

doi: 10.7541/2021.2021.025

池塘圈养密度对大口黑鲈生长性能和健康状况的影响

张奇¹ 侯杰^{1,2} 杨军³ 廖伟坚¹ 卢建超¹ 何绪刚^{1,2}

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 武汉 430070;
3. 湖北省宜昌市水产技术推广站, 宜昌 443000)

摘要: 通过分析不同圈养密度的大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)生长及其相关健康指标, 探讨大口黑鲈适宜圈养密度。试验大口黑鲈初始体重为(9.71±3.75) g, 设置低密度组(LSD; 1000尾/圈, 50尾/m³)、中密度组(MSD; 2000尾/圈, 100尾/m³)和高密度组(HSD; 4000尾/圈, 200尾/m³)3个养殖密度组, 每个密度组3个重复, 养殖周期为2019年5月17日至11月16日, 为期180d。结果表明, 0—30d阶段, HSD组平均体重(W)和特定生长率(SGR)显著高于LSD、MSD组($P<0.05$), 30—180d阶段, 平均体重(W)和特定生长率(SGR)随密度升高呈降低趋势。在养殖结束时, HSD组的甘油三酯(TG)、碱性磷酸酶(ALP)、葡萄糖(GLU)和谷丙转氨酶(ALT)显著升高($P<0.05$); HSD组的总抗氧化力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性显著降低($P<0.05$), 而丙二醛(MDA)浓度显著升高($P<0.05$)。以上结果表明养殖前30d, 高密度(4000尾/圈, 200尾/m³)对生长有利; 但随养殖时间延长, 高密度对生长及有关生理指标和抗氧化性能产生一定的负面影响。大口黑鲈早期阶段(9.7—40 g/尾)圈养密度宜为4000尾/圈(200尾/m³); 鱼体重达到40 g后, 圈养密度宜为2000—3000尾/圈(100—150尾/m³)。

关键词: 圈养模式; 养殖密度; 生长性能; 血清生化; 抗氧化

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2022)05-0671-08



我国是水产养殖第一大国, 其中池塘养殖是最主要的生产方式之一^[1]。现在, 池塘养殖普遍采用高密度放养、大量投饲散养方式^[2], 池塘营养水平已大大超出池塘自净能力, 面临着养殖水质劣化、病害频发、反复用药且用药量与药残高、养殖效率低下等一系列问题^[3]; 同时, 养殖池塘冬季集中干塘、外排尾水, 低温增加了养殖尾水治理难度, 未达标的养殖尾水集中大量排放, 易引起受纳水体富营养化。因此, 传统池塘养殖模式向绿色、健康转型升级已刻不容缓。基于“时时打扫卫生”理念创制的池塘圈养模式(以下简称“圈养模式”), 变池塘散养为圈养, 通过高效收集养殖废弃物并移出池塘、资源化再利用, 实现了清水养殖, 大幅削减养殖废弃物排放量, 提质增效显著, 生态环保优点突出^[4, 5], 成为当下备受关注的新型绿色高效养殖模

式; 圈养技术也被农业农村部列为2019年、2020年重大引领性技术。然而, 作为一种新生模式与技术, 需要不断熟化与完善。所以, 有必要系统、深入研究圈养模式与技术。

养殖密度是水产养殖中最重要的技术参数之一, 直接影响到养殖对象的存活、生长、健康及养殖水环境质量, 也是养殖产量和经济效益的关键决定因素^[6]。通常, 适度提高养殖密度可降低养殖生产成本、提高经济效益; 但过高养殖密度反而会成为压力源, 引起养殖水环境恶化、养殖对象出现拥挤胁迫或不良群体行为, 从而导致养殖对象生长速度减缓、健康状况变差^[7]。因此, 确定适宜养殖密度是养殖系统高效率运行的关键。大口黑鲈(*Micropterus salmoides*), 俗称加州鲈, 是我国淡水养殖重要品种之一; 其肉质鲜美、无肌间刺、生长速度

收稿日期: 2021-03-01; 修订日期: 2021-11-24

基金项目: 湖北省池塘绿色生态养殖技术创新行动项目(106/46141800101); 中央高校基本科研业务费专项(2662020SCP001)资助
[Supported by Hubei Province Pond Green Ecological Aquaculture Technology Innovation Action Project (106/46141800101);
Project of Fundamental Scientific Research Funds for Central Universities (2662020SCP001)]

作者简介: 张奇(1995—), 男, 硕士研究生; 研究方向为淡水鱼类健康养殖。E-mail: 894587547@qq.com

通信作者: 何绪刚(1968—), 教授, 博士生导师; 研究方向为淡水鱼类健康养殖、渔业水域环境保护与修复。E-mail: xgh@mail.hzau.edu.cn

快、养殖周期短、适应性强,深受广大消费者和养殖者喜爱^[8]。本文以大口黑鲈为圈养对象,研究了从鱼种(约9.7 g)到商品鱼(约400 g以上)阶段,3种不同圈养密度对其生长、生理指标以及抗氧化性能等的影响,以期为大口黑鲈适宜圈养密度的确定、熟化圈养相关技术等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

大口黑鲈苗种来自湖北省枝江市一尘水产苗种厂,健康无病,规格整齐,生长良好。试验鱼初始平均体重为 (9.71 ± 3.75) g,初始平均体长为 (7.66 ± 0.98) cm。设置低密度组(LSD; 1000尾/圈, 50尾/ m^3)、中密度组(MSD; 2000尾/圈, 100尾/ m^3)和高密度组(HSD; 4000尾/圈, 200尾/ m^3)3个养殖密度组,每个密度组3个重复。养殖试验从2019年5月17日开始至11月16日,共持续180d。

