

杂交鲷与黑鲷投喂频率的比较研究

仇玉燕^{1,2}, 张志勇², 陈淑吟², 倪可雯^{1,2}, 贾超峰^{1,2}, 孟乾², 祝斐², 张志伟², 汤晓建²

1. 上海海洋大学/水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306

2. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007

摘要: 比较了黑鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*) ♀×真鲷 (*Pagrus major*) ♂杂交子二代 (杂交鲷或杂交F₂) 与黑鲷幼鱼在不同投喂频率下生长性能、生理生化指标的差异表现, 为新品种选育提供基础依据。选用杂交F₂及黑鲷幼鱼为研究对象, 设4个投喂频率组 (1T: 1次·d⁻¹、2T: 2次·d⁻¹、3T: 3次·d⁻¹、4T: 4次·d⁻¹), 进行40 d的养殖实验。结果显示, 投喂频率从1T升至2T, 杂交F₂与黑鲷的增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR)、成活率 (SR) 显著升高 ($P<0.05$), 胃蛋白酶、脂肪酶 (LPS)、 α -淀粉酶活力显著降低 ($P<0.05$)。投喂频率超过2T时, 杂交F₂及黑鲷各实验组的WGR、SGR、SR及消化酶活力均无显著差异 ($P>0.05$); 抗氧化酶活力3T与2T组间无显著差异 ($P>0.05$), 但显著高于4T ($P<0.05$)。相同的投喂频率下, 2T组杂交F₂的WGR、SGR、胃蛋白酶、LPS均显著高于黑鲷 ($P<0.05$), 4T组杂交F₂的过氧化氢酶 (CAT)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 均显著高于黑鲷 ($P<0.05$)。研究结果表明, 杂交F₂及黑鲷幼鱼的适宜投喂频率为2T, 且杂交F₂在所有组别中的生长性能表现均优于黑鲷。

关键词: 杂交鲷; 黑鲷; 投喂频率; 生长性能; 生理生化指标

中图分类号: S 968.1

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Comparative study on feeding frequency of hybrid F₂ of *Acanthopagrus schlegelii* ♀ × *Pagrus major* ♂ and *A. schlegelii*

QIU Yuyan^{1,2}, ZHANG Zhiyong², CHEN Shuyin², NI Kewen^{1,2}, JIA Chaofeng^{1,2}, MENG Qian², ZHU Fei², ZHANG Zhiwei², TANG Xiaojian²

1. Shanghai Ocean University/National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai 201306, China

2. Marine Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nantong 226007, China

Abstract: In order to study and compare the differences of growth performance, physiological and biochemical indexes between the hybrid porgy (HF₂) of *Acanthopagrus schlegelii*♀ (black porgy) × *Pagrus major*♂ (red porgy) and *A. schlegelii* with different feeding frequencies, we selected the HF₂ and *A. schlegelii* juveniles as the research objects, and set four feeding frequency groups: once·d⁻¹, twice·d⁻¹, 3 times·d⁻¹ and 4 times·d⁻¹ (marked as 1T, 2T, 3T and 4T), and carried out a 40-day breeding experiment. The results show that when the feeding frequency increased from 1T to 2T, the weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR) and survival rate (SR) of the HF₂ and *A. schlegelii* increased significantly ($P<0.05$), while the activities of pepsin, lipase and α -amylase decreased significantly ($P<0.05$). There was no significant difference in the WGR, SGR, SR and digestive enzyme activities among the HF₂ and *A. schlegelii* groups ($P>0.05$). When the feeding frequency was more than 2T, there was no significant difference in the WGR, SGR, SR and digestive enzyme activity among the experimental groups ($P>0.05$). The antioxidant enzyme activity had no significant difference between 3T and 2T groups ($P>0.05$), but was significantly higher than

收稿日期: 2021-03-16; 修回日期: 2021-05-26

基金项目: 江苏省农业重大新品种创制项目 (PZC201744); 江苏省农业科技自主创新资金项目 [CX(17)2021]

作者简介: 仇玉燕 (1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海产鱼类种质资源与增养殖。E-mail: yuyanqiu2528@163.com

通信作者: 陈淑吟 (1966—), 女, 研究员, 博士, 从事海洋生物种质资源与育种研究。E-mail: shuyinchen89@163.com

that in 4T group ($P>0.05$). In addition, with the same feeding frequency, the WGR, SGR, pepsin and lipase (LPS) of the HF₂ in 2T group were significantly higher than those of *A. schlegelii*; the catalase (CAT) and total superoxide dismutase (T-SOD) of the HF₂ in 4T group were significantly higher than those of *A. schlegelii* ($P<0.05$). Therefore, the optimum feeding frequency of the HF₂ and *A. schlegelii* juveniles is 2T, and the growth performance of the HF₂ is obviously better than that in *A. schlegelii* among all the experimental groups.

Key words: Hybrid porgy F₂ of *Acanthopagrus schlegelii* ♀ × *Pagrus major* ♂; *A. schlegelii*; Feeding frequency; Growth performance; Physiological and biochemical indicators

投喂频率对养殖鱼类的生长、发育有显著影响^[1-2]。适宜的投喂频率可以最大程度地促进鱼体生长、降低个体分化差异、提高饵料利用率等^[3-4]；反之则会对鱼类生长、代谢造成危害，由于关系到养殖效益及生态环境，对集约化鱼类养殖的影响尤为明显^[5-6]；探究所饲鱼种的最优投喂频率关系到集约化养殖的成败。不同鱼类的最适投喂频率不同；每天 3 次的饱食投喂频率就可满足 11~60 g 的牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 的最大生长性能^[7]；而 1~16 g 的锯盖鱼 (*Centropomus undecimalis*) 幼鱼的最适投喂频率是每天 4~6 次^[8]。最适投喂频率的确定还受到鱼体年龄、大小的影响，如点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 个体规格越大，生长阶段越靠后，其最适宜投喂频率越低^[9]。

