第 47 卷　第 1 期　　渔 业 科 学 进 展　　Vol.47, No.1
2 0 2 6 年　2 月　　PROGRESS IN FISHERY SCIENCES　　Feb., 2026

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240827001　　http://www.yykxjz.cn/

王成强，相智巍，李宝山，王晓艳，郝甜甜，宋志东，孙永智，李培玉，李璐，黄炳山，曹体宏. 不同养殖密度对花鲈生长性能、消化酶活性、非特异性免疫及抗应激能力的影响. 渔业科学进展, 2026, 47(1): 116–125

WANG C Q, XIANG Z W, LI B S, WANG X Y, HAO T T, SONG Z D, SUN Y Z, LI P Y, LI L, HUANG B S, CAO T H. Effects of different stocking density on the growth performance, digestive enzyme activities, non-specific immunity and anti-stress ability of *Lateolabrax japonicus*. Progress in Fishery Sciences, 2026, 47(1): 116–125

不同养殖密度对花鲈生长性能、消化酶活性、非特异性免疫及抗应激能力的影响*

王成强　相智巍　李宝山　王晓艳　郝甜甜　宋志东
孙永智　李培玉　李　璐　黄炳山　曹体宏①

(山东省海洋资源与环境研究院　山东省海水渔用饲料工程技术研究中心
水生动物营养与饲料研发创新示范平台　山东省海洋生态修复重点实验室
烟台市海珍品质量安全控制与精深加工重点实验室　山东　烟台　264006)

摘要　本研究旨在探究网箱养殖模式下，不同养殖密度对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)生长性能、消化酶活性、非特异性免疫及抗应激能力的影响。以初始体重为(220.52±2.50) g 的花鲈为研究对象，设置 4 个养殖密度，分别为 20 尾/箱(4.43 kg/m^3)、30 尾/箱(6.61 kg/m^3)、40 尾/箱(8.82 kg/m^3)和 50 尾/箱(10.98 kg/m^3)，分别命名为 M20、M30、M40 和 M50，每个密度 3 个重复，随机放置于 12 个实验海水网箱(1 m×1 m×1.2 m)中，养殖周期为 70 d。结果显示，花鲈增重率(WGR)和特定生长率(SGR)在 M40 组均达到最大值(90.33%和 0.92%/d)，与 M30 组无显著性差异(P>0.05)，显著高于 M20 和 M50 组(P<0.05)；M50 组肥满度最低(1.72)，显著低于其他 3 个实验组(P<0.05)，M40 组肥满度最高(1.84)。全鱼和肌肉中粗脂肪含量以 M30 组最高，显著高于 M50 组(P<0.05)，肌肉粗蛋白含量在 M50 组最低(87.53%)，显著低于其他各组(P<0.05)。肠道胰蛋白酶活性在 M40 组达到最高值，显著高于其他各组(P<0.05)；肠道脂肪酶在 M50 组处于最低水平，显著低于其他 3 组(P>0.05)。M40 组血清中超氧化物歧化酶(SOD)活性显著高于 M20 和 M50 组(P<0.05)，与 M30 组无显著性差异(P>0.05)，丙二醛(MDA)含量在 M50 组最高，显著高于其他 3 组(P<0.05)；血清溶菌酶(LZM)活性在 M30 和 M40 组处于较高水平，显著高于 M20 和 M50 组(P<0.05)，血清乳酸脱氢酶(LDH)和碱性磷酸酶(AKP)活性与 LZM 的变化趋势相似。随着养殖密度的提高，皮质醇(COR)活性呈现先降低后升高的趋势，M40 组活性最低，显著低于其他各组(P<0.05)，而 M50 组活性最高，显著高于其他各组(P<0.05)，肌酸激酶(CK)和促肾上腺皮质激素(ACTH)活性与 COR 的变化趋势相似。综上所述，不同养殖密度对花鲈生长性能、消化能力、抗氧化及抗应激能力均具有明显影响，本研究条件下，放养密度为 6.61~8.82 kg/m^3 时，花鲈具有较佳的生长性能、非特异性免疫及抗应激能力；养殖密度过高或过低均不利于花鲈的生长及健康。

* 山东省重点研发计划(2021SFGC0701)和海洋生物资源的开发与利用项目(220-0110-JBN-54EY)共同资助。王成强，Email: chengqiangwang@126.com

① 通信作者：曹体宏，工程师，Email: wcqkjxn@163.com

收稿日期: 2024-08-27, 收修改稿日期: 2024-09-13

关键词　花鲈；养殖密度；生长性能；非特异性免疫能力；抗应激能力
中图分类号 S963　**文献标识码**　A　**文章编号**　2095-9869(2026)01-0116-10

养殖密度作为水产养殖中重要的环境因子之一，对水生动物的生长、存活、免疫等一系列生理活动均会产生直接影响，也与养殖产量和经济效益相关(Gao *et al*, 2017)。在黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*) (麻艳群等, 2024)、厚颌鲂(*Megalobrama pellegrini*) (王尧等, 2022)、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) (徐二宝, 2023)、异育银鲫(*Carassius auratus*) (陈锐, 2023)、斑点叉尾鮰(*Letalurus punetaus*) (Refaey *et al*, 2018)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*) (Jia *et al*, 2016)、凡纳对虾(*Penaeus vannamei*) (陈晓瑛等, 2023)、中国对虾(*Penaeus chinensis*) (张海恩等, 2020)等一系列研究中均表明，适宜养殖密度能够提高养殖对象的生产性能、消化及抗氧化能力。但养殖密度过高时，会增加水生动物对生存空间和生物饵料的竞争，引起密度胁迫应激，导致机体生理功能紊乱、免疫防御功能失调能等负面影响，最后造成饲料利用率低、生长速度缓慢、病害严重，甚至死亡，影响养殖产量(Qiang *et al*, 2017; Liu *et al*, 2019)。

花鲈(*Lateolabrax japonicus*)俗称七星鲈、海鲈等，属于广盐性鱼类，是我国重要的海水养殖品种之一，因其生长速度较快、肉质鲜美，受到广大消费者的青睐。然而，尚未见关于花鲈养殖密度的相关研究，另外，以往大部分研究主要在实验室小水体、工厂化水泥池以及土池塘等条件下进行，关于海水网箱中的相关研究较少。本研究以花鲈为研究对象，在海水网箱养殖条件下，评估不同养殖密度对花鲈生长性能、消化酶活性、非特异性免疫及抗应激能力的影响，以期丰富花鲈养殖密度的相关数据，为其行业的健康发展奠定理论基础。

