

饲养密度对克氏原螯虾生长和成活率的影响

陈 勇

(南京晓庄学院应用生态研究所, 南京 211171)

摘 要: 用不同密度 (12、20、32、40、52 和 60 尾 m^{-2}) 饲养克氏原螯虾体重 (2.4 ± 0.2) g 2 个月, 分别求得其相对生长率、成活率和残肢率, 测定其血细胞吞噬活性和血清中酸性磷酸酶 (ACP)、溶菌酶 (LZM)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性, 旨在探讨饲养密度对克氏原螯虾生长、成活和抗病力影响的机制。结果表明, 随着饲养密度的增加, 克氏原螯虾的相对生长率、成活率、血细胞吞噬活性及血清中 ACP、LZM 活性均呈逐渐下降趋势; 残肢率呈逐渐上升趋势; 血清中 SOD、CAT 活性呈先升高后下降趋势。本研究认为, 随着饲养密度的增加, 克氏原螯虾个体用于应对环境胁迫的能量消耗增多, 对空间资源的竞争加剧, 为了争夺自己的领地空间和生存资源不惜自相残杀; 机体对自由基的清除能力下降, 使“自由基稳态动态”被打破, 导致抗氧化系统紊乱, 机体受到氧化损伤, 细胞免疫和体液免疫水平均显著下降, 可能是克氏原螯虾生长速度减缓、成活率逐渐降低、死亡率逐渐升高的主要原因。考虑到既要能充分利用水体资源又要获得最大的生长率和成活率, 20 尾 m^{-2} 的饲养密度为此规格克氏原螯虾适宜的饲养密度。

关键词: 饲养密度; 克氏原螯虾; 生长; 成活率

中图分类号: S966.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)01-0037-05

Effect of stocking density on growth and survival rate of *Procambarus clarkii*

CHEN Yong

(Institute of Applied Ecology, Nanjing Xiaozhuang College, Nanjing 211171)

Abstract: To observe the influence of stocking density on the growth and survival rate of *P. clarkii* and to investigate the suitable stocking density of *P. clarkii* at the size, *Procambarus clarkii* Girard (initial weight of $2.4 g \pm 0.2 g$) were reared at different stocking densities of 12, 20, 32, 40, 52 and 60 individuals m^{-2} for two months. The relative growth rate, the survival rate and the limb loss rate were calculated. The activities of ACP, LZM, SOD and CAT in serum and the phagocytic activity of blood cells were determined after 60 days feeding period in order to observe the influence of stocking density on the growth and survival rate of *P. clarkii*, to investigate the probable reasons and confirm the fitting stocking density of *P. clarkii* at the size. Results showed that the relative growth rate, the survival rate and the activities of ACP and LZM in the serum showed a declining trend and the limb loss rate presented a gradually rising trend with the increasing stocking density. The activities of SOD and CAT in the serum were first increased and then decreased with the increasing stocking density. We concluded that the decreased growth rate, reduced survival rate, and increased mortality rate as the increasing stocking density of *P. clarkii* might be caused by the increased competition for the energy resources and territorial space among the individuals. The free radical scavenging ability was decreased, and the "free radical homeostasis in dynamic" was broken, which resulted in the antioxidant system disorder, the organism oxidative damage, cellular and humoral immunity declined in the body of *P. clarkii*. Twenty individuals m^{-2} might be a suitable stocking density of *P. clarkii* at the size of $2.4 g \pm 0.2 g$, considering the growth rate, the survival rate, and adequately utilized water resource.