大量研究表明，投喂频率与鱼体的生长发育^[10-14]、消化代谢^[15-19]和免疫应激^[20-23]等显著相关。如投喂频率采用 1 次·2 d⁻¹ 和 1 次·3 d⁻¹ 的大西洋鲑 (*Salmo salar*) 鱼体质量增加率较 3 次·d⁻¹ 的分别降低了 50% 和 75%^[10]；(35.5±4.58) g 的珍珠龙胆石斑鱼 (*E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) 幼鱼以 2 次·d⁻¹ 投喂的增重率和特定生长率显著高于 1 次·d⁻¹ 的^[11]；(55.25±0.61) g 彭泽鲫 (*Carassius auratus var pengze*) 幼鱼以 3 次·d⁻¹ 投喂的增重率、特定生长率和肥满度等生长指标较 1 次·d⁻¹ 的显著升高了 47%、37% 和 6.5%^[12]。15 g 的红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*) 幼鱼以 3 次·d⁻¹ 投喂的消化酶活性显著高于 2 次·d⁻¹ 和 4 次·d⁻¹ 的^[17]；(0.57±0.01) g 的厚颌鲂 (*Megalobrama pellegrini*) 幼鱼以 3 次·d⁻¹ 投喂的肠消化酶活性显著高于 2 次·d⁻¹ 的^[18]；(88.3±2.4) g 金头鲷投喂频率超过 1 次·d⁻¹ 时其胃蛋白酶活力显著下降^[19]。(12.29±0.40) g 的青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 幼鱼以 3 次·d⁻¹ 投喂时，其体脂肪含量与抗氧化酶活力显著升高^[20]；(0.5±0.04) g 的黄颡鱼幼鱼投喂频率从 1 次·d⁻¹ 升至 4 次·d⁻¹ 时，其肝脏超氧化物歧化酶和过氧化氢酶 mRNA

的表达量显著升高^[21]；投喂频率为 4 次·d⁻¹ 时，(4.14±0.74) g 的长鳍篮子鱼 (*Siganus canaliculatus*) 幼鱼的谷草转氨酶、谷丙转氨酶活力显著升高^[22]。因此，了解主要养殖鱼类的最适投喂频率及其生理响应情况，有助于开展持续、高效的养殖工作^[2,4]。

黑鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*, ♀) × 真鲷 (*Pagrus major*, ♂) 的杂交 F₁ 在生长方面有优于黑鲷的表现^[24-26]；以杂交 F₁ 为亲本，获得的杂交 F₂ (暂定名为“杂交鲷”)，在早期发育阶段亦表现出明显的生长优势^[27]；笔者有关杂交鲷与黑鲷生长相关基因的检测也得到了相似的结果 (另文发表)。目前尚未见杂交鲷与黑鲷幼鱼在不同投喂频率下生长、生理等方面的差异研究报道。本研究以黑鲷 (♀) × 真鲷 (♂) 杂交 F₂ 和黑鲷幼鱼为研究对象，探讨比较了杂交鲷和黑鲷幼鱼在不同投喂频率下的生长性能、生理生化指标的差异表现，以期在改善生长性能的同时提高饲料利用率，为杂交鲷的投喂管理和新品种培育技术的开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及规格

实验在江苏省南通市海水种苗繁育及增养殖技术中心进行。选择相同规格的健康个体作为样本，杂交 F₂ 体质量 (6.42±0.14) g，体长 (5.70±0.11) cm；黑鲷体质量 (6.52±0.23) g，体长 (5.86±0.14) cm。

1.2 实验设计

实验在室内 4 m × 3.2 m × 3.2 m 水泥池中进行。设置 4 个投喂频率组 (1T: 1 次·d⁻¹、2T: 2 次·d⁻¹、3T: 3 次·d⁻¹、4T: 4 次·d⁻¹)。投喂时间设置为 1T 组 18:00，2T 组 7:00、18:00，3T 组 7:00、11:00、18:00，4T 组 7:00、11:00、15:00、18:00。采用定制的粗蛋白质量分数 ≥ 40.0% 的海水鱼配合饲料。根据鱼体规格调整饲料粒径大小，前期投喂定制海水鱼 1 号配合饲料，后期改喂定制海水鱼 2 号配合饲料。饱食投喂，记录投喂量，每次持续

投喂约 40 min, 而后回收并记录残饵量。

正式实验前, 将实验鱼先暂养适应 1 周。同一投喂频率的两种鱼饲养于同一水泥池的不同网箱内, 网箱尺寸为 1 m×1 m×1.2 m, 3 个网箱并排为一组, 即每个实验组设 3 个重复, 2 种鱼的放养密度均为每个网箱 60 尾。各实验组投喂管理一致, 实验周期 40 d。实验期间观察并记录死亡鱼尾数。

实验期间水质因子采用在线探头监测, 水温 22~29 ℃, pH 7.5~8.2, 盐度 29~30, 氨氮质量浓度 <0.2 mg·L⁻¹。24 h 持续充气, 水中溶解氧质量浓度 >6.0 mg·L⁻¹。每天换水 1 次, 日换水量超过 50%, 自然光照。

1.3 样品采集与指标测定

分别在养殖的第 0 (实验开始)、第 15、第 30 和第 40 天 (实验结束) 从每个网箱中随机取样 6 尾 (N=6) 进行体长、体质量测量。实验结束 (第 40 天时), 实验鱼停止投喂 24 h 后开始采样。采样时, 随机从每个网箱里取 6 尾鱼, 快速解剖, 取胃、肝脏等组织速冻于液氮中, 后转移到 -80 ℃ 冰箱冷冻保存。