1　材料与方法

1.1　实验设计及养殖管理

养殖实验在山东省海洋资源与环境研究院东营实验基地海水网箱中进行。实验用鱼购自烟台经海海洋渔业有限公司，利用活水车运输至实验基地，先将花鲈放置于养殖网箱(5.0×5.0×5.0 m)中，暂养 7 d，用商品饲料每天投喂 2 次，使其适应养殖环境。正式实验设计 4 个养殖密度，每个密度设置 3 个重复，实验正式开始前，饥饿 24 h，然后用丁香酚麻醉(1∶10 000) (上海试剂，中国)，选取规格均匀且健康的花鲈[平均体重为(220.52±2.50) g]放于 12 个近岸海水网箱(1 m×1 m×1.2 m)中，网箱网目为 1 cm，每个网箱养殖容积为 1 m^3，每个梯度对应的网箱中分别放置 20、30、40 和 50 尾花鲈，即密度(以重量计算)分别为 4.43、6.61、8.82 和 10.98 kg/m^3，分被命名为 M20、M30、M40 和 M50。

实验用料为爱乐水产(青岛)有限公司生产的花鲈专用配合饲料(型号 P7，粗蛋白：50.55%、粗脂肪：9.73%、水分：6.03%、粗灰分：8.79%)，采用感官饱食投喂法，每天在 06:00 和 18:00 饱食投喂 2 次，养殖时间为 2023 年 7 月 17 日—9 月 24 日，共 70 d。实验期间，水温为 24~29 ℃，pH 值为 7.5~8.0，盐度为 26.5~28.0，溶解氧>6 mg/L。

1.2　实验样品采集

2023 年 9 月 24 日养殖实验结束后，禁食 24 h，记录每个网箱中花鲈总数和总重。从每个养殖网箱中随机取出 10 尾鱼，其中 3 尾用于全鱼体成分分析，放置于–20 ℃冰柜保存。另外 7 尾鱼采用尾部静脉取血法取血，4 ℃静置 4 h，3 000 r/min 离心 10 min 取血清，将血清放入液氮中。之后，将采完血的实验鱼进行解剖取样，分别分离出肠道和肌肉等组织，放置于–20 ℃冰柜保存，用于后期实验分析。

1.3　测定指标及方法

1.3.1　生长指标

$$存活率(SR, \%)=100\times N_t/N_0 \quad (1)$$

$$增重率(WGR, \%)=100\times(W_t–W_0)/W_0 \quad (2)$$

$$特定生长率(SGR, \%/d)=(\ln W_t–\ln W_0)/t\times100\% \quad (3)$$

$$饲料系数(FCR)=F/(W_t–W_0) \quad (4)$$

$$肝体比(HSI, \%) = 100\times W_h/W_t \quad (5)$$

$$脏体比(VSI, \%)=100\times W_v/W_t \quad (6)$$

$$肥满度(CF)=100\times W_t/L^3 \quad (7)$$

式中，N_t 是实验鱼末数量，N_0 是实验鱼初数量，W_t 是实验鱼末重(g)，W_0 是实验鱼初重(g)，t 是实验鱼养殖时间，F 是干饲料重量(g)，W_h 是实验鱼肝脏重量，W_v 是实验鱼内脏团重量，L 是实验鱼末体长(cm)。

1.3.2　实验样品常规营养指标分析　全鱼、肌肉及饲料水分测定采用 105 ℃烘干恒重法测定(GB/T6435-2006)，粗蛋白采用凯氏定氮法测定(GB/T6432-2006)，粗脂肪采用索氏抽提法测定

(GB/T6433-2006)，粗灰分采用马弗炉 550 ℃失重法测定(GB/T 6438-2007)。

1.3.3 肠道消化酶活性测定 肠道胰蛋白酶(trypsase)、脂肪酶(lipase)和淀粉酶(amylase)活性均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定，具体操作按照各试剂盒说明书进行。酶液蛋白质浓度采用考马斯亮蓝法测定。

1.3.4 血清生化指标分析 血清中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、溶菌酶(lysozyme, LZM)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, AKP)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)、谷草转氨酶(aspartate transaminase, AST)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)、皮质醇(corticosterone, COR)和促肾上腺皮质激素(adrenocorticotropic hormone, ACTH)均利用南京建成生物工程研究所生产的相应试剂盒测定。

1.4 数据统计分析

利用 SPSS 22.0 分析软件对实验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，所有实验数据用平均值±标准误(Mean±SE)表示。同时，用 Duncan's 检验方法对实验数据进行多重比较，当 $P<0.05$ 时表示具有显著性差异。

2 结果

2.1 生长性能

由表 1 可知，花鲈 WGR 在 M30 和 M40 组达到较高水平，分别为 88.72%和 90.33%，且两组间无显著性差异($P>0.05$)，但均显著高于 M20 组(80.80%)和 M50 组(80.67%) ($P<0.05$)，SGR 呈现与 WGR 相似的变化趋势。饲料利用方面，饲料系数随养殖密度增加呈先降低后升高的趋势，其中，M50 组饲料系数最高(1.40)，显著高于其他 3 组($P<0.05$)，而 M30 组饲料系数最低(1.24)。另外，不同实验组间花鲈存活率无显著性差异($P>0.05$)。

形体指标方面，随着养殖密度的增加，花鲈 CF 呈先上升后降低的趋势，M50 组 CF 最低(1.72)，显著低于其他 3 个实验组($P<0.05$)，M40 组 CF 最高(1.84)。不同实验组间 HSI 和 VSI 均无显著性差异($P>0.05$)。

2.2 鱼体和肌肉营养组成

不同养殖密度对花鲈鱼体和肌肉化学组成的变化的影响见表 2。结果显示，全鱼粗蛋白和粗灰分含量在不同实验组间均无显著性差异($P>0.05$)。粗脂肪含量在 M30 组最高(27.29%)，显著高于 M50 组(26.21%) ($P<0.05$)，与 M30 和 M40 组无显著性差异($P>0.05$)。

肌肉粗蛋白含量在 M20 组最高(90.67%)，显著高于 M30 和 M50 组($P<0.05$)，与 M40 组无显著性差异($P>0.05$)，M50 组含量最低(87.53%)；肌肉粗脂肪含量在 M30 组最高(4.03%)，显著高于其他 3 组($P<0.05$)。