1.2 圈养设施

试验地点为华中农业大学水产学院校内基地,圈养池塘面积 $1.75 \text{ m} \times 667 \text{ m}$,平均水深2.0 m,圈养桶12个(编号1—12#; 图1),圈养桶上部圆柱体(直径4.0 m,高1.9 m)是主要养殖区域,有效养殖水体 20 m^3 ,内设固定式防逃网和活动式捕捞网等;通过涡轮式风机和纳米微孔管进行增氧;圈养桶下部锥形结构、尾水管道、自吸泵等构成集排污系统,养殖废弃物通过桶内涡流和自然沉降至锥底,通过自吸泵抽排进入固液分离塔,在重力作用下固液分离,固废被回收再利用,上清液通过人工湿地进一步脱氮除磷后,循环流入圈养池塘。

1.3 饲养管理

试验用饲料为大口黑鲈专用商品饲料(粗蛋

白 $\geq 48.00\%$,粗脂肪 $\geq 6.00\%$,粗纤维 $\leq 4.00\%$,粗灰分 $\leq 16.00\%$),每天进行2—3次投喂,每天的投喂水平占鱼体总重量的1%—3%,每天早晚各排污一次,根据池塘水位情况,池塘因渗漏和蒸发时,适当补充新水,不额外换水。每天多次巡塘,密切观察系统设备运行和鱼体生活状况。定期监测系统水质变化,在试验期间圈养桶水温为 $19.00\text{—}33.90^\circ\text{C}$,溶解氧 $3.32\text{—}6.51 \text{ mg/L}$,透明度 $40.0\text{—}120.0 \text{ cm}$,pH为 $6.84\text{—}7.97$,氨氮为 $0.12\text{—}5.31 \text{ mg/L}$,亚硝酸盐为 $0.05\text{—}0.56 \text{ mg/L}$ 。

1.4 样品采集与分析

每日记录饲料投喂和死亡情况,每半个月从各试验组随机选取50尾鱼测定体重和体长等生长数据,测定后回放;每两个月从各试验组随机选取9尾鱼,尾部静脉取血,分离血清。同时将每尾鱼解剖,取肝脏样品用于抗氧化指标测定。

血清生化指标在Chemix800型全自动生化分析仪(日本希森美康公司)上测定,试剂盒购自中生北控生物技术股份有限公司。肝脏抗氧化指标采用试剂盒法测定,试剂盒购自南京建成生物科技研究所。

1.5 计算公式

$$\text{存活率}(SR, \%) = 100 \times (N_0 - N_t) / N_0$$

$$\text{特定生长率}(SGR, \%/d) = 100 \times (\ln M_2 - \ln M_1) / t$$

$$\text{饵料系数}(FCR) = FI / (M_2 - M_1)$$

$$\text{摄食率}(FR, \%) = 100 \times FI / [0.5(M_2 + M_1) \times t]$$

式中, N_t 为收获尾数; N_0 为放养尾数, $M_1(\text{g})$ 为鱼体最初均体重, $M_2(\text{g})$ 为鱼体最终均质量, t 为饲喂天数, $FI(\text{g})$ 为尾均摄食量(湿重), $M_b(\text{g})$ 和 $L(\text{cm})$ 分别代表每尾鱼体重和体长。

1.6 数据分析

试验统计数据用平均数 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ SD)表

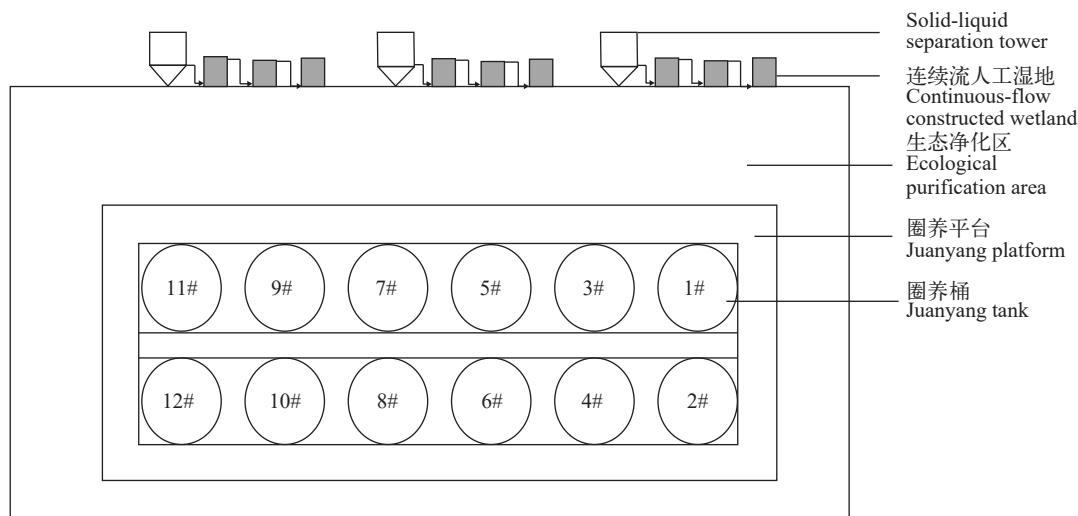


图1 圈养系统布局图

Fig. 1 Stable breeding system layout

示, 方差分析(One way ANOVA)采用SPSS25.0软件完成, 通过Duncan's多重比较来分析组间显著差异, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 存活率