1.3.1 生长指标测定

投喂实验结束后, 根据杂交 F₂ 和黑鲟的体长、终末体质量 (Final body mass, FBM), 计算实验鱼的增重率 (Weight gain rate, WGR)、特定生长率 (Special growth rate, SGR) 和肥满度 (Condition fact, CF); 解剖后称取肝脏和内脏质量, 计算肝体指数 (Hepatosomatic index, HSI)、脏体指数 (Viscera somatic index, VSI); 65 ℃ 烘干每次投喂结束后回收的残饵, 称质量以计算摄食量 (Food intake, FI) 与饲料系数 (Feed conversion ratio, FCR), 测定残饵溶失率, 校正摄食量 (称取与投喂量相同质量的饵料, 40 min 后收集, 65 ℃ 干燥, 称量并计算溶失率); 清算每个实验组的存活鱼尾数, 计算成活率 (Survival rate, SR); 以体质量样本标准差和样本平均数之比计算体质量变异系数 (Coefficient of variation, CV)。公式如下:

$$WGR = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$SGR = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\% \quad (2)$$

$$HSI = W_h / W_t \times 100\% \quad (3)$$

$$VSI = W_v / W_t \times 100\% \quad (4)$$

$$CF = W_t / L^3 \times 100\% \quad (5)$$

$$SR = N_t / N_0 \times 100\% \quad (6)$$

$$CV = SD / \bar{X} \times 100\% \quad (7)$$

$$FCR = F / (W_t - W_0) \quad (8)$$

式中: W_t 为实验结束时的体质量 (g); W_0 为实验开始的体质量 (g); t 为实验天数 (d); W_h 为肝脏质量; W_v 为内脏质量; L 为体长 (cm); N_t 为实验结束时鱼尾数 (尾); N_0 为实验开始时鱼尾数 (尾); SD 为体质量样本标准差; \bar{X} 为体质量样本平均数; F 为摄食量 (g)。

1.3.2 生理生化指标测定

取胃、肝脏组织测定消化酶及抗氧化酶活力。胃蛋白酶 (Pepsin)、脂肪酶 (Lipase, LPS)、 α -淀粉酶 (α -Amylase, AMS)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、丙二醛 (MDA)、谷丙转氨酶 (ALT)、谷草转氨酶 (AST) 及碱性磷酸酶 (AKP) 活力均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定, 测定方法参照说明书。

1.4 数据统计与分析

实验数据采用 Excel 2019 和 SPSS 22.0 软件进行分析, 以 “平均值±标准误 ($\bar{X} \pm SE$)” 表示, 差异显著 ($P < 0.05$) 时, 再采用 Duncan's 法进行组间差异的多重比较。

2 结果

2.1 杂交鲟与黑鲟的生长性能和形态指标

实验结束时测得杂交 F₂ 和黑鲟的生长、形态与生理指标 (表 1)。投喂频率从 1T 升至 2T 时, 杂交 F₂ 与黑鲟的 FBW、WGR、SGR、HSI 及 SR 等指标显著升高 ($P < 0.05$); 投喂频率超过 2T, 两种鱼的 FBW、WGR、SGR、SR 无显著差异 ($P > 0.05$), HSI、VSI 显著降低 ($P < 0.05$)。投喂频率对两种鱼的 CF、CV、FI 和 FCR 无显著影响 ($P > 0.05$)。由此可得出, 2T 的饱食投喂频率无论对杂交 F₂ 还是黑鲟均可获得较好的养殖效果。

相同投喂频率下, 杂交 F₂ 在 1T—3T 组的 FBW、WGR、SGR 等指标均显著高于黑鲟 ($P < 0.05$)。杂交 F₂ 在 3T 组中的 CF、VSI 和 1T 组中的 HSI 均显著高于黑鲟 ($P < 0.05$)。杂交 F₂ 的饲料系数也有相对优于黑鲟的表现, 其中 2T 组杂交 F₂ 的 FCR 为 0.83 ± 0.11 , 黑鲟为 1.39 ± 0.47 。杂交 F₂ 的 CV 也优于黑鲟; 相同频率下 2 种实验鱼的 SR、FI 等均无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 杂交鲟与黑鲟消化酶活力变化

投喂频率从 1T 升至 2T 时, 杂交 F₂ 与黑鲟的胃蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶等消化酶活力显著升

表1 不同投喂频率下杂交鲮与黑鲮生长性能和形态指标的变化差异
Table 1 Difference of growth performance and morphological indexes of hybrid porgy of *A. schlegelii* ♀ × *P. major* ♂ and *A. schlegelii* with different feeding frequencies

指标 Index	实验鱼 Experimental fish	组别 Group			
		1T	2T	3T	4T
初始体质量 IBW/g	HF ₂		6.42±0.14		
	AS		6.52±0.23		
终末体质量 FBW/g	HF ₂	26.06±1.34 ^{ba}	41.87±0.22 ^{aA}	39.27±0.71 ^{abA}	32.73±3.23 ^{ab}
	AS	22.98±0.70 ^{bB}	28.99±3.11 ^{aB}	27.68±2.06 ^{abB}	28.43±1.75 ^a
增重率 WGR/%	HF ₂	305.85±20.91 ^{ba}	552.13±11.25 ^{aA}	511.63±11.05 ^{abA}	409.86±20.25 ^{ab}
	AS	252.31±10.79 ^{bB}	344.48±47.69 ^{aB}	324.37±31.66 ^{abB}	335.87±26.80 ^a
特定生长率 SGR/%	HF ₂	3.50±0.13 ^{ba}	4.67±0.32 ^{aA}	4.53±0.04 ^{abA}	4.06±0.24 ^{ab}
	AS	3.15±0.08 ^{bB}	3.72±0.26 ^{aB}	3.61±0.19 ^{abB}	3.68±0.15 ^a
肥满度 CF/%	HF ₂	3.08±0.22	4.08±0.83	3.88±0.42 ^A	3.39±0.52
	AS	3.16±0.17	3.26±0.02	2.92±0.28 ^B	2.92±0.20
肝体比 HSI/%	HF ₂	1.61±0.05 ^{ba}	1.95±0.25 ^a	1.84±0.17 ^b	1.31±0.17 ^c
	AS	1.40±0.08 ^{bcB}	1.65±0.03 ^a	1.54±0.26 ^b	1.33±0.12 ^c
脏体比 VSI/%	HF ₂	7.15±0.46 ^a	5.77±0.80 ^{ab}	5.28±0.14 ^{abA}	5.71±0.91 ^b
	AS	6.95±0.41 ^a	6.73±0.43 ^{ab}	6.15±0.26 ^{abB}	5.86±0.47 ^b
成活率 SR/%	HF ₂	93.33±1.36 ^b	98.89±1.57 ^a	94.44±3.42 ^{ab}	97.22±1.57 ^{ab}
	AS	92.78±3.42 ^b	98.89±0.79 ^a	97.78±1.57 ^{ab}	97.22±2.08 ^{ab}
体质量变异系数 CV/%	HF ₂	6.50±1.08	7.65±3.70	7.48±7.07	15.43±9.88
	AS	7.89±2.86	12.74±4.24	10.88±3.38	15.30±6.81
摄食量 FI/g	HF ₂	25.01±8.52	29.79±7.06	31.92±7.28	31.95±7.22
	AS	24.95±8.14	30.10±7.11	31.80±6.94	31.57±6.85
饲料系数 FCR	HF ₂	1.30±0.50	0.83±0.11	0.97±0.32	1.26±0.51
	AS	1.54±0.56	1.39±0.47	1.46±0.34	1.43±0.38

