±5.1 ^b	12.3±0.00 ^a	0.082±0.028 ^a	13.5±0.14 ^b
T _{10L}	0.024 65±0.000 ^b	0.033 75±0.000 ^b	43±0.8 ^c	12.5±0.00 ^a	0.090±0.000 ^b	11.7±0.35 ^c
T _{10M}	0.020 22±0.000 ^b	0.033 50±0.002 ^b	39±3.4 ^c	13.5±0.45 ^a	0.088±0.004 ^b	10.0±0.64 ^c
T _{10L}	0.018 17±0.003 ^b	0.036 63±0.002 ^b	34±4.2 ^c	13.4±0.39 ^a	0.104±0.004 ^b	10.3±0.14 ^c

注:上角字母不同表示差异显著(P<0.05)。

Note: Different subscripts within columns mean significant differences (P<0.05).

表3 中国对虾和凡纳滨对虾在生产中的体长增长量和存活率的差异

Tab.3 Differences of shrimp length gain and survival rate of *F. chinensis* and *P. vannamei* in commercial farming

处理 Treatment	放苗时间 Start date	结束时间 End date	养殖密度/(尾·m ⁻²) Stocking density	初始体长/cm Initial body length $\bar{X} \pm SD$	最终体长/cm Final body length $\bar{X} \pm SD$	存活率/% Survival $\bar{X} \pm SD$
I ₁	05-26	07-30	232.6	2.2±0.03 ^a	6.2±0.04 ^a	75±3.2 ^a
I ₂	05-26	07-30	227.4	2.3±0.07 ^a	6.6±0.11 ^a	78±6.8 ^a
I ₂	05-26	07-30	232.6	2.1±0.06 ^a	6.8±0.08 ^a	60±5.4 ^b
I ₂	05-26	07-30	232.6	2.1±0.01 ^a	6.8±0.06 ^a	63±2.1 ^b
S ₁	05-14	07-30	19.3	1.3±0.06 ^b	7.9±0.13 ^b	-
S ₂	04-28	07-30	36.9	1.5±0.02 ^b	7.8±0.04 ^b	-

注:上角字母不同表示差异显著(P<0.05)。

Note: Different subscripts within columns mean significant differences (P<0.05).

3 讨论

3.1 DO含量与水质因子的关系

诸多试验证明,水体DO含量对氮磷的释放起作用。袁文权等^[5]报道,厌氧条件加速底泥释放磷和氨氮,得出厌氧条件下氨氮的释放速率为4.52 mg/(m²·d),磷的释放速率为1.30 mg/(m²·d);而好氧条件下氨氮的释放速率为0.27 mg/(m²·d),磷的释放速率为0.01 mg/(m²·d);何本茂等^[6]报道,水体中溶解氧含量丰富会使氧化分解作用活跃,加速海水中污染物的降解。然而本试验中没有发现DO含量对氨态氮、亚硝态氮和无机磷含量的促进或抑制作用。其可能的原因,一是试验过程中大量的换水冲淡污染物质的浓度,掩盖了溶解氧的效应;二是李健等^[7]报道水体中氨氮、硫化氢等有害物质

的含量与溶解氧有密切关系,认为生产中养殖池溶解氧含量应经常保持在4 mg/L以上是必要的。因此,可能4 mg/L的DO含量可以满足水体硝化作用和氧化作用对氧的需求,而试验中设置的3个DO含量均在4 mg/L以上,故处理间未表现出显著差异。

3.2 养殖密度和DO含量与对虾生长的关系

养殖密度对对虾生长的影响国内外报道较多。本试验发现,随养殖密度的增加,对虾的生长量和存活率显著降低。这与Martin等^[2]、Allan等^[8]、兰国宝等^[9]的结果一致。试验中未发现养殖密度与对虾蜕皮频率间的关系,此方面国内外也鲜见报道,其关系还有待进一步研究。

Martin等^[2]及Thakur等^[10]报道,提高对虾养殖密度会降低饵料的利用率,并认为利用率的高低与饵料种类、投喂方式及日常管理有关。本试验发

现,养殖密度对中国对虾的摄食量和 FCE 存在一定的影响,表现为随养殖密度的增加摄食量增加,饵料利用率降低。可能的原因是高养殖密度时对虾竞争摄食,增加饵料的消耗,同时对虾为抵抗养殖密度过大造成的竞争而增加能量消耗,影响生长,从而降低饵料利用率。本试验中对虾 FCE 低于 Chen 等^[11]、Martin 等^[2]及 Thakur 等^[10]的报道,可能与养殖水体较小、日换水量大、养殖密度高及定时收集残饵等因素有关。养殖水体小、养殖密度高、换水量大不利于浮游类饵料生物的生长,加速饵料溶解;残饵收集限制对虾充分摄食,在一定程度上都会影响饵料的利用率。这与 Avnimelech 等^[12]的观点基本一致。