收稿日期: 2014-05-29

基金项目: 江苏省“生态学”一级重点建设学科和南京市“环境科学与工程”重点学科项目共同资助。

作者简介: 陈 勇, 教授。E-mail: chenrong186@sohu.com

Key words: stocking density; *Procambarus clarkii* Girard; growth; survival rate

养殖密度是影响水体生产力的重要因素。养殖者为了充分利用水体资源去获得更大的产量, 往往进行高密度养殖。然而, 养殖密度不仅是影响养殖容量的主要因素, 还与水生生物的生长和存活率有密切联系。邓梦颖等^[1]的研究表明, 随着饲养密度的增大, 克氏原螯虾幼虾的体长、特定生长率、平均日增重、仔活率和蜕壳率都随养殖密度的增大而减小, 降幅明显; 方春林等^[2]研究表明, 克氏原螯虾亲虾的放养密度与其成活率和抱卵量呈极显著负相关关系。本研究旨在研究饲养密度对克氏原螯虾残肢率及血淋巴细胞吞噬活性、血清中几种免疫酶活性的影响, 以期探讨高密度饲养下克氏原螯虾成活率低的原因和机制以及此规格较为适宜的饲养密度。

1 材料与方法

1.1 试验材料

克氏原螯虾幼虾购自南京高淳县水产养殖公司; 试验饲料原料购自南京水产研究所养殖实验基地。

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)来自南京晓庄学院食品科学学院微生物实验室。

酸性磷酸酶(ACP)、溶菌酶(LZM)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)检测试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验是在南京晓庄学院生态学省级重点建设学科水产动物生理生态研究室内的 18 个水族箱中进行的。试验设置 6 个饲养密度处理组, 在相同(底面积 0.25 m²、水深 0.3 m)的水族箱中分别放养 3、5、8、10、13 和 15 尾幼虾, 体长(3.5±0.2) cm, 体重(2.4±0.2) g, 每个处理组 3 个重复, 对应饲养密度分别为 12、20、32、40、48、52 和 60 尾 m⁻²。

表 1 克氏原螯虾不同饲养密度组的设置

Table 1 Design of groups with different stocking densities of *Procambarus clarkii*

项目 Item	组别 Group					
	I	II	III	IV	V	VI
面积/m ² 箱 ⁻¹ Area	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
虾数/尾 箱 ⁻¹ No. of shrimp tail	3	5	8	10	13	15
密度/尾 m ⁻² Density tail	12	20	32	40	52	60

1.2.2 饲养方法 试验用克氏原螯虾先驯养 7 d, 待供试虾适应环境、生活正常后, 挑选健康状况良好、附肢齐全、大小基本相同的克氏原螯虾称重后随机放入 18 个水族箱中。各箱随机排列, 并放置适量水草、假山石或带孔的砖块供克氏原螯虾躲避和休息。试验期间及驯养期所用饲料为依据克氏原螯虾幼虾营养需要而制备的硬颗粒配合饲料(粒径为 1.2 mm)。配方质量分数为鱼粉 5.00%、豆饼 35.00%、菜饼 5.00%、棉饼 5.00%、次粉 35.00%、麦麸 5.00%、皮糠 5.00%、磷酸氢钙 1.50%、沸石粉 2.00%、盐 0.50% 和预混料 1.00%。试验用水为曝气后的自来水。试验期间水温为室内自然温度(21~26℃), 全天 24 h 充气增氧。各处理组分别在每天清晨和傍晚分 2 次投喂等量的饲料并做记录, 投喂量为每箱虾体重的 5%, 每周调整 1 次。每次投喂前 1 h 吸净前次粪便后再投喂。每 3 d 换水 1 次, 每次换水三分之一, 连续饲养 2 个月。饲养期结束前一天禁食, 饲养试验结束时对每箱虾计数, 对每个个体进行量体长、称体重, 并观察和记录附肢是否完整。计算相对增长率、相对增重率、成活率和残肢率指标。

相对增长率(%)=100×[(终均体长-初均体长)/初均体长]

相对增重率(%)=100×[(终均体重-初均体重)/初均体重]

成活率(%)=100×成活尾数/投放尾数

残肢率(%)=100×附肢不完整尾数/成活尾数

1.2.3 测定方法 (1) 吞噬菌株的制备。将金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)在肉汤培养基中 37℃ 振荡培养 24 h 后, 离心集菌。用 0.15 mol L⁻¹ 无菌生理盐水洗涤 3 次, 将菌液悬浮于一定量的生理盐水中, 隔水煮沸 10 min 灭活, 离心集菌。用生理盐水调整浓度为 3×10⁸ cfu mL⁻¹ 菌悬液, 置 4℃ 冰箱保存备用。