注: HF₂, 杂交 F₂; AS, 黑鲮; 同行中上标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$); 同列中上标不同大写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: HF₂, Hybrid F₂ of *A. schlegelii* ♀ × *P. major* ♂; AS, *A. schlegelii*; values with different superscript small letters within the same row indicate significant difference ($P<0.05$); while values with different superscript capital letters within the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

高 ($P<0.05$); 投喂频率超过 2T, 2 种鱼的消化酶活力无显著变化 ($P>0.05$)。杂交 F₂ 在 2T—4T 组内的胃蛋白酶和 2T 组内的脂肪酶活力均显著高于黑鲮 ($P<0.05$), 但 2 种鱼的 α -淀粉酶活力无显著差异 ($P>0.05$, 图 1)。

2.3 杂交鲮与黑鲮肝脏抗氧化指标变化

当投喂频率从 1T 升至 3T 时, 杂交 F₂ 的 CAT、T-SOD 活力显著增加 ($P<0.05$), GSH-Px 活力无显著变化 ($P>0.05$); 继续升高投喂频率至 4T 时, 杂交 F₂ 的 GSH-Px、CAT、T-SOD 活力均显著下降 ($P<0.05$); 但杂交 F₂ 的 MDA 活力不受投喂频率的影响。相同的投喂频率下, 两种鱼的 GSH-Px、MDA 活力均无显著差异 ($P>0.05$); 而 4T 组内杂交 F₂ 的 CAT、T-SOD 活力显著高于黑鲮 ($P<0.05$, 图 2)。

2.4 杂交鲮与黑鲮肝功能指标变化

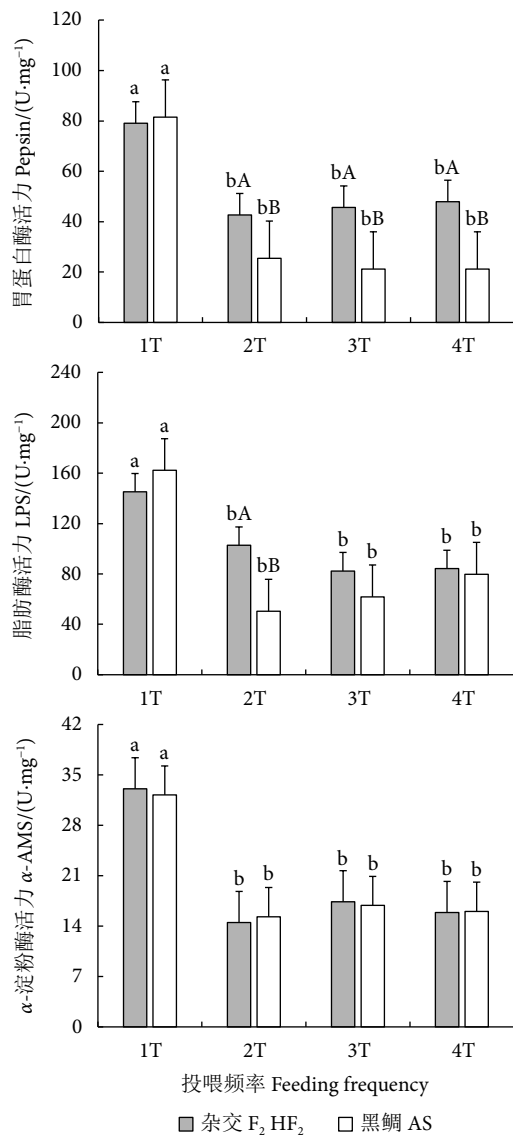
4 种不同投喂频率下, 杂交 F₂ 与黑鲮的 ALT、

AST 和 AKP 等主要肝功能指标均无显著变化 ($P>0.05$)。且在同一投喂频率下, 杂交 F₂ 与黑鲮的肝功能指标也无显著性差异 ($P>0.05$, 图 3)。

3 讨论

3.1 生长与饲养效果分析

投喂与摄食直接关系到鱼类的生长与代谢。WGR 和 SGR 为反映鱼类生长效果的重要指标。本实验中, 杂交 F₂ 与黑鲮的生长性能等主要指标, 在投喂频率从 1T 升至 2T 时显著升高, 在投喂频率大于 2T 时不再升高并趋于稳定, 表明两种鱼 2 次·d⁻¹ 的投喂频率可以得到相对较好的养殖效果。对杂交鲮 (*M. terminalis* ♀ × *Erythroculter ilishaeformis* ♂)^[28]、卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)^[29]、鲮鱼 (*Mugil liza*)^[30] 及许氏平鲉 (*Sebastes schlegelii*) 幼鱼^[31] 的投喂频率研究也得出, 在一定范围内升高



柱形图上方无字母或相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示实验组间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示实验组内种间差异显著 ($P<0.05$), 后图同此。

No letters or the same letters above the column chart indicate no significant difference ($P>0.05$), while different small letters indicate significant difference between the experimental groups ($P<0.05$). Different capital letters indicate significant difference among the species within the experimental groups ($P<0.05$). The same case in the following figures.