在0—30d、90—120d两个阶段各密度组的存活率均较其他养殖阶段低, 且HSD组显著高于LSD、MSD组($P<0.05$); 其他阶段各组存活率均在98%以上, 并且各组间差异不显著($P>0.05$; 表1)。

2.2 生长情况

经180d圈养, 大口黑鲈终末体重、终末体长跟密度密切相关, 表现为随密度升高而显著递减($P<0.05$), HSD组最终密度、重量和总存活率显著高于MSD和LSD组($P<0.05$; 表2)。LSD、MSD和HSD组最终单产依次为(352.84±32.54)、(650.17±29.77)和(1197±82.52) kg/圈(图2)。

2.3 生长速度

总体上, 各密度组特定生长率随养殖时间延长呈逐步下降趋势: 0—30d阶段各组特定生长率约为

表1 不同密度组大口黑鲈成活率

Tab. 1 Survival rates of largemouth bass in different density groups

生长阶段 Growth stage (d)	组别Group		
	LSD	MSD	HSD
0—30	85.72±2.24 ^{ab}	81.26±3.00 ^b	91.13±4.77 ^a
30—60	97.64±1.03	98.91±0.4	98.1±1.16
60—90	98.88±0.79	99.59±0.04	99.54±0.25
90—120	90.59±0.66 ^b	92.34±0.65 ^b	94.27±0.84 ^a
120—150	99.56±0.15	99.82±0.09	99.69±0.07
150—180	99.86±0.2	99.66±0.27	99.29±0.46
0—180	75.04±2.62 ^b	73.8±2.28 ^b	83.29±4.16 ^a

注: 表中同行不同上标字母表示差异显著($P<0.05$), 下同
Note: The means with the different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$), the same applies blow

表2 不同密度圈养大口黑鲈生长状况

Tab. 2 Growth of largemouth bass at different densities in stable breeding

生长指标 Growth index	LSD	MSD	HSD
放苗数量(尾)	1000	2000	4000
初始体重IW(g)	9.71±3.45	9.71±3.45	9.71±3.45
初始体长IBL(cm)	7.66±0.98	7.66±0.98	7.66±0.98
初始重量ISD(kg/m ³)	0.42±0.00 ^a	1.03±0.01 ^b	1.88±0.06 ^c
终末体重FW(g)	458.75±13.94 ^a	402.67±29.60 ^b	348.01±24.96 ^c
终末体长FBL(cm)	26.21±0.31 ^a	25.56±0.52 ^b	24.59±0.66 ^c
终末重量FSD(kg/m ³)	17.64±1.63 ^c	32.51±1.49 ^b	59.85±4.13 ^a

4.5%/d, 30—60d阶段各组特定生长率为3%—3.5%/d, 60d以后, 各组特定生长率从1.8%左右逐渐下降至1%/d(图3)。

0—30d阶段, HSD组特定生长率显著高于其余密度组($P<0.05$; 图3), 且体重也显著高于LSD组($P<0.05$; 图4)。在规格苗种(~40 g/尾)培育阶段, 较高圈养密度(不低于4000尾/圈)有助于大口黑鲈苗种的快速生长。

30—60d阶段, HSD组特定生长率和体重均显著低于LSD组($P<0.05$), 而MSD组与LSD组差异不显著($P>0.05$; 图3和图4)。当体重达到50 g/尾时, 大口黑鲈圈养密度宜下调至4000尾/圈以下但不低于2000尾/圈。

60d以后, 各密度组特定生长率差异不显著($P<0.05$; 图3), 但HSD组体重在各时间节点均显著低于其余密度组($P<0.05$); 60—105d阶段, MSD组体重与LSD组差异不显著($P>0.05$); 各密度组体重之间差异显著($P<0.05$), 组间LSD组体重最大(图3)。这说明拥挤胁迫效应至养殖中后期逐渐显现。

2.4 摄食和饵料转化效率

各试验组摄食率在整体上呈逐渐降低趋势, 而且HSD组摄食率在大部分阶段显著降低($P<0.05$; 图5a); 各试验组饵料系数在整体上呈先上升后下降的趋势(图5b)。0—30d阶段, HSD组饵料系数显著低于LSD、MSD组($P<0.05$); 其他阶段差异不显著($P>0.05$; 图5b)。

2.5 血清生化指标

在60d时, 各密度组血清生化指标均没有显著差异($P>0.05$); 在120d时, 相比于LSD和MSD组, HSD组甘油三酯及碱性磷酸酶含量更高($P<0.05$), 并且一直持续到180d; 在180d时, HSD组葡萄糖和谷丙转氨酶也显著高于另外两组($P<0.05$), 而总蛋白、胆固醇和谷草转氨酶含量在各密度组之间没有显著差异($P>0.05$; 表3)。

2.6 肝脏抗氧化指标

在第0至第120天时, HSD组超氧化物歧化酶活性显著低于LSD组($P<0.05$), 其他指标在各组之间无显著差异($P>0.05$); 在180d时, HSD组总抗氧化力、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性显著降低($P<0.05$), 而丙二醛浓度显著升高($P<0.05$; 图6)。

