

文章编号: 1674-5566(2010)02-0190-06

投喂频率对星斑川鲽幼鱼生长和体组成影响的初步研究

孙丽慧^{1,2}, 王际英², 丁立云^{1,2}, 崔丽娇^{1,2}, 帅继祥^{1,2}, 孙永智², 张利民²

(1 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2 山东省海洋水产研究所, 山东 烟台 264006)

摘要:研究了不同投喂频率 1次/d、2次/d(周日不投)、2次/d和 3次/d对星斑川鲽幼鱼生长、摄食率、饲料利用情况和全鱼及其组织组成的影响。结果表明:随着投喂频率的增加,星斑川鲽幼鱼的增重率、特定生长率和摄食率显著升高,2次/d(周日不投)组增重率和特定生长率显著高于1次/d组($P < 0.05$),但与2次/d和3次/d组无显著性差异($P > 0.05$);2次/d(周日不投)组饲料转化率和蛋白质效率稍高于2次/d和3次/d组,但各组之间差异不显著($P > 0.05$);全鱼水分和粗蛋白含量不受投喂频率的显著影响($P > 0.05$),全鱼粗脂肪含量2次/d(周日不投)组显著低于2次/d组($P < 0.05$),全鱼灰分含量1次/d组显著高于2次/d(周日不投)组和3次/d组($P < 0.05$),其余各组差异不显著($P > 0.05$);肌肉水分含量随投喂频率增加而显著降低($P < 0.05$),肌肉粗蛋白和粗脂肪含量与水分含量呈负相关,肌肉灰分含量1次/d组显著高于2次/d组($P < 0.05$),其余各组无显著性差异($P > 0.05$);肝脏水分和粗脂肪含量各组之间无显著性差异($P > 0.05$),肝脏粗蛋白含量1次/d组显著低于其余各组($P < 0.05$),其余各组之间差异不显著($P > 0.05$)。

关键词:星斑川鲽;投喂频率;生长;体组成

中图分类号: S 936.1 **文献标识码:** A

Effects of feeding frequency on growth and body composition of juvenile *Platichthys stellatus*

SUN Lihui^{1,2}, WANG Jiying², DING Liyun^{1,2}, CUI Lijiao^{1,2},
SHUAI Jixiang^{1,2}, SUN Yongzhi², ZHANG Limin²

(1 College of Fisheries and Life Science Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2 Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province Yantai 264006, China)

Abstract: A study was conducted to assess the effects of different feeding frequency (1, 2, 3 times per day and 2 times per day but Sunday) on growth performance, feed utilization, body and tissue composition of juvenile Starry Flounder (54.52 g). The results showed that weight growth rate, specific growth rate and feeding rate were enhanced significantly by feeding frequency ($P < 0.05$). Weight growth rate and specific growth rate of 2 times per day but Sunday was significantly higher than 1 time per day ($P < 0.05$) but no significant difference with the other groups. Body moisture and protein content were not significantly affected by

收稿日期: 2009-09-08

基金项目: 国家农业部重点行业公益项目 (nyhyzx07-046); 国家科技部农转资金项目 (03EFN213700155); 山东省水生动物营养与饲料泰山学者岗位经费 (TS200651036)

作者简介: 孙丽慧 (1984-), 女, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料。E-mail: mliduo1984422@126.com

通讯作者: 张利民, E-mail: ytzhi@139.com

feeding frequency ($P > 0.05$). Lipid content of whole body under 2 times per day but Sunday was significantly lower than 2 times per day ($P < 0.05$). Muscle moisture content was decreased significantly by feeding frequency ($P < 0.05$). Muscle protein and lipid content has negative correlation with moisture content