图1 不同投喂频率下杂交鲟与黑鲟消化酶活力比较

Fig. 1 Comparison of digestive enzyme activities of hybrid porgy of *A. schlegelii* ♀ × *P. major* ♂ and *A. schlegelii* with different feeding frequencies

投喂频率, 鱼类的生长性能随之增加, 继续升高投喂频率, 其生长性能不再增加并逐渐趋于稳定。然而, 在 90~120 d 内大口黑鲟 (*Micropterus salmoides*) 在 2T 组的 WGR 和 SGR 显著优于其他高投喂频率组^[32]。这可能是因为过高的投喂频率导致喂食间隔变短, 胃肠中的饲料还未排空又摄入了新的食物, 使得胃排空率加快, 肠胃负荷加大, 进而

影响食物中营养的充分吸收。此外, 在本实验 4 个投喂频率组中, 杂交 F₂ 的 FBW、WGR、SGR 均高于黑鲟, 且在 1T—3T 组有显著差异; 同样的饱食投喂 2T, 杂交 F₂ 的 WGR (552.13 ± 11.25) 和 SGR (4.67 ± 0.32) 分别比黑鲟高 60% (344.48 ± 47.69) 和 25% (3.72 ± 0.26) 以上, 表明杂交 F₂ 具有比亲本黑鲟更好的生长优势。

HSI、VSI 可以衡量鱼体的能量状态^[33]。本实验中, 投喂频率超过 2T 时, 杂交 F₂ 与黑鲟的 HSI、VSI 均显著降低, 说明超过一定范围后, 继续升高投喂频率, 鱼体的营养和能量积累并不会随之增大, 甚至还会受到负面影响。对鲤 (*Cyprinus carpio*)^[34]、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)^[35] 的研究也得出了类似结论。但对花羔红点鲑 (*Salvelinus malma*)^[36]、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[32] 和花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 幼鱼^[37] 的研究发现, 升高投喂频率, HSI 或 VSI 也随之增加。这可能与投喂频率升高使得鱼体的能量状态得到改善有关。而升高投喂频率, 瓦氏黄颡鱼 (*P. vachelli*) 幼鱼的 HSI 却无显著变化^[38]。另一方面, 杂交 F₂ 在 1T 组的 HSI、3T 组的 VSI 显著高于黑鲟, 这可能与杂交 F₂ 摄食与生长速度高于黑鲟有关, 因此其肝脏等内脏中积累的脂肪较多, 造成了肝体比、脏体比增大。

本实验中, 投喂频率从 1T 升至 2T 时, 杂交 F₂ 和黑鲟的成活率显著增加; 继续升高投喂频率, 两种实验鱼的成活率无显著变化, 其原因可能是 1T 的投喂频率不能够满足杂交 F₂ 和黑鲟生存和生长所需的食物供给, 饥饿胁迫使得鱼体间抢食、自相残杀的概率加大, 成活率降低。这种现象在养殖实验中也得到了证实。另外, 投喂频率对两种鱼的 CF、CV 和 FCR 均无显著影响。这与杂交鲟 (*Acipenser schrenckii* Brandt ♀ × *A. baeri* Brandt ♂) 的研究结论一致^[39], 却与大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 的结果不同^[40], 这些不同的结果可能受到鱼的食性及养殖环境等的影响。而在相同投喂频率下, 杂交 F₂ 的 FCR 与 CV 相对优于黑鲟, 表明杂交 F₂ 的饲料利用率相对较高, 个体差异相对较小, 具有较好的品种优势潜力。

3.2 消化能力分析

消化酶活力反映了鱼类的消化能力, 投喂频率的改变会引起鱼类消化酶活力的变化^[41-42]。本研究

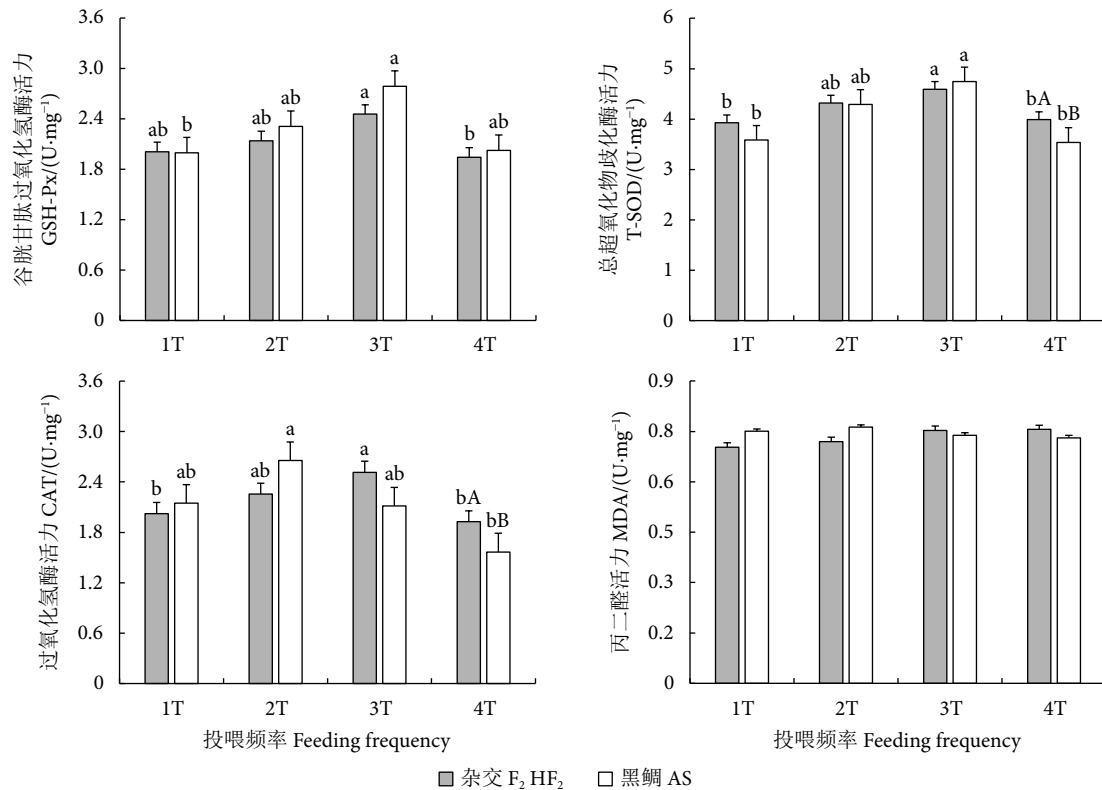


图2 不同投喂频率下杂交鲷与黑鲷肝脏抗氧化指标比较

Fig. 2 Comparison of liver antioxidant indexes of hybrid porgy of *A. schlegelii* ♀ × *P. major* ♂ and *A. schlegelii* with different feeding frequencies