国内外对养殖环境中溶解氧的研究多集中于下限值确定、变动规律分析及低溶解氧含量对养殖生物的影响^[7, 13-15],对于高溶解氧含量对对虾的影响报道较少。Foss 等^[16-17]分析了两种 DO 含量(9.6 mg/L 和 14.5 mg/L)对斑点狼鱼(*Anarhichas minor*)的影响,结果发现 DO 含量与生长无相关关系。本试验中,过饱和溶解氧含量(10~18 mg/L)未对对虾的生长量、存活率和蜕皮率造成影响,这与 Foss 等^[16-17]的结论一致。因此认为,中国对虾养殖过程中 DO 含量在 4~18 mg/L 时不会引起生长和存活的差异。

李健等^[7, 15]报道低 DO 含量(<3.0 mg/L)会影响对虾的摄食量,且摄食量随 DO 含量的降低而下降,当水体中 DO 含量低于 3 mg/L 时摄食量明显减少,DO 含量降低到 2 mg/L 以下时对虾几乎不摄食。关于高 DO 含量对对虾 FCE 的影响目前少见报道。本试验发现 DO 含量(4~18 mg/L)没有影响中国对虾的摄食量和 FCE。

3.3 中国对虾工厂化养殖的可能性分析

目前,诸多学者认为凡纳滨对虾是可以进行工厂化养殖的唯一对虾种类。本试验中,中国对虾养殖密度 200 尾/ m^3 时存活率为 60%左右,且生长速率与养殖密度为 50 尾/ m^3 的处理差异不显著($F=0.110, P=0.756>0.05$),说明中国对虾体长小于 7 cm,养殖密度为 200 尾/ m^3 时生长和存活不会受到显著影响。另外,本研究在进行中国对虾工厂化养殖、半集约化养殖和凡纳滨对虾工厂化养殖生产对比试验中发现,中国对虾养殖密度为 227.4 尾/ m^3 和 232.6 尾/ m^3 时,成活率为 76.5%,显著高于相同养殖

密度下的凡纳滨对虾(61.5%)。体长增长较半集约化养殖和工厂化养殖的凡纳滨对虾稍慢,但方差分析差异不显著。通常认为,高密度养殖下凡纳滨对虾的成活率要高于中国对虾,然而本试验中国对虾的成活率却显著高于凡纳滨对虾,可能是试验采用对虾新品种黄海一号的缘故。黄海一号具有生长速度快、抗逆能力强等优点,规模养殖试验群体的体长比对照平均增长 8.40%,体重增长 26.86%,养殖成功率超过 90%,而未经选育的对照池养殖成功率不足 70%^[1]。因此,试验说明中国对虾前期进行工厂化养殖是可行的,至少养殖密度在 200~250 尾/ m^3 时可行,但随养殖进行生长速度和存活率是否会出现大幅度的变化,是否能够顺利养成还有待研究。

参考文献:

- [1] Corran G J, Crocos P J, Preston N P, et al. The effects of density on the growth and survival of different families of juvenile *Penaeus japonicus* bato [J]. *Aquaculture*, 2004, 229: 215-223.
- [2] Martin J L M, Veron 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.
- [3] Lanari D, Ballestrazzi R, Tibaldi E. Effects of fertilization and stocking rate on the performance of *Penaeus japonicus* (Bato) in pond culture [J]. *Aquaculture*, 1989, 83: 269-279.
- [4] Wyhan J A, Lee C S, Sato V T, et al. Effect of stocking density on shrimp growth rates in manure-fertilized ponds[J]. *Aquaculture*, 1987, 61: 23-32.
- [5] 袁文权, 张福卿, 张丽萍. 不同供氧方式对水库底泥氮磷释放的影响[J]. *湖泊科学*, 2004, 16(1): 28-34.
- [6] 何本茂, 韦曼新. 北海湾水体自净能力的探讨[J]. *海洋环境科学*, 2004, 23(1): 16-18.
- [7] 李健, 孙休海, 赵法融. 水温和溶解氧含量对中国对虾摄食影响的观察[J]. *水产学报*, 1993, 17(4): 333-336.
- [8] Allan G L, Maguire G B. Effects of stocking density on production of *Penaeus monodon* Fabricius in model farming ponds [J]. *Aquaculture*, 1992, 107: 49-66.
- [9] 闫国宝, 周冰, 廖忠明. 南美白对虾集约化养殖产量与密度关系研究[J]. *水产养殖*, 2003, 24(4): 38-39.
- [10] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems [J]. *Aquac Engin*, 2003, 27: 159-176.
- [11] Chen J C, Liu P C, Lin Y T. Culture of *Penaeus monodon* in an intensified system in Taiwan [J]. *Aquaculture*, 1989, 77: 319-328.