(2) 吞噬活性的测定。饲养试验结束后从每个试验组取虾 3 尾(每个重复组 1 尾), 用经抗凝剂润洗过的 1 mL 一次性注射器自虾头胸甲后部血窦插入心脏取血, 用于测定血细胞的吞噬活性。测定方法参照陈孝煊等^[3]略做修改: 心脏取血 0.3 mL, 置于已加入 0.3 mL 抗凝剂的 1.5 mL 无菌离心管中, 再加入 0.15 mol L⁻¹ 冷的(4℃)生理盐水 0.6 mL, 摇匀后加入 250 μL 浓度为 3×10⁸ cfu mL⁻¹ 金黄色葡萄

球菌悬液,混匀后于 28℃保温 1 h,其间不断摇匀。取出后 2000 r min⁻¹离心 4 min,弃上清液,然后用吸管吸取血细胞涂片,每个样品涂 5 片,晾干后滴加甲醇固定 3 min,姬姆萨染色 1~2 min,背面冲洗后风干,油镜下观察计数,每片计 100 个血细胞对细菌的吞噬率和吞噬指数,并用以下公式计算每片的吞噬率和吞噬指数:

吞噬率(PP)=吞噬了细菌的血细胞数/被观察血细胞总数×100%;

吞噬指数(PI)=被吞噬的细菌总数/参与吞噬的血细胞数。

(3)免疫酶的测定。另从每个试验组取虾 6 尾(每个重复组 2 尾),用经抗凝剂润洗过的 1 mL 一次性注射器自虾头胸甲后部血窦插入心脏取血,置于 1.5 mL 无菌离心管中,于 4℃冰箱中过夜后,以 3500 r min⁻¹离心 10 min,取上清液作为待测血清,用于测定克氏原螯虾血清中酸性磷酸酶(ACP)、溶菌酶(LZM)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)及过氧化氢酶(CAT)活力。克氏原螯虾血清中 ACP、LZM、SOD 及 CAT 活力的检测均使用南京建成生物工程

研究所生产的试剂盒测定。采用磷酸苯二钠法测定 ACP 活力,其活力单位定义为:100 mL 血清在 37℃与基质作用 30 min 产生 1 mg 酚为 1 单位(U·100 mL⁻¹)。采用黄嘌呤氧化酶法(羟胺法)测定 SOD 活性,其活力单位定义为:每毫升反应液中 SOD 抑制率达 50% 时对应 SOD 的量为一个酶活力单位(U mL⁻¹);采用钼酸铵法测定 CAT 活力,其活力单位定义为:每毫升血清每秒分解 1 μmol 的 H₂O₂ 的量为 1 活力单位(U mL⁻¹)。采用空白对照比浊法测定血清中溶菌酶含量,溶菌酶含量单位为 U mL⁻¹。具体测定步骤按照说明书进行。

1.2.4 统计方法 试验数据用 ANOVA 进行方差分析,Duncan's 进行多重比较。试验结果用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 饲养密度对克氏原螯虾生长、成活率和残肢率的影响

试验结果表明,饲养密度对克氏原螯虾生长、成活率和残肢率有显著影响,具体结果见表 2。

表 2 饲养密度对克氏原螯虾生长、成活率和残肢率的影响

Table 2 Effect of stocking density on the growth, survive and limb loss rate of *Procambarus clarkii*