通过分析胃蛋白酶、脂肪酶和 α -淀粉酶等消化酶发现, 低于 2T 的投喂频率显著影响了杂交 F₂ 和黑鲷的消化酶活力, 2 种鱼 1T 组的消化酶活力显著高于其他 3 组, 且这 3 组间无显著差异。结合生长性能的变化趋势, 说明在投喂频率较低、食物较少时, 鱼体会提高其自身消化能力, 达到充分吸收和利用食物的目的, 降低因营养摄入不足所带来的生长差异; 而在投喂频率较高、食物充足时, 其消化酶活力仅维持在正常甚至较低水平便可满足生长和代谢所需^[43]。这与许氏平鲉幼鱼^[31]、黄斑篮子鱼 (*S. oramin*) 幼鱼^[44] 的研究结果相似。因此, 在饱食状态下, 2T 的投喂频率完全可以满足实验鱼的正常生长代谢所需。另外, 与黑鲷相比, 2T 组杂交 F₂ 的胃蛋白酶、脂肪酶活力均有显著高表达, 说明杂交 F₂ 的消化吸收营养能力较强, 且与个体生长速度较快有关。

3.3 肝脏抗氧化能力与肝脏健康

鱼体内产生的活性氧 (Reactive oxygen species, ROS) 未及时清除时, 会使组织和机体产生氧化损伤^[45]。SOD 主要催化超氧阴离子 ($\cdot\text{O}_2^-$) 生成过氧化氢 (H_2O_2), CAT、GSH-Px 主要催化机体内的 H_2O_2

分解成 CO_2 和 H_2O ^[32,46], MDA 为 SOD 过氧化反应的产物^[36]。对于杂交 F₂ 与黑鲷, CAT、T-SOD 和 GSH-Px 活力随着投喂频率的增加呈先升高后降低的趋势, 这表明机体在应激反应后通过自身的调节恢复平衡, 未对机体造成不可逆损伤。这与卵形鲳鲹^[47] 的实验结果相似。不同的是, 在大口黑鲈^[25] 中, 随着投喂频率的升高 CAT 和 T-SOD 活力显著降低; 而在花盖红点鲃^[36]、异育银鲫 (*C. auratus gibelio*)^[42]、大黄鱼^[48] 中, 升高或降低投喂频率, CAT、SOD 和 GSH-Px 活力不发生改变。此外, 结合生长性能分析, 在适宜的范围内升高投喂频率, 抗氧化能力会维持在一个较高且相对稳定的状态, 对生长有促进作用; 超出此范围后, 过低或过高的投喂频率均会使抗氧化能力显著降低, 对生长产生抑制作用^[46,49]。本实验中, 2 种鱼 MDA 活力不受投喂频率的影响。许多研究得出了类似结论^[9-10,32], 但升高投喂频率, 团头鲂 (*M. amblycephala*) MDA 活力显著增加^[50]。在 4T 组, 杂交 F₂ 的 CAT、T-SOD 活力显著高于黑鲷, 说明杂交 F₂ 的抗氧化能力更强。一般认为, 当肝脏病变或受损时, AST 和 ALT 活力升高^[51-52]。本实验中, 增加投喂频率,

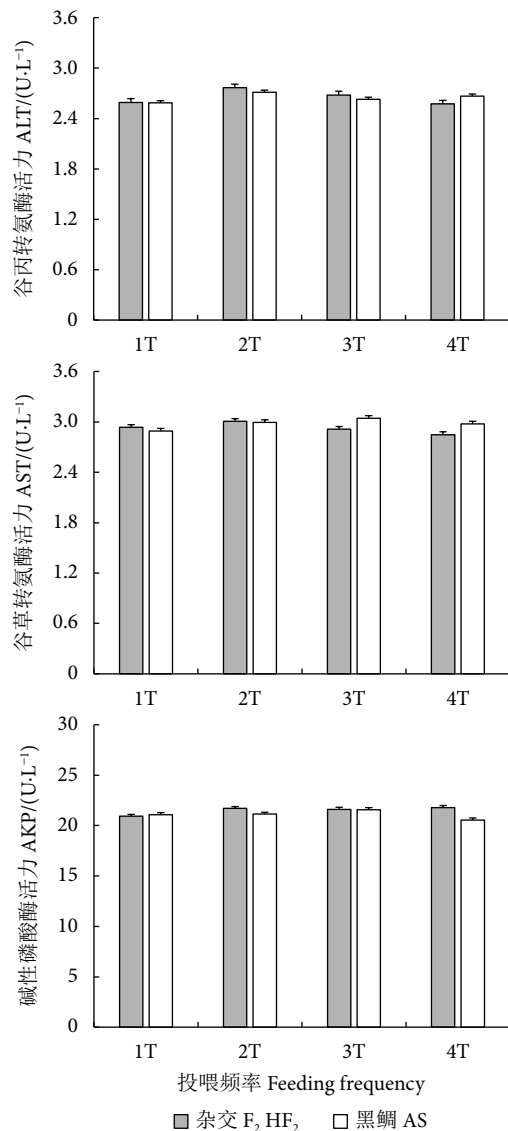


图3 不同投喂频率下杂交鲮与黑鲮肝功能指标比较

Fig. 3 Comparison of liver function indexes of hybrid porgy of *A. schlegelii* ♀×*P. major* ♂ and *A. schlegelii* with different feeding frequencies

杂交 F₂ 和黑鲮的肝脏 ALT、AST 和 AKP 活力无显著变化,表明本实验所设置的投喂频率未对 2 种鱼的肝脏造成严重且不可逆损伤。

4 结论

综上所述,不同投喂频率可显著影响杂交鲮与黑鲮幼鱼的生长性能和生理生化指标;在投喂频率为 2T 时,2 种鱼生长快、饲料利用率高、抗氧化能力强。杂交鲮在所有组别中的生长性能及多个生理生化指标均优于黑鲮。

参考文献:

[1] CHO C Y, BUREAU D P. A review of diet formulation strategies

and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture[J]. *Aquacult Res*, 2001, 32(s1): 349-360.