2.3 肠道消化酶活性

表 3 显示，花鲈肠道胰蛋白酶活性在 M40 组达到最高值，显著高于其他 3 组($P<0.05$)，且其他 3 组间无显著性差异($P>0.05$)；M20、M30 和 M40 组的花鲈肠道脂肪酶活性处于相近水平，且均显著高于 M50

表 1 不同养殖密度对花鲈生长性能和形体指标的影响

Tab.1 Effects of different stocking density on growth performance and the morphometric parameters of *L. japonicus*

指标 Parameters	组别 Groups			
	M20	M30	M40	M50
初始体重 Initial body weight/g	221.45±1.24	220.44±0.11	220.58±0.55	219.60±0.64
终末体重 Final body weight/g	400.41±5.48^{bc}	416.01±5.55^{ab}	419.85±7.02^{a}	396.75±1.60^{c}
存活率 SR/%	96.67±1.67	97.78±2.22	95.00±3.82	90.67±1.76
增重率 WGR/%	80.80±1.51^{b}	88.72±2.54^{a}	90.33±2.79^{a}	80.67±0.74^{b}
特定生长率 SGR/(%/d)	0.84±0.01^{b}	0.91±0.02^{a}	0.92±0.02^{a}	0.84±0.01^{b}
饲料系数 FCR	1.30±0.02^{b}	1.24±0.01^{b}	1.27±0.02^{b}	1.40±0.02^{a}
肝体比 HSI/%	0.85±0.03	0.83±0.02	0.81±0.01	0.82±0.02
脏体比 VSI/%	8.83±0.17	8.86±0.03	8.86±0.05	8.59±0.14
肥满度 CF	1.78±0.02^{b}	1.80±0.01^{ab}	1.84±0.01^{a}	1.72±0.02^{c}

注：同行数据中上标无字母或字母相同表示差异不显著($P>0.05$)，不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Notes: Data with no superscripts or same superscripts in the same row are not significantly different ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 2　不同养殖密度对花鲈鱼体和肌肉化学组成的影响(%干重)

Tab.2　Effects of different stocking density on body and muscle chemical composition of *L. japonicus* (% dry weight)

指标 Parameters	组别 Groups			
	M20	M30	M40	M50
全鱼 Whole fish				
粗蛋白 Crude protein	52.58±1.06	51.79±1.19	52.39±0.68	53.08±0.59
粗脂肪 Ether extract	26.60±0.40[ab]	27.29±0.30[a]	26.81±0.34[ab]	26.21±0.12[b]
粗灰分 Crude ash	15.12±0.45	15.15±0.38	15.06±0.12	15.39±0.38
肌肉 Muscle				
粗蛋白 Crude protein	89.24±0.26[a]	88.24±0.12[bc]	88.66±0.31[ab]	87.53±0.18[c]
粗脂肪 Ether extract	3.81±0.03[b]	4.03±0.06[a]	3.87±0.04[b]	3.78±0.02[b]
粗灰分 Crude ash	6.11±0.03	6.16±0.32	6.20±0.32	6.06±0.16

组(P<0.05)；另外，不同实验组间花鲈肠道淀粉酶活性并无显著性差异，均维持在 0.71~0.74 U/mg prot 之间(P>0.05)。

2.4　血清非特异性免疫指标

表 4 显示，当养殖密度从 4.43 kg/m^3 (M20 组)提高到 8.82 kg/m^3 (M40 组)时，血清 SOD 活性呈上升趋势，M40 组 SOD 活性显著高于 M20 组(P<0.05)，与 M30 组无显著性差异(P>0.05)；当养殖密度进一步提高至 10.98 kg/m^3 (M50 组)，血清 SOD 活性显著下降，M50 组 SOD 活性最低，显著低于其他 3 组(P<0.05)。另外，MDA 含量呈先降低后升高的趋势，其中，M40 组 MDA 含量最低[9.91 nmol/(mg prot)]，M50 组含量最高[11.71 nmol/(mg·prot)]，且 M50 组 MDA 含量显著高于其他 3 组(P<0.05)。

养殖密度在 6.61~8.82 kg/m^3(M30 和 M40)时，血清 LZM 活性处于较高水平，显著高于低密度 M20 组(4.43 kg/m^3)和高密度 M50 组(10.98 kg/m^3)(P<0.05)，血清 LDH 和 AKP 活性呈现与 LZM 相似的变化趋势。血清 ALT 活性在 M30 和 M40 组处于较低水平，均显著低于 M20 和 M50 组(P<0.05)；血清 AST 活性在 M20 组最高，显著高于其他 3 组(P<0.05)。

表 3　不同养殖密度对花鲈肠道消化酶活性的影响

Tab.3　Effects of different stocking densities on digestive enzyme activities in intestinal tract of *L. japonicus*

指标 Parameters	组别 Groups			
	M20	M30	M40	M50
胰蛋白酶 Trypsase/(U/mg prot)	496.37±23.48[b]	556.73±5.33[b]	669.98±27.43[a]	501.82±17.20[b]
脂肪酶 Lipase /(U/g prot)	1.28±0.04[a]	1.23±0.08[a]	1.21±0.06[a]	0.93±0.04[b]
淀粉酶 Amylase/(U/mg prot)	0.71±0.04	0.75±0.05	0.72±0.04	0.74±0.04

表 4　不同养殖密度对花鲈血清抗氧化及非特异性免疫指标的影响

Tab.4　Effects of different stocking densities on non-specific immunity in serum of *L. japonicus*

指标 Parameters	组别 Groups			
	M20	M30	M40	M50
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	256.00±5.33[b]	294.65±3.67[a]	300.09±2.07[a]	238.72±4.78[c]
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	10.65±0.08[b]	10.28±0.37[b]	9.91±0.22[b]	11.71±0.31[a]
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	4 865.82±89.91[b]	5 391.54±156.72[a]	5 479.86±228.94[a]	5 052.96±53.94[ab]
溶菌酶 LZM/(U/mL)	644.44±36.11[b]	822.22±60.92[a]	916.66±22.05[a]	666.67±24.06[b]
碱性磷酸酶 AKP/(金氏单位/100 mL)	1.15±0.06[bc]	1.39±0.04[a]	1.26±0.03[ab]	1.07±0.04[c]
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	1.94±0.07[a]	1.48±0.05[b]	1.38±0.05[b]	1.78±0.06[a]
谷草转氨酶 AST/(U/L)	4.70±0.09[a]	3.73±0.06[b]	3.68±0.16[b]	4.12±0.20[b]