项目 Item	组别 Group					
	I	II	III	IV	V	VI
虾数/尾 箱 ⁻¹ Number	3	5	8	10	13	15
密度/尾 m ⁻² Density tail	12	20	32	40	52	60
终均体长/cm Harvest average length	6.3±0.2 ^a	6.1±0.2 ^a	5.7±0.2 ^b	5.4±0.1 ^c	5.1±0.1 ^d	4.8±0.2 ^e
终均体重/g Harvest average weight	11.2±0.4 ^a	10.8±0.4 ^a	9.2±0.5 ^b	8.4±0.2 ^c	7.7±0.2 ^d	7.0±0.3 ^e
死亡数 尾 箱 ⁻¹ Mortality	0.0±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a	1.3±0.6 ^b	2.7±0.6 ^c	3.7±0.6 ^c	6.0±1.0 ^d
相对增长率/% Length increasing rate	79.0±4.4 ^a	74.3±5.7 ^a	63.8±4.4 ^b	53.3±1.6 ^c	44.8±1.6 ^d	36.2±4.4 ^e
相对增重率/% Weight increasing rate	349.3±16.2 ^a	332.0±16.0 ^a	269.3±18.0 ^b	234.7±6.1 ^c	209.3±8.3 ^d	180.0±10.6 ^e
成活率/% Survival rate	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	83.3±7.2 ^b	73.3±5.8 ^c	71.8±4.4 ^c	60.0±6.7 ^d
残肢率/% Limb loss rate	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	4.2±7.2 ^b	14.1±5.1 ^a	18.2±5.1 ^a

注:表中同一行数据中含不同字母表示均值有显著差异(P<0.05)。下同。

Note: The different letters in the same row represent significant difference at the 0.05 level. The same below.

表 3 饲养密度对克氏原螯虾血细胞吞噬活性和血清中 4 种免疫酶活性的影响

Table 3 Effect of stocking density on the activities of blood cell phagocytosis and ACP, LZM, SOD and CAT in serum

项目 Item	组别 Group					
	I	II	III	IV	V	VI
虾数/尾 箱 ⁻¹ Number	3	5	8	10	13	15
密度/尾 m ⁻² Density tail	12	20	32	40	52	60
PP/%	54.00±1.64 ^a	52.60±3.70 ^a	43.60±0.92 ^b	34.33±1.45 ^c	23.83±1.12 ^d	11.60±1.11 ^e
PI	7.41±0.18 ^a	7.42±0.28 ^a	6.03±0.22 ^b	4.84±0.15 ^c	3.73±0.20 ^d	2.90±0.18 ^e
ACP/U L ⁻¹	83.42±3.51 ^a	78.73±7.52 ^a	56.69±3.79 ^b	46.87±4.53 ^c	29.88±4.81 ^d	11.96±1.32 ^e
LZM/U ml ⁻¹	24.36±1.17 ^a	24.97±1.32 ^a	19.78±1.69 ^b	17.84±1.34 ^b	13.43±1.51 ^c	11.96±1.32 ^c
SOD/U ml ⁻¹	117.77±1.25 ^b	110.31±4.48 ^b	146.72±8.15 ^a	139.11±1.73 ^a	85.63±5.08 ^c	54.13±4.61 ^d
CAT/U ml ⁻¹	0.26±0.03 ^d	0.28±0.05 ^d	0.49±0.03 ^c	0.64±0.08 ^b	0.82±0.05 ^a	0.16±0.03 ^e

由表 2 看出,随着克氏原螯虾饲养密度的增大,平均每尾虾的相对增长、相对增重和成活率均成下降

趋势。在饲养密度为 12 尾 m^{-2} 和 20 尾 m^{-2} 时, 相对增长和相对增重都是最大的, 二组间没有显著差异, 成活率均为 100%。当饲养密度达到及超过 32 尾 m^{-2} 时, 相对增长和相对增重均显著降低, 成活率也均显著下降。另外在试验过程中观察到: 随着饲养密度的增大, 克氏原螯虾打斗现象愈加频发, 而死掉的克氏原螯虾大多都有附肢严重缺损情况。由表 2 还可以看到, 在实验结束时收获的存活虾中, 也是随着饲养密度的增大, 克氏原螯虾附肢缺损越严重。