3 讨论

3.1 圈养密度对大口黑鲈存活率的影响

在本试验中, 0—30d阶段、90—120d两个阶段各组存活率均较低, 这与两次较大的死亡有关。第

一次发生在进苗初期, 水温23.3—25.2℃, 其主要原因是鱼苗运输和转运过程中发生了较严重的机械

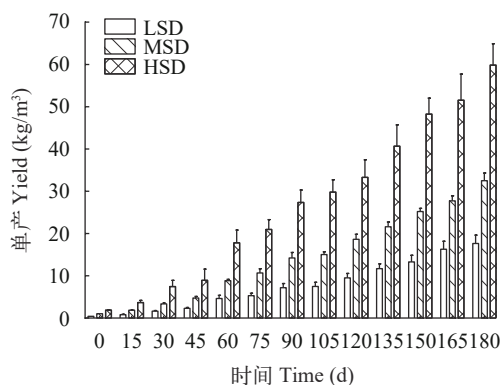


图2 不同密度圈养大口黑鲈单产

Fig. 2 Yield of largemouth bass at different densities groups in stable breeding

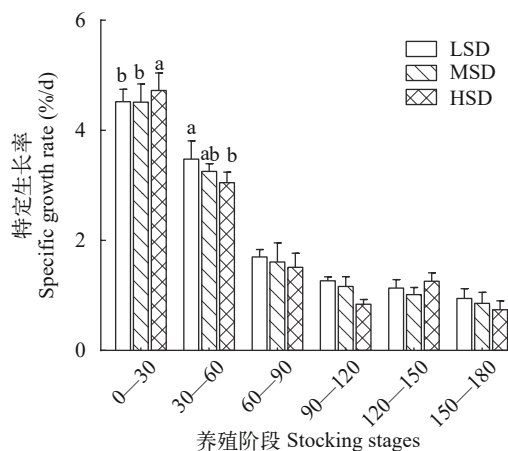


图3 不同密度圈养大口黑鲈特定生长率

Fig. 3 SGR of largemouth bass at different densities in stable breeding

图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同

Different letters in the bar chart indicate significant differences ($P < 0.05$), the same applies below

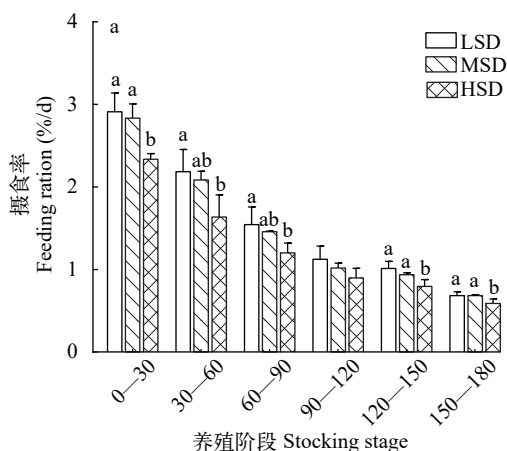


图5 不同密度圈养大口黑鲈摄食率和饵料系数

Fig. 5 Feeding ration and feed conversion ratio of largemouth bass at different densities in stable breeding

损伤, 鱼苗入养殖桶后受到水霉菌感染而爆发水霉病; 第二次发生在8月中下旬, 水温31.2—32.6℃, 大大超过了大口黑鲈生长最适水温(18—28℃), 高温会引起大口黑鲈食欲下降、自身免疫力降低^[9], 受铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌感染, 暴发烂嘴烂身病。从发病规律和特征来看, 圈养大口黑鲈有两大技术关键点, 一是鱼苗在运输和投放过程中要尽量避免机械损伤; 二是高温时期需要注重保护鱼体健康, 增强鱼体免疫力。另外, 先前的一些研究报道了养殖鱼类存活率与密度之间呈反比关系, 如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[10]和尼罗罗非鱼(*Nile tilapia*)^[11]在高养殖密度下存活率更低。本研究的结果与之不同, 在圈养模式下, 大口黑鲈存活率并不会因为密度升高而降低。另外, 除暴发疾病引起较大死亡外, 其他阶段的存活率均在98%以上, 这也侧面印证大口黑鲈可以很好适应圈养环境。

3.2 圈养密度对大口黑鲈生长的影响

鱼类不同生长阶段的适宜放养密度不同。0—30d阶段, HSD组虽然尾数较多, 但由于鱼体规

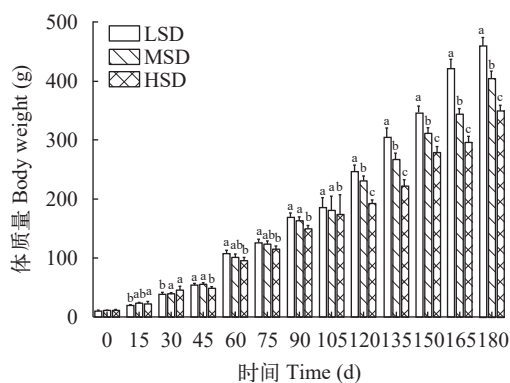
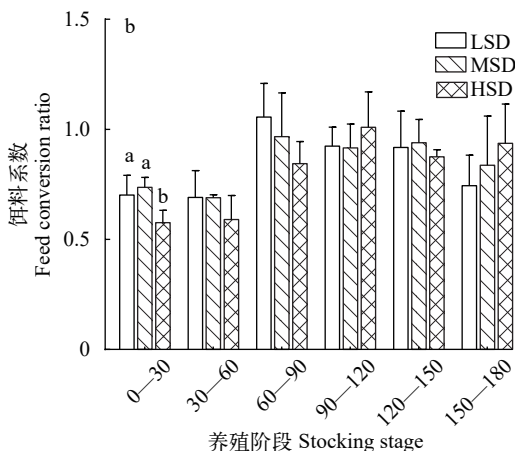