2.5　抗应激能力指标

表 5 显示，M50 组花鲈血清中 CK 活性显著高于其他 3 组(P<0.05)，而 M20、M30 和 M40 之间无显著性差异(P>0.05)；另外，随着养殖密度的提高，COR 活性呈现先降低后升高的趋势，M40 组活性最低，显

著低于其他各组(P<0.05)，而 M50 组活性最高，显著高于其他各组(P<0.05)，CK 活性也在 M50 组最高；ACTH 活性在 M20 和 M50 组均处于较高水平，显著高于 M30 和 M40 组(P<0.05)，而 M20 和 M50 组间无显著性差异(P>0.05)。

3 讨论

3.1 不同养殖密度对花鲈生长性能的影响

养殖密度作为水产养殖过程中重要影响因素之一，对鱼体的生长性能产生重要的影响(殷艳慧等, 2020)。已有研究指出，鱼类养殖密度存在一个适宜的范围，在这一适宜范围内养殖可以维持良好的养殖环境，保证鱼类的正常生长和发育；而超过这一范围时，会导致鱼类对食物和空间的竞争增加，出现拥挤胁迫，导致能量消耗增加，从而影响鱼体的生长速度及其健康(Ren *et al*, 2018; Xu *et al*, 2022)。对红鳍东方鲀(*Takifugu ruoubripes*) (王冠, 2022)、杂交鲟(♀*Huso dauricus*×♂*Acipenser schrenckii*) (步艳等, 2013)、欧洲白鱼 (*Coregonus macrophthalmus*) (Goebel *et al*, 2017)、斑点叉尾鮰(Refaey *et al*, 2018)、异育银鲫(陈锐, 2023)和大口黑鲈(徐二宝, 2023; 胥晴等, 2025)等的研究均证实了上述观点，鱼体的终末体重、增重率与养殖密度呈负相关关系，养殖密度过高时鱼类生长受到抑制。本研究结果也表明，当养殖密度为 6.61~8.82 kg/m^{3}时，花鲈的生长性能明显优于高密度组(10.98 kg/m^3)。产生这一结果的原因，一方面可能是高养殖密度会产生拥挤胁迫，鱼类的抢食行为更加激烈，且生存空间更小，鱼类长期处于慢性应激，影响机体的正常生理功能(Ren *et al*, 2018)；另一方面，可能是养殖密度过高会促使神经内分泌系统分泌激素调节自身的营养代谢，并改变正常的行为方式，这个过程需要消耗大量的能量，促使肝脏中的糖原分解，这导致机体用于生长的能量降低(Rocha *et al*, 2007)，以上原因均会抑制鱼体的生长。

表 5 不同养殖密度对花鲈抗应激能力指标的影响

Tab.5 Effects of different stocking density on activity of CK, COR, and ACTH in serum of *L. japonicus*

指标 Parameters	组别 Groups			
	M20	M30	M40	M50
肌酸激酶 CK/(U/mL)	0.41±0.02^b	0.37±0.04^b	0.42±0.02^b	0.62±0.03^a
皮质醇 COR/(ng/mL)	12.20±0.62^b	11.45±0.52^b	8.54±0.58^c	14.37±0.44^a
促肾上腺皮质激素 ACTH/(ng/L)	48.11±1.14^a	28.92±1.17^b	28.39±0.90^b	45.57±1.16^a

然而，当养殖密度较低(4.43 kg/m^3)时，花鲈的 WGR 和 SGR 显著低于密度为 6.61~8.82 kg/m^{3}时，这说明当养殖密度过低时，花鲈的生长性能也会受到一定程度的抑制。推究其原因，可能是因为鱼类属于集群活动动物，密度较低时，养殖鱼类不能形成集群效应，导致抢食不积极；同时低密度养殖时鱼类更容易受到惊吓，使鱼体处于一定程度的应激状态(Ren *et al*, 2018)，使生长受到抑制。另外，本研究发现，饲料系数呈先降低后升高的趋势，高密度组(10.98 kg/m^3) 显著高于低密度组。这与虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) (Dos Santos *et al*, 2021)、凡纳对虾(陈晓瑛等, 2023)和大口黑鲈(徐二宝, 2023)的研究结果相一致，上述报道均表明高密度养殖会降低养殖动物对饲料的利用效率，使饲料系数高于低密度组，进而对生长性能产生消极影响(庄平等, 2002)。

肥满度是衡量鱼类形体的肥瘦程度的指标，其数值的下降通常被解释为能量储备的消耗，如储存的肝糖原或体脂肪被消耗(黄春红等, 2015)。本研究发现，高密度养殖使花鲈肥满度显著降低，这说明养殖密度的增加促使鱼体脂肪分解供能，机体脂肪沉积量下降，肥满度降低(陈洁, 2017)，这与之前在大口黑鲈(Ni *et al*, 2021)中的研究结果相一致。然而在异育银鲫(陈锐, 2023)和大西洋鲑(*Salmo salar*) (Mylonas *et al*, 2009)的研究中表明，养殖密度并未对鱼体肥满度产生显著影响，这可能是与养殖环境、品种及鱼体规格有关系。

3.2 不同养殖密度对花鲈鱼体和肌肉营养组成的影响

养殖密度过高会导致拥挤胁迫，改变鱼类的正常生理代谢，从而会对鱼体和肌肉的化学组成产生影响。本研究结果显示，养殖密度对鱼体和肌肉化学组成的影响主要是粗蛋白和粗脂肪含量，随着养殖密度增加到 10.98 kg/m^3，鱼体和肌肉粗脂肪含量均出现降低趋势，同时肌肉粗蛋白含量也在 M50 组处于最低水平，这与在杂交鲟幼鱼(步艳等, 2013)、大口黑鲈(徐二宝等, 2023)、斑节对虾(*Penaeus monodon*)(周伟

等, 2018)及斑点叉尾鮰(Refaey *et al*, 2018)的研究结果相一致。其原因可能为，高密度养殖导致拥挤胁迫加剧，鱼类的应激反应增强，对能量需求相应增加，这时机体自身的代谢水平会增强，进而加快了体内蛋白质和脂肪等营养物质的代谢速率(Hoseini *et al*, 2018)，从而造成了上述研究结果。