2.2 饲养密度对克氏原螯虾血细胞吞噬活性和血清中四种免疫酶活性的影响

试验结果同时表明, 饲养密度对克氏原螯虾的血细胞吞噬活性和血清中 4 种免疫酶活性有显著影响, 结果见表 3。由表 3 可以看出, 随着克氏原螯虾饲养密度的增大, 克氏原螯虾血细胞吞噬活性(吞噬率和吞噬指数)和血清中 ACP、LZM 活性均呈显著下降趋势, 而血清中 SOD、CAT 活性呈现先显著增高而后又显著下降趋势。在饲养密度为 12 和 20 尾 m^{-2} 时克氏原螯虾血细胞吞噬活性和血清中 ACP、LZM 活性均为最大; 二组间无显著差异; 但随着饲养密度的增大到 32 尾 m^{-2} 及以上时血细胞吞噬活性和血清中 ACP、LZM 活性均呈现随着密度增大而显著降低; 而血清中 SOD、CAT 活性与之相反, 当饲养密度增大到 32 尾 m^{-2} 及以上时, 均呈现显著增高过程, 而血清中 SOD 活性是当饲养密度增大到 52 尾 m^{-2} 及以上时呈现显著陡降, 血清中 CAT 活性是当饲养密度增大到 60 尾 m^{-2} 时呈现垂降。

3 讨论

3.1 饲养密度对克氏原螯虾生长的影响

本研究表明, 随着克氏原螯虾饲养密度增大, 其相对增长率(相对增长率、相对增重率)成显著下降趋势。这和严维辉等^[4]结果一致。肖鸣鹤等^[5]研究表明高密度养殖对克氏原螯虾幼虾生长和消化酶(胃蛋白酶、类胰蛋白酶和淀粉酶)活力具有一定负面影响。刘国兴等^[6]研究结果显示高密度养殖会使克氏原螯虾饲料系数升高、增长率降低, 水质(总氮、总磷、氨氮、亚硝酸盐氮升高)恶化。不良水体环境对虾类造成胁迫作用, 使动物摄食、行为、物质及能量代谢均产生一系列变化, 显著影响生长能占食物能的比例^[7-8]; 用于应对环境胁迫的能量消耗增多, 用于生长(储存)的能量必然减少。

3.2 饲养密度对克氏原螯虾成活率的影响

克氏原螯虾是一种领地意识极强的虾类。本研

究结果表明: 当饲养密度达到及超过 40 尾 m^{-2} 时, 残肢率也显著升高。严维辉等^[9]对克氏原螯虾不同放养密度下残杀情况的试验性研究结果也表明: 随着养殖密度的升高, 克氏原螯虾种群内互相残杀情况越严重, 死亡率也就越高, 种群增长量则呈下降趋势。刘国兴等^[6]研究结果也显示高密度养殖会使克氏原螯虾残肢率升高。这说明随着养殖密度的增加, 克氏原螯虾个体对空间资源的竞争加剧, 为了争夺自己的领地空间和生存资源不惜自相残杀, 这应该是随着养殖密度的增加, 克氏原螯虾成活率降低、死亡率增加的一个原因。

甲壳动物机体的免疫防御体系缺乏特异性免疫系统, 以天然的免疫反应为主, 主要依赖于血细胞的吞噬、包掩等细胞免疫反应, 其体液中不具有免疫球蛋白, 缺乏抗体介导的免疫反应, 体液免疫主要是指血淋巴中的一些免疫酶和调节因子, 如酚氧化酶原激活系统、溶血素、凝集素、溶菌酶和蛋白酶抑制剂等^[10]。本研究表明, 随着克氏原螯虾饲养密度的增大, 克氏原螯虾血细胞吞噬活性和血清中 ACP、LSM 活性均成显著下降趋势。虾类的血淋巴细胞能吞噬侵入机体的病原微生物, 在虾类的非特异性免疫防御反应中起着重要作用; 血淋巴细胞的吞噬活性在一定程度上代表了虾体细胞免疫的水平, 也反映了虾类的健康状况^[11]。甲壳动物体内的酸性磷酸酶(ACP)来自于颗粒细胞的颗粒体, 是巨噬细胞内溶酶体的标志酶, 是溶酶体的重要组成部分, 可以催化磷酸单酯的水解反应及磷酸基团的转移反应, 能加速物质的摄取和转运。溶菌酶(LSZ) 是吞噬细胞杀菌的物质基础, 具有机体防御的功能, 在动物免疫研究中, 溶菌酶活性是衡量动物体非特异性免疫的一个重要指标。LSZ、ACP 的活性程度大体可以反映机体的体液免疫机能状况^[12-13]。这说明在本研究中随着饲养密度的增大, 克氏原螯虾机体的细胞免疫和体液免疫均在呈显著下降趋势。