图4 不同密度圈养大口黑鲈体重变化

Fig. 4 Body weight of largemouth bass at different densities in stable breeding



格较小, 30d时的平均单产仅为 1.88 kg/m^3 , 养殖系统实际承载量并不大。该阶段HSD组体重和特定生长率显著高于LSD组, 同时HSD组饵料系数更低。这表明, 大口黑鲈规格苗种($\sim 40 \text{ g/尾}$)培育阶

表 3 不同密度圈养大口黑鲈的血清生化指标

Tab. 3 Serum biochemical indexes of largemouth bass at different densities in stable breeding

指标 Parameter	组别 Group	时间 Time (d)		
		60	120	180
葡萄糖GLU (U/L)	LSD	5.48 ± 0.32	3.43 ± 0.89	6.91 ± 1.54^b
	MSD	5.59 ± 0.67	3.02 ± 1.01	6.83 ± 1.51^b
	HSD	4.97 ± 0.09	2.89 ± 1.34	9.04 ± 1.76^a
胆固醇TCHO (mmol/L)	LSD	13.02 ± 0.83	14.81 ± 0.42	13.51 ± 1.26
	MSD	14.69 ± 0.44	16.31 ± 0.47	13.7 ± 2.34
	HSD	14.01 ± 0.52	17.93 ± 1.06	12.25 ± 0.63
总蛋白TP (g/L)	LSD	71.50 ± 5.42	56.93 ± 6.31	55.31 ± 4.78
	MSD	61.75 ± 1.07	53.09 ± 5.47	44.50 ± 7.36
	HSD	69.94 ± 3.89	46.73 ± 4.09	59.54 ± 2.75
甘油三酯TG (mmol/L)	LSD	4.16 ± 1.83	5.45 ± 1.20^b	4.97 ± 0.82^b
	MSD	5.80 ± 0.97	5.15 ± 1.21^b	4.80 ± 1.45^b
	HSD	5.63 ± 1.01	13.66 ± 2.97^a	21.84 ± 3.45^a
碱性磷酸酶ALP (U/L)	LSD	38.50 ± 2.43	45.38 ± 5.14^b	39.67 ± 6.28^b
	MSD	42.33 ± 1.12	33.29 ± 3.68^b	36.86 ± 4.98^b
	HSD	43.42 ± 3.67	64.29 ± 7.68^a	70.57 ± 15.02^a
谷草转氨酶AST (U/L)	LSD	5.70 ± 1.03	5.13 ± 0.89	5.69 ± 1.16
	MSD	5.43 ± 1.01	4.94 ± 1.21	6.48 ± 1.63
	HSD	6.24 ± 0.60	5.56 ± 1.70	6.35 ± 4.60
谷丙转氨酶ALT (U/L)	LSD	3.99 ± 0.09	5.28 ± 0.30	4.06 ± 0.83^b
	MSD	3.52 ± 0.32	3.17 ± 1.01	8.97 ± 1.20^b
	HSD	5.25 ± 0.27	6.43 ± 1.50	18.58 ± 2.55^a

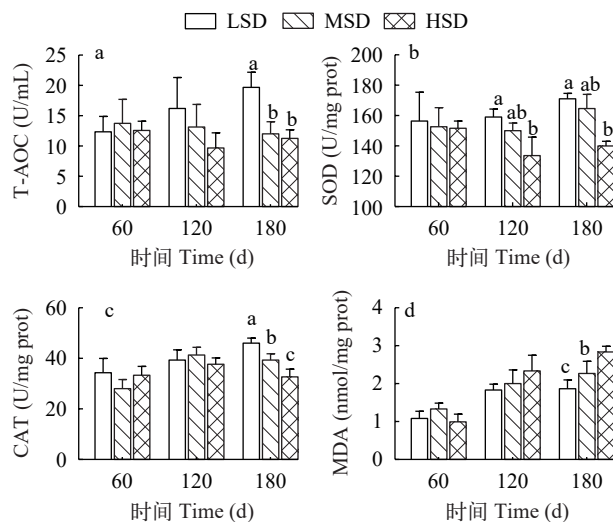


图 6 不同密度圈养大口黑鲈抗氧化性能

Fig. 6 Antioxidant properties of largemouth bass at different densities in stable breeding

段, 较高圈养密度(≥ 4000 尾/圈)对其生长有利。限于本研究苗种放养规格, 小规格($< 5 \text{ g/尾}$)培育阶段的适宜圈养密度有待进一步研究。有研究证实, 较高放养密度可增进个体间的竞争和互动性; 在较低放养密度时, 因社会互动性较弱反而引起生长减缓^[13, 14]。大口黑鲈集群性强, 密养时相互模仿, 有助于增进群体食欲, 进而有益于其快速生长。该现象在细鳞鲈(*Brachymystax lenok*)^[15]和泥塘幼鲮(*Chelon labrosus*)^[16]等鱼类中也普遍存在。

30—60d阶段, HSD组特定生长率和体重均显著低于LSD组, 而MSD组与LSD组差异不显著。60d时, LSD、MSD和HSD组的单产分别是 4.64 、 8.84 和 17.80 kg/m^3 。因此, 下调圈养密度有助于养殖对象保持较高生长速度。