Key words: *Platichthys stellatus*; feeding frequency; growth; composition

星斑川鲷 (*Platichthys stellatus*), 隶属鲷形目 (Pleuronctiformes)、鲷科 (Pleuronectidae)、星鲷属, 性情温驯、适应温度较广, 快速生长水温 12~24℃, 适于我国大部分地区集约化养殖, 是继牙鲆、大菱鲆之后被认为最有希望的养殖鱼类之一。星斑川鲷营养价值高, 口感独特。可与鲑鳟鱼类媲美。加之其耐运输、耐冷冻, 冷藏后肉质基本不变, 在国内外市场尤其欧洲深受欢迎。目前, 国内外有关星斑川鲷营养学方面的研究已有部分报道^[1-4], 但有关其投喂频率方面的研究尚鲜有报道。适宜的投喂频率可以提高鱼类的生长速度和存活率, 提高终产量^[5]; 不合理的投喂频率不仅会导致鱼体参差不齐^[6]; 还会造成饲料浪费, 增加成本, 从而污染养殖环境^[7]。因此, 确定适宜的投喂频率是提高星斑川鲷养殖的经济和生态效益的重要因素之一。本实验旨在通过研究不同投喂频率对星斑川鲷的生长、饲料转化率、摄食率和鱼体组成的影响, 确定最佳日投喂频率, 进而为星斑川鲷养殖生产中饲料的合理投喂提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料配方

试验所用饲料为同一批制作的颗粒饲料, 所有原料分析营养成分后 (表 1), 粉碎过 80 目筛, 按配比称量后加适量水混合均匀, 经螺旋挤压机加工成直径为 4.5 mm 的颗粒膨化饲料, 70℃ 烘干, 置于通风干燥处保存、使用。

1.2 试验鱼来源、饲养条件及试验设计

试验于 2009 年 4 月—6 月在山东省海洋水产研究所水循环系统进行。试验用鱼购自荣成港西水产养殖场, 选用相同种质来源, 大小均匀, 健康的星斑川鲷初始体重为 (54.52±0.23) g 随机分为 1 次/d、2 次/d (周日不投)、2 次/d 和 3 次/d 4 个投喂频率组, 每组设 3 个重复, 每个重复放养 20 尾鱼, 分别放于 70 cm×80 cm 的绿色圆柱形养殖桶中, 控制水深 40 cm 左右, 试验周期为 8

周。正式试验前星斑川鲷在养殖系统中进行 2 周的驯养, 期间投喂粗蛋白含量 50% 左右的商品饲料。养殖过程控制水温在 (19.0±1.0)℃, pH 值为 7.8~8.6 盐度为 28~30 保证溶氧 >5 mg/L, 氨氮、亚硝酸氮均 <0.1 mg/L。饱食投喂, 投喂 30 min 后, 从系统自带的排水口将残饵排出, 数颗粒, 计算残饵量。各组投喂频率及投喂时间如表 2。

表 1 试验饲料配比及营养组成

Tab. 1 Formulation and nutrient compositions of the experimental diets

原料 (g/100 g)	含量 (%)
鱼粉	48
大豆浓缩蛋白	8
花生粕	6
血球蛋白粉	2
乌贼内脏粉	3
鱼油	4
大豆油	4
海藻粉	2
面粉	8
α-淀粉	5.8
淀粉	5
复合矿物质 ¹	2
复合维生素 ²	1
蛋氨酸	0.14
胆碱	0.5
黏合剂	0.5
抗氧化剂	0.06
合计	100
化学组成 (%干物质)	
粗蛋白	53.18
粗脂肪	14.99
灰分	13.53
磷	1.86
钙	2.73
能量 (MJ/kg干物质)	19.17

注: 1. 复合矿物质 (mg/g 饲料), MgSO₄·7H₂O, 3 568.0 mg; NaH₂PO₄·2H₂O, 25 568.0 mg; KCl, 3 020.5 mg; KAl(SO₄)₂, 8.3 mg; CoCl₂, 28.0 mg; ZnSO₄·7H₂O, 353.0 mg; Ca-lactate, 15 968.0 mg; CuSO₄·5H₂O, 9.0 mg; KI, 7.0 mg; MnSO₄·4H₂O, 63.1 mg; Na₂SeO₃, 1.5 mg; C₆H₅O₇F₃·5H₂O, 1 533.0 mg; NaCl, 100.0 mg; NaF, 4.0 mg