3.3　不同养殖密度对花鲈肠道消化酶指标的影响

本研究结果表明，养殖密度会对肠道胰蛋白酶和脂肪酶活性产生显著影响，其中 M50 组肠道胰蛋白酶和脂肪酶均处于较低水平，显著低于 M40 组，同时发现 M20 组肠道胰蛋白酶活性也显著低于 M40 组，与 M50 组无显著性差异，这表明养殖密度过高或过低均会对花鲈消化能力产生抑制作用。麻艳群等(2024)在黄颡鱼的研究中，设置 7.5、15.0 和 22.5 ind./m^2 3 个养殖密度梯度，结果表明 7.5 ind./m^2 密度下黄颡鱼的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性最高，随着放养密度的增加，消化酶活性均呈下降趋势，另外对银鲳(*Pampus argenteus*) (彭士明等, 2013)及二龄刀鲚(*Coilia nasus*) (刘永士等, 2021)的研究也有类似结果。原因可能是，在高密度慢性胁迫环境中，鱼体的内环境遭到破坏，处于应激状态中，使肠道内消化酶活性减弱。与之不同的是，陈晓瑛等(2023)在凡纳对虾的研究中指出，不同养殖密度对对虾肝胰腺蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性均无显著影响，这可能是养殖种类及规格不同造成的，具体原因有待进一步分析。

3.4　不同养殖密度对花鲈非特异性免疫能力的影响

抗氧化系统是鱼类非特异性免疫系统中重要的自身防御系统，其中，SOD 是抗氧化系统中重要的成员之一，能清除超氧阴离子自由基，主要是将氧自由基转化为过氧化氢和氧分子，代表了机体清除氧自由基的能力(Liu *et al*, 2018)；另外，MDA 是氧化应激的重要标志物，为反映机体细胞受自由基攻击的严重程度的主要指标，通过测量其含量可以反映机体脂质过氧化速率和强度，间接评估组织过氧化损伤的程度(丰程程等，2013)。本研究结果显示，高密度养殖组(M50)花鲈血清中 SOD 活性显著低于其他低密度组，而 MDA 含量却显著高于其他各组。这与对大口黑鲈(倪金金等, 2020; 陈锐, 2023)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) (李绍迪，2019)、异育银鲫(Onxayvieng *et al*, 2021)及虹鳟(Sahin *et al*, 2014)的研究结果相一致，均表明高密度养殖条件下鱼体的抗氧化系统会遭到破坏，使体内自由基过氧化作用增强，这主要是因为高密度养殖会导致养殖对象出现密度胁迫，使机体的自由基“稳态性动态平衡”遭到破坏。本研究还发现，中密度养殖组(M30 和 M40)花鲈 SOD 活性显著高于低密度组(M20)和高密度组(M50)，这与在黄颡鱼中的研究结果相一致，这可能是因为中密度养殖胁迫在 SOD 的限度范围内，鱼体为抵抗密度胁迫对自身的影响，使其 SOD 活性提升，说明适宜的密度养殖更有利于提高鱼体的抗氧化能力。

当受到不利的环境胁迫时，鱼类主要依靠非特异性免疫发挥作用，其中鱼类血清中大部分酶活性的高低与组织器官代谢能力有密切关系，可以直接反映鱼体的健康状况(秦勇等, 2022)。ALT 和 AST 是重要的转氨酶，主要存在于肝脏中，其活性的高低在一定程度上可以判断肝脏的损伤程度(Samsonova *et al*, 2003)。AKP 是生物体内重要的代谢调控酶，其本身不仅可以水解入侵的病原体，而且可以促进吞噬细胞的吞噬及降解作用，在机体非特异性免疫反应中发挥重要作用(Gisbert *et al*, 2018)。一系列研究发现，高密度养殖下的黄条鰤(*Seriola lalandi*)(姜燕等，2022)和大口黑鲈(徐二宝, 2023)血清中的 ALT 和 AST 活性显著升高。本研究也发现，高密度养殖组花鲈血清中 ALT 和 AST 活性高于适宜密度组，与上述结果相似，原因可能是高密度胁迫导致鱼体肝脏受到损伤，细胞膜通透性增大，导致血清中转氨酶含量增加。另外，本研究表明，高密度养殖组花鲈 AKP 活性显著低于适宜密度组，这也表明适宜的养殖密度可以提高鱼体 AKP 活性，进而提升非特异性免疫力。

溶菌酶作为最重要的非特异性防御因子之一，能对某些细菌发挥先天抵抗作用，在水产动物抵抗病原微生物感染中具有重要作用，其活性是衡量动物体非特异性免疫的一个重要指标(Simse *et al*, 2004)。本研究也表明，中养殖密度(6.61 kg/m^3 和 8.82 kg/m^3)下，花鲈溶菌酶活性显著高于高密度养殖组(10.98 kg/m^3)，同时也高于低密度养殖组(4.43 kg/m^3)，这说明适宜养殖密度可以提升花鲈的非特异性免疫力。田瑜等(2023)在青蟹(*Scylla paramamosain*)的研究中指出，高密度组青蟹 LZM 活性显著低于中、低密度组，高密度养殖会显著抑制机体 LZM 活性，从而对免疫系统造成影响。另外，在波纹龙虾(*Panulirus homarus*) (黄东科, 2014)和凡纳滨对虾(Liu *et al*, 2017)的研究中也证实了该结论，与本研究上述 SOD、AKP 等指标反映的结果相一致。因此，进一步说明适宜的养殖密度对于养殖过程中鱼体的健康、抗病力等均有重要意义。

3.5　不同养殖密度对花鲈抗应激能力的影响

应激是指养殖对象受到内、外部环境影响而产生

的一种非特异性免疫反应，可导致机体防御系统受损、免疫性能降低、生产性能下降、饲料转化吸收率降低、死亡率上升(王洁等, 2017)。其中，CK 是能量代谢的关键酶，机体患病或受损时含量会升高(Abraham *et al*, 2002)；COR 在维持生长和免疫调节方面发挥重要作用，其含量的变化可以代表养殖对象所受到的胁迫程度(Hasenbein *et al*, 2016)；ACTH 可促进肾上腺皮质的组织增生及皮质激素的生成和分泌，机体处于应激状态时，ATCH 浓度升高(刘雁峰等, 2000)，上述 3 项指标均是判断养殖对象应激状态的重要依据。陈锐(2023)研究发现，异育银鲫血清中 COR 含量在高密度养殖组中显著升高，说明养殖密度的升高加剧了异育银鲫的应激程度；徐二宝(2023)在大口黑鲈的研究中报道，高密度养殖组血清 COR、ACTH 浓度均显著高于低密度组，说明高密度组鱼体收到拥挤压迫，形成应激反应；另外，在肉鸡的研究中也表明，高密度养殖下肉鸡血浆中肌酸激酶和皮质酮明显升高，表明机体受到了高密度氧化应激的影响(伍源等, 2022)。