在养殖中后期(105—180d), 各密度组间体重各时间节点均差异显著, 表现为密度越低, 体重越大; 同时特定生长率随密度增高逐渐降低, 说明HSD组大口黑鲈在养殖中后期生长速度开始被抑制。这一结果表明, 密度制约效应在养殖中后期才逐渐显现。类似情况在大口黑鲈池塘“跑道”养殖中也被观察到, 如“跑道”养殖后期, 高养殖密度会降低其增重率和特定生长率^[17]。大量研究也表明, 过高养殖密度会对鱼类生长性能产生不利影响^[18—20], 主要的影响机制可能是, 高养殖密度使鱼类机体应激水平升高, 饲料摄取降低, 机体代谢成本增加^[13, 21, 22]。在本研究中, 养殖中后期HSD组摄食率较LSD、MSD组更低, 这可能是因高密度下养殖鱼类生活空间和食物争夺压力增大、食欲降低^[23]导致的。此外, 在高密度胁迫下鱼体会通过分配体内能源物质来弥补额外能量损耗^[24], 而摄食量的下降会加剧这种能量损失^[25], 这可能是导致本研究中大口黑鲈生长减缓的直接原因。

据本研究结果, 大口黑鲈规格苗种($\sim 40 \text{ g/尾}$)培育阶段, 适宜圈养密度应不低于 4000 尾/圈(200 尾/m^3); 当体重达到 50 g/尾 时, 圈养密度宜下调, 综合考虑生长速度和单产, 建议圈养密度下调至 $2000—3000$ 尾/圈($100—150 \text{ 尾/m}^3$)。

3.3 养殖密度对大口黑鲈健康状况的影响

养殖密度是鱼类重要的慢性应激源之一。机体产生一系列生理反应以适应高密度环境, 因此通过生理指标可评估不同放养密度下鱼类的健康状况^[26]。在众多生理指标中, 血清葡萄糖浓度常被用作反映鱼类在应激水平^[27]; 总胆固醇和甘油三酯与机体代谢和生理状态密切相关, 反映了鱼类对环境的适应性^[28]; 碱性磷酸酶是机体一种重要的代谢调控酶, 与鱼体的抗病能力息息相关^[29]。在本研究中, 各密度组间血清指标的差异主要存在于养殖中后

期(120—180d), 180d时, HSD组血清葡萄糖显著升高, 这与杂交鲟幼鱼^[30]和大口黑鲈^[31]的研究结果类似。密度胁迫会上调皮质醇水平, 从而促进糖异生, 加速非碳水化合物转化葡萄糖^[32]。180d时, HSD组甘油三酯的浓度显著高于LSD、MSD组, 而总胆固醇浓度在各组间差异不显著。这可能是在密度胁迫下, 甘油三酯被大量动员以应对额外增加的能量消耗导致的。另外, 总蛋白含量在各密度组间没有明显差异, 可能因为能量来源主要是脂肪, 总蛋白水平则趋于稳定。本研究还发现, 180d时HSD组碱性磷酸酶活性中显著上升, 说明高密度下机体的代谢和免疫水平增强, 这在团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)的研究中也有类似现象^[33]。此外, 谷草、谷丙转氨酶活性与肝功能直接相关, 通常这两种酶活性升高表明肝脏发生病变^[34], 本研究发现HSD组大口黑鲈肝脏谷草、谷丙转氨酶活性在180d时显著升高, 说明高养殖密度在养殖后期对大口黑鲈肝脏健康存在不利的影响。

在密度胁迫下, 细胞内氧自由基增加, 当过量的氧自由基和抗氧化防御系统失衡, 就会产生氧化损伤^[35]。总抗氧化力、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等抗氧化指标与机体对应激的代偿和清除自由基的能力直接相关^[36]。丙二醛是脂质过氧化氢的分解产物, 也是细胞氧化损伤的重要信号之一^[37]。在养殖前期(0—120d), 超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活力和丙二醛含量在各组间无明显差异, 表明圈养密度在养殖前期没有造成氧化损伤; 养殖后期高养殖密度组的大口黑鲈超氧化物歧化酶、过氧化氢酶显著降低, 同时丙二醛含量显著升高。这说明在养殖后期高密度组大口黑鲈氧自由基合成增强, 细胞损伤程度加剧, 清除自由基和抗氧化能力下降, 这与在大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[37]和大西洋鲑(*Salmo salar*)^[38]的研究中发现是一致的。

4 结论

研究表明, 在养殖前期, 高养殖密度(4000尾/圈, 200尾/m³)对生长有利; 但随养殖时间延长, 养殖密度不断升高, 生长会受到抑制, 并对生理指标和抗氧化性能有一定的负面影响。以尾重9.7 g大规格苗种为养殖起点, 大口黑鲈早期阶段(<40 g/尾)圈养密度宜为4000尾/圈(200尾/m³); 养殖中后期圈养密度宜为2000—3000尾/圈(100—150尾/m³)。

参考文献:

- [1] Sun Y F, Wang F, Liu F, *et al.* Nitrogen and phosphorus budgets in grass carp, silver carp, and common carp culture systems [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, **22**(3): 450-459. [孙云飞, 王芳, 刘峰, 等. 草鱼与鲢、鲤不同混养模式系统的氮磷收支 [J]. 中国水产科学, 2015, **22**(3): 450-459.]
- [2] Song C, Meng S L, Fan L M, *et al.* Environmental impact and countermeasures of freshwater fishpond aquaculture in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, **28**(26): 89-92. [宋超, 孟顺龙, 范立民, 等. 中国淡水池塘养殖面临的环境问题及对策 [J]. 中国农学通报, 2012, **28**(26): 89-92.]
- [3] Yuan J, Ni M, Liu M, *et al.* Analysis of the growth performances, muscle quality, blood biochemistry and antioxidant status of *Micropterus salmoides* farmed in in-pond raceway systems versus usual-pond systems [J]. *Aquaculture*, 2019(511): 734241.
- [4] He X G. "Zero-emission" green and efficient Juanyang technology in ponds [J]. *Scientific Fish Farming*, 2019, **361**(9): 16-17. [何绪刚. 圈养技术池塘“零排放”绿色高效 [J]. 科学养鱼, 2019, **361**(9): 16-17.]
- [5] He X G, Hou J. Research progress on pond Juanyang mode [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, **40**(3): 21-29. [何绪刚, 侯杰. 池塘圈养模式研究进展 [J]. 华中农业大学学报, 2021, **40**(3): 21-29.]
- [6] Manduca L G, Da Silva M A, Alvarenga É R de, *et al.* Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance and health of *Nile tilapia* at different stocking densities [J]. *Aquaculture*, 2020, **521**(3): 735064.
- [7] Bolasina S, Tagawa M, Yamashita Y, *et al.* Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activity and cortisol level in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. *Aquaculture*, 2006, **259**(1-4): 432-443.
- [8] Xie S M, Wang Y Y, Nie Z J, *et al.* Effects of feeding frequency on the growth, physiology and expression abundance of IGF-I and GH mRNA in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) reared in in-pond raceway culture systems [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, **27**(4): 363-374. [谢苏明, 王裕玉, 聂志娟, 等. 投喂频率对池塘工程化循环水养殖大口黑鲈生长, 生理及肝脏GH, IGF-I基因表达丰度的影响 [J]. 中国水产科学, 2020, **27**(4): 363-374.]
- [9] Sun Y X, Dong H B, Wang W H, *et al.* Effects of temperature on antioxidant capacity and immune associated protein expression in different tissues and organs of juvenile *Micropterus salmoides* [J]. *Ecological Science*, 2019, **38**(3): 18-25. [孙永旭, 董宏标, 王文豪, 等. 温度对大口黑鲈幼鱼不同组织抗氧化能力及免疫相关蛋白表达的影响 [J]. 生态科学, 2019, **38**(3): 18-25.]
- [10] Wallat G K, Tiu L G, Rapp J D, *et al.* Effect of stocking density on growth, yield, and costs of producing rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in cages [J]. *Journal of Applied Aquaculture*, 2004, **15**(3-4): 73-82.
- [11] Garcia F, Romera D M, Gozi K S, *et al.* Stocking density

- of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir [J]. *Aquaculture*, 2013(410-411): 51-56.
- [12] Herrera M, Vargas-Chacoff L, Hachero I, *et al.* Physiological responses of juvenile wedge sole *Dicologlossa cuneata* (Moreau) to high stocking density [J]. *Aquaculture Research*, 2009, **40**(7): 790-797.
- [13] Laursen D C, Silva P I M, Larsen B K, *et al.* High oxygen consumption rates and scale loss indicate elevated aggressive behaviour at low rearing density, while elevated brain serotonergic activity suggests chronic stress at high rearing densities in farmed rainbow trout [J]. *Physiology & Behavior*, 2013(122): 147-154.
- [14] Millán-Cubillo A F, Martos-Sitcha J A, Ruiz-Jarabo I, *et al.* Low stocking density negatively affects growth, metabolism and stress pathways in juvenile specimens of meagre (*Argyrosomus regius*, Asso, 1801) [J]. *Aquaculture*, 2016(451): 87-92.
- [15] Liu Y, Liu H, Wu W, *et al.* Effects of stocking density on growth performance and metabolism of juvenile Lenok (*Brachymystax lenok*) [J]. *Aquaculture*, 2019(504): 107-113.
- [16] De Las Heras V, Martos-Sitcha J A, Yúfera M, *et al.* Influence of stocking density on growth, metabolism and stress of thick-lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2015(448): 29-37.
- [17] Wang Y Y, Xu P, Nie Z J, *et al.* Growth performance and serum biochemical parameters of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) reared at different stocking densities in an in-pond raceway recirculating culture system [J]. *Freshwater Fisheries*, 2019, **49**(3): 90-5.
- [18] Sánchez P, Ambrosio P P, Flos R. Stocking density affects Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup) growth independently of size dispersion, evaluated using an individual photo-identification technique [J]. *Aquaculture Research*, 2013, **44**(2): 231-241.
- [19] Andrade T, Afonso A, Pérez-Jiménez A, *et al.* Evaluation of different stocking densities in a Senegalese sole (*Solea senegalensis*) farm: implications for growth, humoral immune parameters and oxidative status [J]. *Aquaculture*, 2015(438): 6-11.
- [20] Naderi M, Keyvanshokoo S, Salati A P, *et al.* Effects of chronic high stocking density on liver proteome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 2017, **43**(5): 1373-1385.
- [21] Sammouth S, D'orbcastel E R, Gasset E, *et al.* The effect of density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) performance in a tank-based recirculating system [J]. *Aquacultural Engineering*, 2009, **40**(2): 72-78.
- [22] Duan Y, Dong X, Zhang X, *et al.* Effects of dissolved oxygen concentration and stocking density on the growth, energy budget and body composition of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) [J]. *Aquaculture Research*, 2011, **42**(3): 407-416.
- [23] Abdel-Tawwab M, Hagraas A E, Elbaghdady H A M, *et al.* Dissolved oxygen level and stocking density effects on growth, feed utilization, physiology, and innate immunity of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Applied Aquaculture*, 2014, **26**(4): 340-355.
- [24] Dennis T E, Bulger A J. Condition factor and whole-body sodium concentrations in a freshwater fish: Evidence for acidification stress and possible ionoregulatory over-compensation [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, **85**(2): 377-382.
- [25] Zhao H H. The effects of stocking density and feeding models on muscle quality and metabolic regulations of grass carp *Ctenopharyngodon Idellus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019: 29-36. [赵鸿昊. 养殖密度和投喂模式对草鱼肌肉品质和代谢调控的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019: 29-36.]
- [26] Ni M, Wen H, Li J, *et al.* The physiological performance and immune responses of juvenile Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) to stocking density and hypoxia stress [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, **36**(2): 325-335.
- [27] Refaey M M, Li D, Tian X, *et al.* High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. *Aquaculture*, 2018(492): 73-81.
- [28] Wan J J, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary vitamin C on the non-specific immunity, three hsp mRNA expression and disease resistance of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(1): 10-18. [万金娟, 刘波, 戈贤平, 等. 日粮中不同水平维生素C对团头鲂幼鱼免疫力的影响 [J]. 水生生物学报, 2014, **38**(1): 10-18.]
- [29] Ding H M. Effect of stocking density on feeding and growth and physiological function of juvenile hybrid sturgeon [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 29-36. [丁厚猛. 养殖密度对杂交幼鱼摄食、生长及生理机能的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 29-36.]
- [30] Ni J J, Wang Y Y, Xu G C, *et al.* Effects of stocking density on growth, physiological indices and expression of GH and IGF-I genes of largemouth bass *Micropterus salmoides* in in-pond raceway culture systems [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2020, **35**(6): 805-813. [倪金金, 王裕玉, 徐钢春, 等. 养殖密度对池塘循环水养殖大口黑鲈生长、生理指标和GH、IGF-I基因表达的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2020, **35**(6): 805-813.]
- [31] Peter M C S. Understanding adaptive response in vertebrates: The phenomenon of ease and ease response during post-stress acclimation [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2012(181): 59-64.
- [32] Qi C, Xie C, Tang R, *et al.* Effect of stocking density on growth, physiological responses, and body composition of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2016,