超氧化物歧化酶(SOD)作为反映动物机体非特异性免疫功能的重要生理指标, 该酶可催化超氧阴离子发生歧化反应生成 H_2O_2 , 以此消除细胞代谢中产生的超氧阴离子^[14]; 而过氧化氢酶(CAT)是抗氧化系统的终端酶, 也是细胞内清除自由基的主要酶类, 它是以 H_2O_2 为底物, 将其分解为水和氧气, 从而彻底地消除自由基, 保护细胞免受氧化损伤。CAT 活力的高低可以反映机体抗氧化体系清除活性氧能力的高低^[15]。二者是水产动物体内抗氧化防御系统的重要组成部分^[16]。近年来, SOD、CAT 已作为监测水环境应激因子对水生动物影响作用常用的氧

化应激生物标志物,用以评价生物体的健康状况和获得对环境风险早期警告的反应^[17]。

在正常的生命过程中,自由基为维持生命所必需,但自由基也是生物大分子、细胞和生物组织的危险杀手。在正常生理状态下,体内自由基不断产生,但也不断地被清除。细胞会严格控制自由基产生数量,保持体内自由基适当浓度,维持自由基产生与消除动态平衡(“自由基稳衡性动态”)。使之维持在一个正常的生理水平上。一些特殊情况下(如病理状态下),自由基可能会产生过量或不足,或者是机体清除自由基的能力减弱,使自由基浓度会发生一定的改变,导致产生和消除之间的动态平衡被打破,进一步导致自由基水平过高或过低。如若自由基浓度过高,则称之为氧化应激^[18]。氧化应激是所有应激中最为重要的一种应激方式,任何较强应激都伴随氧化应激的发生^[19]。氧化应激状态下,构成生物膜的多不饱和脂肪酸因受自由基攻击而被氧化,导致膜结构和功能完整性受到损伤,蛋白质和核酸等生物大分子也因被氧化而遭到破坏,组织生理功能无法正常行使,动物机体抵抗能力下降,诱发各种疾病的发生^[20]。氧化应激严重影响水产动物健康生长,给实际生产带来巨大危害,降低经济效益。生产实践中,能引起动物产生氧化应激的因素较多,如运输、惊吓、创伤、冷热、紫外线、辐射、某些化学毒物和药物等^[21]。本研究结果显示:克氏原螯虾血清中 SOD 活力随密度增大而先升后降,这可能是由于在密度胁迫下虾体内自由基的产生随密度增大而逐渐增多,在密度相对较小(32~40尾 m^{-2})时能诱导 SOD 活力增强,努力清除更多的自由基;而随着密度进一步增加(52~60尾 m^{-2}),虾体内自由基增加太多,超出了其清除能力,致使 SOD 活力受到抑制的缘故;而 CAT 活力也是随密度增大先呈现逐步升高,最后显著低于对照组的态势,这可能是由于在密度相对较小(32~52尾 m^{-2})时,在逐渐增加的 SOD 歧化活性氧自由基产生的过氧化氢所诱导下^[22],CAT 活力也是随密度增大而逐步升高,而随着密度进一步增加(60尾 m^{-2}),虾体内产生的过氧化氢增加太多,也超出了 CAT 的清除能力,致使 SOD 和 CAT 活力均受到抑制;而清除能力的下降,使“自由基稳衡性动态”被打破,导致抗氧化系统紊乱,免疫抗病能力下降,机体受到氧化损伤,诱发多种疾病产生,甚至出现死亡^[23],这可能是随着饲养密度的增大,克氏原螯虾死亡率逐渐升高、成活率逐渐降低的主要原因。