[2] 俞国燕, 张宏亮, 刘峰春, 等. 水产养殖中鱼类投喂策略研究综述 [J]. *渔业现代化*, 2020, 47(1): 1-6.

[3] OH S Y, KIM M S, KWON J Y, et al. Effects of feed restriction to enhance the profitable farming of blackhead seabream *Acanthopagrus schlegelii schlegelii* in sea cages[J]. *Ocean Sci J*, 2013, 48(3): 263-268.

[4] 李笑天, 刘宝良, 费凡, 等. 投喂策略对水产动物生长生理及行为特征影响研究进展 [J]. *渔业现代化*, 2020, 47(2): 7-15.

[5] SUN G X, LIU Y, QIU D G, et al. Effects of feeding rate and frequency on growth performance, digestion and nutrients balances of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in recirculating aquaculture systems (RAS)[J]. *Aquacult Res*, 2016, 47(1): 176-188.

[6] BISWAS G, THIRUNAVUKKARASU A R, SUNDARAY J K, et al. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackish water environment[J]. *Aquaculture*, 2010, 305(1/2/3/4): 26-31.

[7] LEE S M, PHAM M A. Effects of feeding frequency and feed type on the growth, feed utilization and body composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. *Aquacult Res*, 2010, 41(9): 166-171.

[8] OLIVEIRA R L M D, SANTOS L B G D, SILVA NETO N G D, et al. Feeding rate and feeding frequency affect growth performance of common snook (*Centropomus undecimalis*) juveniles reared in the laboratory[J]. *Rev Bras Zootec*, 2019, 48: 1-9.

[9] 窦艳君, 邢克智, 王庆奎, 等. 投喂频率对点带石斑鱼生长和血浆抗氧化指标的影响 [J]. *渔业现代化*, 2016, 43(2): 1-6.

[10] 刘淑兰, 孙国祥, 李杰, 等. 投喂频率对大西洋鲑生长和生理指标的影响 [J]. *水产科学*, 2019, 38(3): 341-346.

[11] 朱晓芳, 曹潇, 巩建华, 等. 投喂频率对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长及系统水质指标的影响 [J]. *海洋科学*, 2017, 41(8): 32-39.

[12] 丁立云, 饶毅, 陈文静, 等. 投喂频率对彭泽鲫幼鱼生长性能、形体指标和肌肉品质的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(19): 228-231.

[13] NA J, RI F, HE D. Feeding frequency on growth and feed conversion of *Clarias Gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings[J]. *Int J Fish Aquat Stud*, 2015, 3(1): 353-356.

[14] AZRITA A, SYANDRI H, ADNESTASIA L. Effects of feeding frequency on growth performance and feed conversion ratio of gurami sago (*Osphronemus goramy*) fingerlings in a recirculating aquaculture pond system[J]. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*, 2020, 430(1): 012029.

[15] 谢苏明, 徐钢春, 王裕玉, 等. 投喂频率对池塘循环水养殖大口黑鲈消化酶、组织结构及脂代谢酶基因表达的影响 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28(2): 157-166.

[16] GAO X L, KE C H, WU F C, et al. Effects of *Bacillus lincheniformis* feeding frequency on the growth, digestion and immunity of *Halotis discus hannai*[J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2020, 96: 1-12.