- 47(3): 358-368.
- [33] Akrami R, Gharaei A, Mansour M R, *et al.* Effects of dietary onion (*Allium cepa*) powder on growth, innate immune response and hemato-biochemical parameters of beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1754) juvenile [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, **45**(2): 828-834.
- [34] Ahmad I, Hamid T, Fatima M, *et al.* Induction of hepatic antioxidants in freshwater catfish (*Channa punctatus* Bloch) is a biomarker of paper mill effluent exposure [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2000, **1523**(1): 37-48.
- [35] Wang C Q, Wang J Y, Li B S, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid on the growth performance, antioxidant capacity, and fatty acid metabolism of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, **25**(3): 555-566. [王成强, 王际英, 李宝山, 等. 饲料中花生四烯酸含量对刺参生长性能、抗氧化能力及脂肪酸代谢的影响 [J]. *中国水产科学*, 2018, **25**(3): 555-566.]
- [36] 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 [J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, **43**(6): 35-38. [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 [J]. *淡水渔业*, 2013, **43**(6): 35-38.]
- [37] Jia R, Liu B L, Feng W R, *et al.* Stress and immune responses in skin of turbot (*Scophthalmus maximus*) under different stocking densities [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016(55): 131-139.
- [38] Liu B, Liu Y, Sun G. Effects of stocking density on growth performance and welfare-related physiological parameters of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in recirculating aquaculture system [J]. *Aquaculture Research*, 2017, **48**(5): 2133-2144.

CAPTIVE DENSITY ON GROWTH PERFORMANCE AND HEALTH STATUS OF LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

ZHANG Qi¹, HOU Jie^{1,2}, YANG Jun³, LIAO Wei-Jian¹, LU Jian-Chao¹ and HE Xu-Gang^{1,2}

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Engineering Research Center of Ministry of Education for Green Development of Bulk Aquatic Biological Industry in Yangtze River Economic Zone, Wuhan 430070, China; 3. Yichang Fishery Technical Extension Station, Yichang 443000, China)

Abstract: Stoking density plays a vital role in efficient aquaculture. To explore the suitable stocking density of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in stable breeding system, this study investigated the growth rate and relative health parameters of largemouth bass under different stocking density conditions with initial body mass of (9.71 ± 3.75) g of the largemouth bass that were randomly divided into three density groups (LSD, 1000 tails/circle, 50 tails/m³; MSD 2000 tails/circle, 100 tails/m³; and HSD, 4000 tails/circle, 200 tails/m³) for an 180-day trial. The results showed that the average body weight and specific growth rate (SGR) of the HSD group were significantly higher than those in the LSD and MSD groups at the early culture stage (1—30 day) ($P < 0.05$). However, the average body weight and the SGR decreased with the increasing stocking density during the growth stage of 31—180 day. At the end of experiment, the triglycerides (TG), alkaline phosphatase (ALP), glucose (GLU), alanine aminotransferase (ALT) of the HSD group increased significantly ($P < 0.05$). Whereas, the activities of total antioxidant capacity (T-AOC), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in LSD group were significantly higher than those in the other two groups ($P < 0.05$). Overall, the stocking density (4000 tail/tank, 200 tail/m³) could stimulate the growth rate of largemouth bass at early culture stage, but high stocking density could affect the growth rate and health status of fish at the later growth stage due to the density stress effect.

Key words: Stable breeding model; Stocking density; Growth performance; Serum biochemistry; Anti-oxidation