4 小结

在本试验设置的密度梯度范围内的研究结果表明:随着密度增加,克氏原螯虾的相对生长率、成活率、血细胞吞噬活性及血清中 ACP 和 LZM 活性均呈逐渐下降趋势;残肢率呈逐渐上升趋势;血清中 SOD 和 CAT 活性呈先升高后下降趋势。考虑到即要能充分利用水体资源又要获得最大的生长率和成活率后认为,20尾 m^{-2} 的饲养密度为此规格克氏原螯虾适宜的饲养密度。

参考文献:

- [1] 邓梦颖,吴志强,肖英平,等. 养殖密度对克氏原螯虾幼虾生长、摄食和饵料利用影响[J]. 淡水渔业, 2010, 40(3): 13-17.
- [2] 方春林,余智杰,万正义,等. 克氏原螯虾仿生态繁殖适宜亲虾放养密度的研究[J]. 江西水产科技, 2012(2): 9-11.
- [3] 陈孝煊,吴志新,张厚梅. 大黄与黄连对二种淡水虾血细胞吞噬活性的影响[J]. 水生生物学报, 2002, 26(2): 201-204.
- [4] 严维辉,唐建清,费忠智,等. 克氏原螯虾池塘不同放养密度条件下养殖模式化试验[J]. 江西水产科技, 2013(1): 25-26.
- [5] 肖鸣鹤,肖英平,吴志强,等. 养殖密度对克氏原螯虾幼虾生长、消化酶活力和生理生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(7): 1088-1093.
- [6] 刘国兴,李玲,彭刚,等. 放养密度对克氏原螯虾生长和养殖水质的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(4): 86-89.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 严维辉,唐建清,史克荣,等. 不同放养密度下龙虾残杀情况的试验性研究[J]. 齐鲁渔业, 2008, 25(8): 28-29.
- [10] 刘雪兰,余为一. 甲壳动物免疫因子的研究进展[J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 418-421.
- [11] 陆剑锋,万全,吴旭干,等. 克氏原螯虾血细胞及免疫功能的初步研究[J]. 水产学报, 2009, 33(6): 1018-1025.
- [12] 李婵,徐奇友,许红,等. 几种饲料添加剂对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)免疫活性和抗氧化能力的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(3): 456-461.
- [13] 陈昌福,姚鹏,陈萱,等. 口服免疫多糖(酵母细胞壁)对南美白对虾抗弧菌感染的作用[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(4): 402-405.
- [14] 曹剑香,简纪常,吴灶和. 虾类体液免疫研究进展[J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(1): 89-93.
- [15] 黄旭雄,周洪琪. 甲壳动物免疫机能的衡量指标及科学评价[J]. 海洋科学, 2007, 31(7): 90-95.
- [16] 谭树华,邓先余,蒋文明,等. 高浓度铬对克氏原螯虾抗氧化酶系统的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1356-1360.
- [17] 刘松岩,李大鹏,庄平,等. 水生动物氧化应激生物标志物的研究进展[J]. 水利渔业, 2006, 26(1): 16-19.
- [18] 王秋举,鞠雪,王清滨,等. 养殖水体中氧化应激产生机

- 理的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2014, 41(6): 114-119.
- [19] LUSHCHAK V I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals[J]. Aquatic Toxicology, 2011, 101(1): 13-30.
- [20] ANSALDO M, NAJLE R, LUQUET C M. Oxidative stress generated by diesel seawater contamination in the digestive gland of the Antarctic limpet *Nacella concinna*[J]. Marine Environmental Research, 2005, 59(4): 381-390.
- [21] 方允中, 杨胜, 伍国耀. 自由基稳衡性动态的概念在农业科学中的应用[J]. 自由基生命科学进展, 2004, 10: 1-13.
- [22] 衣萌萌, 于赫男, 林小涛, 等. 密度胁迫下凡纳滨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): 81-86.
- [23] 方允中, 杨胜, 伍国耀. 自由基稳衡性动态[J]. 生理科学进展, 2004, 35(3): 199-204.