1) 黄海所选育的“黄海 1 号”中国对虾养殖新品种通过技术鉴定[Z]. <http://www.jsfri.sc.cn/ShowNews.aspx?ItemID=180&ModellD=4>.

- [12] Avnimelech Y, Kochuba M, Dab S. Development of controlled intensive aquaculture with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio [J]. *Bamidgeh*, 1994, 46: 119-131.
- [13] Madenjian C M, Ropes G L, Fast A W. Predicting night-time dissolve oxygen loss in prawn pond of Hawaii. Part 1. Evaluation of traditional methods [J]. *Aquac Engin*, 1987, 6:191-208.
- [14] Aquacop, Bedier E, Soyca C. Effects of dissolved oxygen concentration on survival and growth of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* [J]. *J World Aquac Soc*, 1988, 19: 13A.
- [15] 李健, 孙林涛, 赵法箴. 水温、溶解氧含量对中国对虾消化速度的影响 [J]. *海洋科学*, 1993(5):4-6.
- [16] Foss A, Evensen T H, Istad V. Effects of hypoxia and hyperoxia on growth and food conversion efficiency in the spotted wolffish *Anarhichas minor* (Olfen) [J]. *Aquac Res*, 2002, 33: 437-444.
- [17] Foss A, Vollen T, Istad V. Growth and oxygen consumption in normal and O₂ supersaturated water, and intensive effects of O₂ saturation and ammonia on growth in spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olfen) [J]. *Aquaculture*, 2003, 224: 105-116.

Effects of dissolved oxygen concentration and stocking density on growth performance in *Fenneropenaeus chinensis*

LI Yu-quan^{1,2}, LI Jian², WANG Qing-yin², LIU De-yue²

(1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Key Laboratory for Sustainable Utilization for Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: This experiment was designed in a two-by-three factorial with three levels of stocking densities [50 shrimps per m³ (LSD), 200 shrimps per m³ (MSD) and 600 shrimps per m³ (HSD)] as one factor and three levels of DO concentration [4-6 mg/L (LDO), 6-10 mg/L (MDO) and 10-18 mg/L (HDO)] as second factor. All treatments had two replications. 40 days investigation was listed. Shrimp average length and average weight were (5.30 ± 0.5) cm and (1.78 ± 0.3) g, respectively, at the beginning of study. The purpose was to determine the effects of dissolved oxygen (DO) concentration, stocking density and interactive effect on growth rate, survival rate, average daily ecdysis rate, ingestion and food conversion efficiency (FCE) of *Fenneropenaeus chinensis*. Water quality parameters were discussed at the same time. The feasibility of super-intensive farming of *Fenneropenaeus chinensis* was discussed. The results showed that temperature, conductivity, conductivity compensation, salinity and pH were not significantly different among the treatments. Moreover, TAN, NO₂⁻-N and PO₄³⁻-P concentrations in all of the treatments remained low (<0.6 mg/L, <0.2 mg/L and <0.3 mg/L, respectively) during the experimental period. Shrimp weight gain and survival rate were significantly higher in LSD than those in MSD and HSD, but the treatments with DO concentration had not significantly affected weight gain and survival rate. Shrimp length gain showed LSD>MSD>HSD. Average daily ecdysis rate ranged from 9.7% to 13.4% and was not significantly different among the treatments. There was an interactive effect of DO concentration and stocking density on average daily ecdysis rate. Ingestion and FCE were significantly affected by stocking density, not by DO concentration. Ingestion increased with the increase of stocking density, but FCE reduced with the increase of stocking density. There was an interactive effect of DO concentration and stocking density on FCE in this study. The present study demonstrates that super-intensive farming at the prophase of *Fenneropenaeus chinensis* is feasible.

Key words: *Fenneropenaeus chinensis*; DO concentration; stocking density; average daily ecdysis; growth; food conversion efficiency (FCE)

Corresponding author: WANG Qing-yin. E-mail: qywang@public.qd.sd.cn