2. 复合维生素 (mg/g 饲料), 维生素 A, 38.0 mg; 维生素 D₃, 13.2 mg; α-生育酚, 210.0 mg; 硫胺素, 115.0 mg; 核黄素, 380.0 mg; 盐酸吡哆醇, 88.0 mg; 泛酸, 368.0 mg; 烟酸, 1 030.0 mg; 生物素, 10.0 mg; 叶酸, 20.0 mg; 维生素 B₁₂, 1.3 mg; 肌醇, 4 000.0 mg; 抗坏血酸, 500.0 mg

表 2 投喂频率及投喂时间

Tab. 2 Feeding frequency and feeding time

投喂频率	投喂时间		
(F1) 1次/d	17:00		
(F2 ⁻) 2次/d(周日不投)	08:00	17:00	
(F2) 2次/d	08:00	17:00	
(F3) 3次/d	08:00	12:30	17:00

1.3 指标测定与数据统计分析

试验开始前取 10 尾鱼用于常规营养成分分析。养殖试验结束后, 停喂 24 h 分别测各组鱼的湿体重, 并从各组随机取 6 尾, 用作鱼体营养成分分析。将所取得的鱼体样品在 105 °C 下烘至恒重, 得水分含量; 采用 FOSS 定氮仪 (Kjeltec™ 2100) 测定样品中的粗蛋白含量; 采用索氏提取法测定粗脂肪含量; 采用马福炉 550 °C 灼烧法测定灰分含量。

鱼体在实验过程中的各项指标分别用以下公式计算:

$$R_{WG} = 100 \times (\bar{w}_t - \bar{w}_0) / \bar{w}_0 \quad (1)$$

$$R_{SG} = 100 \times (\ln w_t - \ln w_0) / t \quad (2)$$

$$R_F = 100 \times w_f / [t \times (w_t + w_0) / 2] \quad (3)$$

$$R_{PE} = 100 \times (w_t - w_0) / w_p \quad (4)$$

$$E_{FC} = 100 \times (w_t - w_0) / w_f \quad (5)$$

$$I_S = 100 \times w_v / w \quad (6)$$

$$I_{IS} = 100 \times w_h / w \quad (7)$$

$$I_{DT} = 100 \times w_d / w \quad (8)$$

$$F_C = 100 \times w / L^3 \quad (9)$$

式中: R_{WG} 为增重率 (%); \bar{w}_0 为初均重 (g); \bar{w}_t 为终均重 (g); R_{SG} 为特定生长率 (%/d); t 为饲养天数; R_F 为摄食率 (%/d); w_f 为饲料摄入量 (g); w_0 为初总重 (g); w_t 为终总重 (g); R_{PE} 为蛋白质效率 (%); w_p 为蛋白质摄取量; E_{FC} 为饲料转化率 (%); I_S 为肝体比 (%); w_v 为肝脏重 (g); w 为鱼体重 (g); I_{IS} 为脏体比 (%); w_h 为内脏重 (g); I_{DT} 为消化道指数 (%); w_d 为消化道重 (g); F_C 为肥满度 (%); L 为鱼体长 (cm)。

所有数据用 SPSS 16.0 统计软件分析。同一养殖桶实验数据 (平均值) 作为一个样本值, 各实验组相应数据经方差分析 (one way ANOVA), 若差异显著再做 Duncan's 多重比较检验组间的差异。

2 结果

2.1 星斑川鲷幼鱼生长、饲料利用情况

实验 8 周后, 星斑川鲷幼鱼生长和饲料利用情况如表 3。表 3 结果说明, F2⁻ 组 (2 次/d 周日不投)、F2 组 (2 次/d) 和 F3 组 (3 次/d) 的星斑川鲷幼鱼末均重、增重率和特定生长率均显著高于 F1 组 (1 次/d) ($P < 0.05$), F2⁻ 组、F2 组和 F3 组之间无显著性差异 ($P > 0.05$); F2⁻ 组的摄食率显著高于 F1 组 ($P < 0.05$), 显著低于 F3 组 ($P < 0.05$), 与 F2 组之间差异不显著 ($P > 0.05$); F2⁻ 组的饲料转化率和蛋白质效率稍高于 F2 组和 F3 组, 但各组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 随着投喂频率的增加, 各处理组肝体比显著降低 ($P > 0.05$), F1 组显著大于 F2⁻ 组、F2 组和 F3 组 ($P < 0.05$), 其余各组之间差异不显著 ($P > 0.05$); F1 组的脏体比显著高于 F2⁻ 组和 F2 组 ($P < 0.05$), 其余各组无显著性差异 ($P > 0.05$); F2⁻ 组的消化道指数显著低于其他 3 组 ($P < 0.05$), 其他 3 组差异不显著 ($P > 0.05$); F2⁻ 组的肥满度显著高于 F1 组 ($P < 0.05$), 其余各组差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 星斑川鲷幼鱼全鱼及其组织组成