本研究表明，高密度养殖组(10.98 kg/m^3)花鲈血清中 CK、COR 和 ACTH 水平均显著高于中密度养殖组(6.61 kg/m^3 和 8.82 kg/m^3)，说明花鲈在高密度养殖的拥挤胁迫状态下形成了应激反应，机体防御系统受到损伤，导致生长能力和免疫能力降低，这也与本研究在生长性能和非特异性免能力等方面的结果相一直。然而，本研究还发现，低密度养殖组(4.43 kg/m^3)花鲈血清中 COR 和 ACTH 也处于较高水平，这也表明网箱养殖条件下，养殖密度过低也会使鱼体形成应激反应，产生这一结果可能与养殖环境、养殖对象等因素有关，具体原因有待进一步分析。

4 结论

综上所述，在本研究条件下，适宜养殖密度(6.61~8.82 kg/m^3)能使(220.52±2.50) g 的花鲈获得较佳的生长性能和较强的消化、抗氧化及非特异性免疫能力，可降低鱼体应激反应，保障鱼体健康。与此同时，本研究也发现，养殖密度过高或过低会引起鱼体生长、饲料利用以及免疫力的降低。

参 考 文 献

步艳, 李吉方, 温海深, 等. 放养密度对流水池塘养殖大杂交鲟生长及摄食的影响. 海洋湖沼通报, 2013, 35(4): 43–48 [BU Y, LI J F, WEN H S, *et al*. Effect of stocking density on growth and feeding of hybrid sturgeon. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013, 35(4): 43–48]

陈洁. 养殖密度对草鱼脂肪蓄积、脂肪代谢及相关基因表达的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2017 [CHEN J. Effect of stocking density on lipid accumulation and the expression level of genes related to lipid metabolism in grass carp *Ctenopharyngodon idella*. Master´s Thesis of Huazhong Agricultural University, 2017]

陈锐. 陆基圆池养殖模式下养殖密度对异育银鲫生长性能的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2023 [CHEN R. Effect of culture density on growth performance of allogynogenetic crucian carp under land-based round pond culture mode. Master´s Thesis of Huazhong Agricultural University, 2023]

陈晓瑛, 宁丽军, 黄文, 等. 养殖密度对南美白对虾全虾营养成分和饲料表观消化率的影响. 广东畜牧兽医科技, 2023, 48(6): 34–40, 72 [CHEN X Y, NING L J, HUANG W, *et al*. Effects of stoking densities on body nutrient composition and apparent digestibility of feed in *Litopenaeus vannamei*. Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science, 2023, 48(6): 34–40, 72]

丰程程, 张颖, 张永泉, 等. 哲罗鱼胚胎至仔稚幼鱼期主要免疫指标和抗氧化酶的活性变化. 淡水渔业, 2013, 43(6): 35–38, 50 [FENG C C, ZHANG Y, ZHANG Y Q, *et al*. The activities of immunological indicators and antioxidant enzyme in *Hucho taimen* during the development from the embryo to juvenile. Freshwater Fisheries, 2013, 43(6): 35–38, 50]

黄春红, 曾斌, 陆东东, 等. 生物学指标在评定养殖鲫肝脏脂肪蓄积程度中的作用. 水产学报, 2015, 39(1): 108–117 [HUANG C H, ZENG B, LU D D, *et al*. Functions of body indices in evaluating the degree of lipid accumulation in livers of cultured *Carassius auratus*. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(1): 108–117]

黄东科. 温度、盐度、密度和饵料对波纹龙虾存活、摄食和生长的影响. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2014 [HUANG D K. Effects of temperature, salinity, density and diet on survival, feeding and growth of *Crassostrea undulata*. Master´s Thesis of Guangdong Ocean University, 2014]

姜燕, 王维鑫, 徐永江, 等. 工厂化养殖密度对黄条鰤生长和生理特性的影响. 中国水产科学, 2022, 29(9): 1290–1299 [JIANG Y, WANG W X, XU Y J, *et al*. Effects of industrial stocking density on the growth and physiological characteristics of *Seriola lalandi*. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(9): 1290–1299]

李绍迪. 池塘工程化圈养系统的构建及草鱼和团头鲂的养殖密度对生长性能的影响. 华中农业大学硕士学位论文, 2019 [LI S D. Construction of pond engineering captive breeding system and the effect of breeding density on growth performance of grass carp and bighead bream. Master’s Thesis of Huazhong Agricultural University, 2019]

刘雁峰, 王天芳, 杨维益, 等. 复合应激因素致大鼠促肾上腺

皮质激素和皮质酮含量变化的研究. 中国医药学报, 2000, 15(1): 72–74 [LIU Y F, WANG T F, YANG W Y, *et al*. Study on the changes of corticotropin and corticosterone contents in rats caused by compound stress factors. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2000, 15(1): 72–74]

刘永士, 王建军, 朱建明, 等. 不同养殖密度下二龄刀鲚消化酶活性与分布特点. 安徽农业大学学报, 2021, 48(2): 234–240 [LIU Y S, WANG J J, ZHU J M, *et al*. Study on digestive enzyme activity and distribution characteristics of two-year *Coilia nasus* in different stocking densities. Journal of Anhui Agricultural University, 2021, 48(2): 234–240]

麻艳群, 司楠, 程蔓, 等. 放养密度对黄颡鱼生长、营养成分、消化及抗氧化性的影响. 水产学杂志, 2024, 37(3): 44–49 [MA Y Q, SI N, CHENG M, *et al*. Effects of stocking density on growth performance, nutrient composition, gigestion and antioxidant activity of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. Chinese Journal of Fisheries, 2024, 37(3): 44–49]

倪金金, 王裕玉, 徐钢春, 等. 养殖密度对池塘工程化循环水养殖大口黑鲈抗氧化力、组织结构及应激基因表达的影响. 中国水产科学, 2020, 27(6): 660–670 [NI J J, WANG Y Y, XU G C, *et al*. Effects of stocking density on the antioxidant status, tissue structure, and HSP70 and Cu/Zn-SOD expression in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in an in-pond raceway culture system. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(6): 660–670]