- [17] 卫育良, 王建学, 徐后国, 等. 红鳍东方鲀幼鱼适宜投喂频率和投喂水平的研究 [J]. 动物营养学报, 2021, 33(3): 1755-1765.
- [18] 曲焕韬, 陈磊, 廖建新, 等. 投喂策略对厚颌鲂幼鱼的生长、肠道消化酶活性和形态学的影响 [J]. 海南大学学报 (自然科学版), 2021, 39(1): 29-35.
- [19] BUSTI S, BONALDO A, DONDI F, et al. Effects of different feeding frequencies on growth, feed utilisation, digestive enzyme activities and plasma biochemistry of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed with different fishmeal and fish oil dietary levels[J]. Aquaculture, 2020, 529: 735616.
- [20] 潘伟平, 王伊凡, 应李民, 等. 投喂频率对青鱼生长、生理生化指标及摄食相关基因表达水平的影响 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35(4): 83-91.
- [21] FAN X W, LI M, YUAN L X, et al. Effects of feeding frequency on the enzymes and genes involved in oxidative stress in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson) exposed to ammonia[J]. Aquacult Res, 2017, 48(12): 5874-5882.
- [22] 方可菲. 投喂频率对长鳍篮子鱼幼鱼生长性能、生理生化及肝脏指标的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 9-25.
- [23] 田红艳. 光照与投喂策略对团头鲂幼鱼摄食、生长及免疫的影响研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2018: 95-115.
- [24] 曹广勇, 孙瑞健, 高波, 等. 黑鲷和真鲷自交及正反交子代生长性状和肌肉营养成分的分析比较 [J]. 水产科技情报, 2020, 47(2): 61-67, 72.
- [25] 王思婷, 李鹏, 陈淑吟, 等. 黑鲷与真鲷及其杂交子一代脂肪含量测定与脂肪酸成分分析 [J]. 食品科学, 2016, 37(20): 81-85.
- [26] 陈淑吟, 李鹏, 张志勇, 等. 黑鲷♀×真鲷♂反交子代与黑鲷的 CaM 基因克隆与 mRNA 表达分析 [J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1193-1202.
- [27] 陈淑吟, 张志勇, 许津, 等. 黑鲷 (♀)×真鲷 (♂) 杂交子二代仔鱼早期发育及饥饿不可逆点 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 122-128.
- [28] 邱婷婷, 王秀娟, 马恒甲, 等. 投喂频率对杂交鲂生长、饲料利用、消化酶活性及鱼体生化组成的影响 [J]. 湖北农业科学, 2019, 58(8): 105-109.
- [29] WU Y B, HAN H, QIN J G, et al. Effect of feeding frequency on growth, feed utilization, body composition and waste output of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*) reared in net pens[J]. Aquacult Res, 2015, 46(6): 1436-1443.
- [30] SILVA E C D, STERZELECKI F C, MUSIALAK L A, et al. Effect of feeding frequency on growth performance, blood metabolites, proximate composition and digestive enzymes of Lebranche mullet (*Mugil liza*) juveniles[J]. Aquacult Res, 2020, 51(3): 1162-1169.
- [31] 冒树泉, 邹明好, 王春生, 等. 许氏平鲉幼鱼适宜投喂频率的研究 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2379-2385.
- [32] 谢苏明, 王裕玉, 徐钢春, 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.
- [33] 管敏, 张德志, 饶军, 等. 饱食投喂频率对子二代中华鲟稚鱼生长及胃肠排空的影响 [J]. 淡水渔业, 2019, 49(4): 90-97.
- [34] 孙金辉, 范泽, 金东华, 等. 饲料糖水平与投喂频率对鲤生长性能、肠道消化能力及肝功能的影响 [J]. 中国饲料, 2016(11): 29-35.
- [35] 方巍. 黄颡鱼摄食和投喂策略的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 34-42.
- [36] GUO Z X, CUI J Y, LI M, et al. Effect of feeding frequency on growth performance, antioxidant status, immune response and resistance to hypoxia stress challenge on juvenile dolly Varden char *Salvelinus malma*[J]. Aquaculture, 2018, 486: 197-201.
- [37] 王伟, 张凯强, 温海深, 等. 投喂频率对花鲈幼鱼胃排空、生长性能和体组分的影响 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2018, 48(6): 55-62.
- [38] 覃志彪, 赵海祥, 赵华林, 等. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 幼鱼胃排空、生长效益及体组成影响 [J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 506-511.
- [39] LUO L, LI T L, XING W, et al. Effects of feeding rates and feeding frequency on the growth performances of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt♀× *A. baeri* Brandt♂[J]. Aquaculture, 2015, 448: 229-233.
- [40] XIE F J, AI Q H, MAI K S, et al. The optimal feeding frequency of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) larvae[J]. Aquaculture, 2011, 311(12/3/4): 162-167.
- [41] THONGPRAJUKAEW K, KOVITVADHI S, KOVITVADHI U, et al. Effects of feeding frequency on growth performance and digestive enzyme activity of sex-reversed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, (Linnaeus, 1758)[J]. Agric Nat Resour, 2017, 51(4): 292-298.
- [42] 何吉祥, 潘庭双, 蒋阳阳, 等. 饲料糖蛋白质比和投喂率对异育银鲫生长及脂质代谢指标的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 198-206.
- [43] 褚志鹏, 金佳利, 陈细华, 等. 不同投喂率和投喂频率对大杂交鲟幼鱼生长、体成分和生化指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 177-185.
- [44] 杨育凯, 黄小林, 林黑着, 等. 黄斑篮子鱼幼鱼适宜投喂频率的研究 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(4): 1809-1816.
- [45] TAMADONI R, BAHABADI M N, MORSHEDI V, et al. Effect of short-term fasting and re-feeding on growth, digestive enzyme activities and antioxidant defence in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus* (Houttuyn, 1782)[J]. Aquacult Res, 2020, 51(4): 1437-1445.
- [46] DING Z L, KONG Y Q, ZHANG Y X, et al. Effect of feeding frequency on growth, body composition, antioxidant status and mRNA expression of immunodependent genes before or after ammonia-N stress in juvenile oriental river prawn, *Macrobrachium nipponense*[J]. Fish Shellfish Immunol, 2017, 68: 428-434.
- [47] LIU B, GUO H Y, ZHU K C, et al. Effect of feeding frequency on growth performance and immune response on golden pompano *Trachinotus ovatus*[J]. Isr J Aquacult-Bamid, 2020, 72: 1-11.
- [48] 孙瑞健, 张文兵, 徐玮, 等. 饲料蛋白质水平与投喂频率对大黄鱼生长、体组成及蛋白质代谢的影响 [J]. 水生生物学报, 2013,

- 37(2): 281-289.
- [49] 张鹏飞. 绿鳍马面鲀幼鱼投喂策略及对不同原料营养物质表观消化率 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 21-31.
- [50] LI X F, TIAN H Y, ZHANG D D, et al. Feeding frequency affects stress, innate immunity and disease resistance of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*[J]. Fish Shellfish Immunol, 2014, 38(1): 80-87.
- [51] LIN J D, LIN P Y, CHEN L M, et al. Serum glutamic-oxaloacetic transaminase (GOT) and glutamic-pyruvic transaminase (GPT) levels in children and adolescents with intellectual disabilities[J]. Res Dev Disabil, 2010, 31(1): 172-177.
- [52] NIU J, CHEN X, ZHANG Y Q, et al. The effect of different feeding rates on growth, feed efficiency and immunity of juvenile *Penaeus monodon*[J]. Aquacult Int, 2016, 24(1): 101-114.
-

关于《南方水产科学》期刊增加页码的通知

近年来,《南方水产科学》期刊的影响力不断提升,赢得了广大读者、作者的信赖与支持,来稿量逐渐增加,但现有的篇幅已无法满足广大作者的需求,导致稿件积压、出版周期延长。为了缩短发表时滞,提高论文的时效性,更好更快地传播我国南方地区前沿的水产科研成果,积极推进渔业高质量发展,本刊从 2022 年第 1 期起页码由 120 页增加至 160 页,定价不变,期刊的选稿标准不变。特此通知。欢迎广大作者、读者投稿和订阅。

《南方水产科学》编辑部

2021 年 12 月 31 日