2.2.1 星斑川鲷幼鱼全鱼组成

星斑川鲷幼鱼全鱼组成如图 1, 图中不同字母标记的表示差异显著 ($P < 0.05$), 以下同。结果显示, 全鱼水分含量各组之间差异不显著 ($P > 0.05$), 但随着投喂频率的增加, 有降低的趋势; 全鱼粗蛋白含量 F2⁻ 组稍高于其他各组, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 全鱼粗脂肪含量 F1 组和 F2⁻ 组显著低于 F2 组 ($P < 0.05$), 其余各组差异不显著 ($P > 0.05$); 全鱼灰分含量 F1 组显著高于 F2⁻ 组和 F3 组 ($P < 0.05$), 其余各组差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2.2 星斑川鲷幼鱼肌肉组成

星斑川鲷幼鱼肌肉组成如图 2。结果显示, 肌肉水分含量 F2⁻ 组显著高于 F2 组和 F3 组 ($P < 0.05$), 但与 F1 组无显著性差异 ($P > 0.05$), 肌肉粗蛋白含量 F2⁻ 组显著高于 F1 组 ($P < 0.05$), 显著低于 F3 组 ($P < 0.05$), 与 F2 组之间无显著性差异 ($P > 0.05$); 肌肉粗脂肪含量与水分含量呈负相关; 肌肉灰分含量 F1 组显著低于 F2 组

($P < 0.05$), 其余各组无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 3 星斑川鲮幼鱼生长和饲料利用情况

Tab 3 Growth performance and feed utilization of Starry Funder

指标	投喂频率			
	F1	F2 ⁻	F2	F3
初均重 (g)	54.52±0.06	54.58±0.03	54.60±0.13	54.47±0.22
末均重 (g)	96.15±4.45 ^a	103.57±2.86 ^b	106.75±1.98 ^b	107.03±2.94 ^b
增重率 (%)	76.42±7.95 ^a	89.77±5.30 ^b	95.43±4.26 ^b	96.25±5.61 ^b
特定增长率 (%/d)	0.95±0.08 ^a	1.07±0.05 ^b	1.12±0.04 ^b	1.13±0.05 ^b
摄食率 (%/d)	0.90±0.03 ^a	1.03±0.01 ^b	1.07±0.04 ^{bc}	1.09±0.01 ^c
蛋白质效率 (%)	202.49±10.77	201.57±8.07	199.74±0.17	201.20±6.86
饲料转化率 (%)	107.68±5.73	107.20±4.29	106.22±0.09	107.00±3.65
肝体比 (%)	1.97±0.20 ^b	1.73±0.13 ^a	1.79±0.16 ^a	1.66±0.12 ^a
脏体比 (%)	4.85±0.23 ^b	4.45±0.25 ^a	4.52±0.28 ^a	4.59±0.32 ^{ab}
消化道指数 (%)	2.47±0.14 ^b	2.17±0.14 ^a	2.37±0.23 ^b	2.41±0.15 ^b
肥满度 (%)	2.88±0.19 ^a	3.02±0.17 ^b	2.97±0.20 ^{ab}	2.95±0.17 ^{ab}