彭士明, 林少珍, 施兆鸿, 等. 饲养密度对银鲳幼鱼增重率及消化酶活性的影响. 海洋渔业, 2013, 35(1): 72–76 [PENG S M, LIN S Z, SHI Z H, *et al*. Effects of rearing density on growth rate and digestive enzyme activity of juvenile *Pampus argenteus*. Marine Fisheries, 2013, 35(1): 72–76]

秦勇, 韩忠. 温度胁迫对祁连山裸鲤幼鱼血清生化指标及代谢酶活性的影响. 青海畜牧兽医杂志, 2022, 52(4): 28–33 [QIN Y, HAN Z. Effects of temperature stress on serum biochemical index and metabolic enzyme activities of *Gymnocypris chilianensis* juveniles. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2022, 52(4): 28–33]

田瑜, 揭育鹍, 曾祥兵, 等. 密度对拟穴青蟹抗氧化、非特异性免疫能力的影响. 南方水产科学, 2023, 19(3): 60–67 [TIAN Y, JIE Y K, ZENG X B, *et al*. Effect of density on antioxidant and nonspecific immunity of mud crab(*Scylla paramamosain*). South China Fisheries Science, 2023, 19(3): 60–67]

王冠. 养殖密度对红鳍东方鲀幼鱼生长和生理指标的影响及脑和肝的转录组分析. 大连海洋大学硕士研究生学位论文, 2022 [WANG G. Effects of culture density on growth and physiological indexes of juvenile *Fugu rubripes* and transcriptome analysis of brain and liver. Master´s Thesis of Dalian Ocean University, 2022]

王洁, 顾秀秀. 中草药饲料添加剂在畜禽生产中的抗应激作用. 畜牧与饲料科学, 2017, 38(10): 41–42 [WANG J, GU X X. Anti-stress effect of Chinese herbal medicine feed additives in livestock and poultry production. Animal Husbandry and Feed Science, 2017, 38(10): 41–42]

王尧, 陈晨光, 张洁若, 等. 养殖密度对厚颌鲂幼鱼生长、饲料利用及肠道抗氧化应激性能的影响. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 106–114 [WANG Y, CHEN C G, ZHANG J R, *et al*. Effects of stocking density on growth, feed utilization and intestinal oxidative stress resistance in juvenile *Megalobrama pellegrini* (Tchang, 1930). Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(1): 106–114]

伍源, 秦鑫, 董元洋, 等. 饲粮蛋氨酸水平对高密度饲养肉鸡生长性能、抗氧化及抗应激能力的影响. 中国畜牧兽医, 2022, 49(3): 913–923 [WU Y, QIN X, DONG Y Y, *et al*. Effects of dietary methionine on growth performance, antioxidant capacity and stress tolerance of broilers under high-density feeding. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2022, 49(3): 913–923]

胥晴, 原居林, 倪蒙, 等. 不同净养时间和养殖密度下大口黑鲈的表型特征、健康状况及肌肉营养品质. 水产学报, 2025, 49(1): 176–192 [XU Q, YUAN J L, NI M, *et al*. Comparative study on phenotypic characteristics, health status and muscle nutritional quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) under different depuration time and stocking density. Journal of Fisheries of China, 2025, 49(1): 176–192]

徐二宝. 池塘工程化圈养模式下养殖密度对大口黑鲈幼鱼生长和肌肉品质的影响. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2023 [XU E B. Effect of the stocking densities on growth performance and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) cultured in the in-pond tank culture system. Master´s Thesis of Huazhong Agricultural University, 2023]

殷艳慧, 蒋万胜, 潘晓赋, 等. 水产养殖鱼类生长性状研究进展. 中国水产科学, 2020, 27(4): 463–484 [YIN Y H, JIANG W S, PAN X F, *et al*. Recent progress in growth trait of aquaculture fish. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(4): 463–484]

张海恩, 何玉英, 李健, 等. 密度胁迫对中国对虾幼虾生长、抗氧化系统功能及水质指标的影响. 渔业科学进展, 2020, 41(2): 140–149 [ZHANG H E, HE Y Y, LI J, *et al*. Effects of stocking density on growth, water quality, and antioxidant system of juvenile *Fenneropenaeus chinensis*. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(2): 140–149]

周伟, 王洋, 孙学亮, 等. 养殖密度对斑节对虾肌肉品质的影响. 食品工业科技, 2018, 39(23): 69–75 [ZHOU W, WANG Y, SUN X L, *et al*. Effect of stocking density on muscle quality of *Penaeus monodon*. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(23): 69–75]

庄平, 李大鹏, 王明学, 等. 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响. 应用生态学报, 2002, 13(6): 735–738 [ZHUANG P, LI D P, WANG M X, *et al*. Effect of stocking density on growth of juvenile *Acipenser schrenckii*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 735–738]

ABRAHAM M R, SELIVANOV V A, HODGSON D M, *et al*. Coupling of cell energetics with membrane metabolic sensing. Integrative signaling through creatine kinase phosphotransfer disrupted by M-CK gene knock-out. The Journal of Biological Chemistry, 2002, 277(27): 24427–24434

DOS SANTOS R B, IZEL-SILVA J, FUGIMURA M M S, *et al*. Growth performance and health of juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, in a biofloc system at different stocking densities. Aquaculture Research, 2021, 52(8): 3549–3559

GAO Y, HE Z L, VECTOR H, *et al*. Effect of stocking density on growth, oxidative stress and HSP70 of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2017, 17(5): 877–884

GISBERT E, NOLASCO H, SOLOVYEV M. Towards the standardization of brush border purification and intestinal alkaline phosphatase quantification in fish with notes on other digestive enzymes. Aquaculture, 2018, 487: 102–108

GOEBEL S E, BAER J, GEIST J. Effects of temperature and rearing density on growth of juvenile European whitefish (*Coregonus macrophthalmus*) in aquaculture. Fundamental and Applied Limnology, 2017, 189(3): 257–266

HASENBEIN M, FANGUE N A, GEIST J P, *et al*. Physiological stress biomarkers reveal stocking density effects in late larval Delta Smelt (*Hypomesus transpacificus*). Aquaculture, 2016, 450: 108–115

HOSEINI S M, TAHERI MIRGHAED A, IRI Y, *et al*. Effects of dietary cineole administration on growth performance, hematological and biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 2018, 495: 766–772

JIA R, LIU B L, HAN C, *et al*. Influence of stocking density on growth performance, antioxidant status, and physiological response of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*, reared in land-based recirculating aquaculture system. Journal of the World Aquaculture Society, 2016, 47(4): 587–599

LIU G, YE Z Y, LIU D Z, *et al*. Influence of stocking density on growth, digestive enzyme activities, immune responses, antioxidant of *Oreochromis niloticus* fingerlings in biofloc systems. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 81: 416–422

LIU G, ZHU S M, LIU D Z, *et al*. Effects of stocking density of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) on immunities, antioxidant status, and resistance against *Vibrio harveyi* in a biofloc system. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 67: 19–26

LIU Y, LIU H B, WU W H, *et al*. Effects of stocking density on growth performance and metabolism of juvenile Lenok (*Brachymystax lenok*). Aquaculture, 2019, 504: 107–113

MYLONAS C C, FOSTIER A, ZANUY S. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. General and Comparative Endocrinology, 2010, 165(3): 516–534

NI M, LIU M, LOU J F, *et al*. Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system. Fish Physiology and Biochemistry, 2021, 47(4): 1243–1255

ONXAYVIENG K, PIRIA M, FUKA M M, *et al*. High stocking density alters growth performance, blood biochemical profiles, and hepatic antioxidative capacity in gibel carp (*Carassius gibelio*). Fish Physiology and Biochemistry, 2021, 47(2): 203–212

QIANG J, BAO J W, HE J, *et al*. Growth, biochemical, fatty acid composition, and mRNA levels of hepatic enzymes in genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) (Linnaeus, 1758) at different stocking densities. Journal of Applied Ichthyology, 2017, 33(4): 757–766

REFAEY M M, LI D P, TIAN X, *et al*. High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*. Aquaculture, 2018, 492: 73–81

REN Y Y, WEN H S, LI Y, *et al*. Stocking density affects the growth performance and metabolism of Amur sturgeon by regulating expression of genes in the GH/IGF axis. Journal of Oceanology and Limnology, 2018, 36(3): 956–972

ROCHA A J S, GOMES V, NGAN P V, *et al*. Effects of anionic surfactant and salinity on the bioenergetics of juveniles of *Centropomus parallelus* (Poey). Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007, 68(3): 397–404

SAHIN K, YAZLAK H, ORHAN C, *et al*. The effect of lycopene on antioxidant status in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared under high stocking density. Aquaculture, 2014, 418: 132–138

SAMSONOVA M V, MIN'KOVA N O, LAPTEVA T I, *et al*. Aspartate- and alanine-aminotransferase in early development of Keta. Ontogenez, 2003, 34(1): 19–23

SIMSER J A, MACALUSO K R, MULENGA A, *et al*. Immune-responsive lysozymes from hemocytes of the American dog tick, *Dermacentor variabilis* and an embryonic cell line of the Rocky Mountain wood tick, *D. andersoni*. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2004, 34(12): 1235–1246

XU X Y, YANG H, XU Z, *et al*. The comparison of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed trash fish and formula feeds: Growth, flesh quality and metabolomics. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 966248

(编辑 马璀艳)

Effects of Different Stocking Density on the Growth Performance, Digestive Enzyme Activities, Non-Specific Immunity and Anti-Stress Ability of *Lateolabrax japonicus*

WANG Chengqiang, XIANG Zhiwei, LI Baoshan, WANG Xiaoyan, HAO Tiantian, SONG Zhidong, SUN Yongzhi, LI Peiyu, LI Lu, HUANG Bingshan, CAO Tihong①

(*Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Marine Fishery Feed Engineering Technology Research Center, Aquatic Animal Nutrition and Feed Research and Development Innovation Demonstration Platform, Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Yantai Key Laboratory of Quality and Safety Control and Deep Processing of Marine Food, Yantai* 264006, *China*)

Abstract Studies on the stocking density of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) are limited. In addition, most studies have been mainly conducted in small laboratory water bodies, industrial cement ponds, and soil ponds, with few studies on seawater cages. Therefore, A 70-day feeding experiment was conducted to evaluate the effects of different stocking densities on growth performance, digestive enzyme activities, non-specific immunity, and anti-stress ability of *L. japonicus* [initial weight (220.52±2.50) g]. Four culture density gradients were set: 20 tail/box (M20, 4.43 kg/m^3), 30 tail/box (M30, 6.61 kg/m^3), 40 tail/box (M40, 8.82 kg/m^3), and 50 tail/box (M50, 10.98 kg/m^3). Each group had three replicates randomly placed in 12 seawater cages (1 m× 1 m× 1.2 m). The results were as follows. The weight growth rate (WGR) and specific growth rate (SGR) reached maximum values in the M40 group (90.33% and 0.92%/d), and no significant difference was observed with the M30 group (P>0.05), but both were significantly higher than the M20 and M50 groups (P<0.05). The condition factor (CF) of the M50 group was the lowest (1.72), which was significantly lower than the other three groups (P<0.05). The CF of the M40 group was the highest (1.84). The highest ether extract content in entire fish and muscle in the M30 group was significantly higher than that in the M50 group (P<0.05). The lowest ether extract content in muscle in the M50 group was 87.53%, which was significantly lower than that in other groups (P<0.05). Trypsin activities in the intestinal tract reached the highest value in the M40 group and were significantly higher than in other groups (P<0.05). Simultaneously, lipase activities had the lowest value in the M50 group and were significantly lower than that of the other groups (P<0.05). The activities of superoxide dismutase (SOD) of the M40 group were significantly higher than that of the M20 and M50 groups (P<0.05), but no significant difference was observed with that in the M30 group (P>0.05). The malondialdehyde (MDA) content in the M50 group was the highest and significantly higher than that of the other three groups (P<0.05). Meanwhile, the activities of alkaline phosphatase (AKP), lactate dehydrogenase (LDH), and lysozyme (LZM) had a similar tendency with SOD. With increased stocking density, corticosterone (COR) activity in the serum initially decreased and then increased; the activity of the M40 group was the lowest and was significantly lower than that of the other groups (P<0.05), whereas the activity of the M50 group was the highest and significantly higher than that of the other groups (P<0.05). The activities of creatine kinase (CK) and adrenocorticotropic hormone (ACTH) showed a similar tendency with COR. In conclusion, under the experimental conditions, the growth performance and non-specific immune ability of *L. japonicus* were optimal in the M30 and M40 groups, with a stocking density of 6.61–8.82 kg/m^3.

Key words *Lateolabrax japonicus*; Stocking density; Growth performance; Non-specific immunity ability; Anti-stress ability

① Corresponding author: CAO Tihong, Email: wcqkjxn@163.com