注:表中数据以平均值±标准差表示,同行数值后不同上标英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

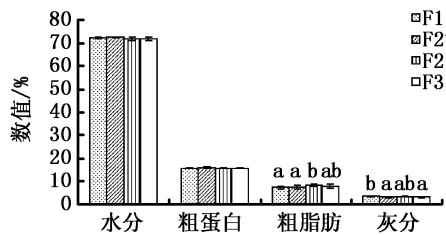


图 1 星斑川鲮幼鱼全鱼组成

Fig 1 Whole fish composition of fish fed experimental diets

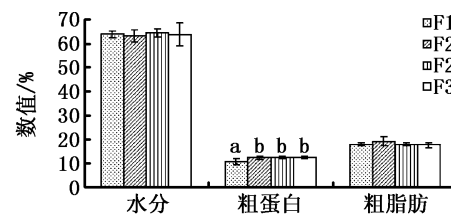


图 3 星斑川鲮幼鱼肝脏组成

Fig 3 Liver composition of fish fed experimental diets

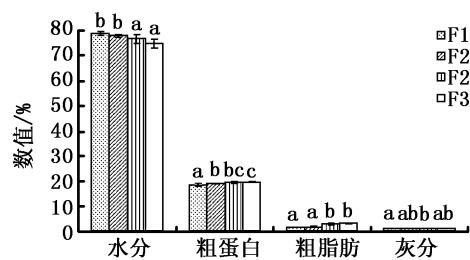


图 2 星斑川鲮幼鱼肌肉组成

Fig 2 Muscle composition of fish fed experimental diets

2.2.3 星斑川鲮幼鱼肝脏组成

星斑川鲮幼鱼肝脏组成如图 3, 结果表明, 投喂频率的改变对试验鱼肝脏中水分和粗脂肪含量均无显著影响 ($P > 0.05$)。肝脏粗蛋白含量 F1 组显著低于其余各组 ($P < 0.05$), 其余各组差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 投喂频率对星斑川鲮幼鱼生长、摄食率和饲料利用情况的影响

在本实验中, 随着投喂频率的改变, 星斑川鲮幼鱼摄食率显著升高, 饲料转化率和蛋白质效率各组之间差异不显著。这与斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)^[8]、杂交太阳鱼 (*Lepomis cyanellus* × *L. macrochirus*)^[9] 和南方鲇 (*Silurus meridionalis*)^[10] 的研究结果相似。其原因可能是随着投喂频率的提高, 投喂的饲料总量增加, 虽然每次的摄食量有所减少, 但累积饲料消耗总量增加, 当摄食量达到饱食以后, 摄食率会保持在相对较高的水平而不再有显著提高^[11]。有关美洲拟鲮 (*Pseudopleuronectes americanus*)^[12]、虹鳟 (*Salmo gairdneri* 和 *Oncorhynchus*

mykiss)^[13-14]、印度囊鳃鲶 (*Heteropneustes fossilis*)^[15]、鲤鱼 (*Cyprinus carpio*)^[16]和生鱼 (*Channa striatus*)^[17]的研究表明,伴随着投喂频率增加而出现的体重增加是饲料消耗量增加所致。而对虹鳟^[18]和镜鲤 (*Cyprinus carpio* L.)^[19]的研究结果显示,生长率随投喂频率增加而升高可能是由于饲料转化率上升所致,与摄食率无关,这种差异可能是研究对象不同造成的。当投喂频率从 2次/d(周日不投)增加到 3次/d时,各组增重率差异不显著,这与龙虾 (*Jasus edwardsii*和 *Panulirus cygnus*)^[20-21]和瓦氏黄颡鱼幼鱼 (*Pelteobagnus vachelli*)^[22]的研究结果相似。究其原因,可能是由于投喂频率过高,使得星斑川鲈在摄食的时候体内还留存没有消化完全的食物,这样必然导致饲料的浪费,而星斑川鲈用于摄食的能量增加,导致用于生长的能量相对减少,从而影响其生长。另一原因可能是星斑川鲈为有胃鱼,摄取的饲料进入肠内消化的时间较无胃鱼长,消化吸收率易受高频率投喂的影响。

3.2 投喂频率对星斑川鲈幼鱼全鱼及其组织组成的影响

本试验结果表明,随着投喂频率的增加,全鱼粗蛋白含量先是略有升高,而后缓慢降低,但各组之间差异不显著,这与楼宝等^[23]对黑鲷鱼种 (*Sparus macrocephalus*)的研究结果相似。本试验中,全鱼粗脂肪含量随投喂频率增加而增加,这一研究结果与草鱼鱼种 (*Ctenopharyngodon idellus*)^[24]、日本黄姑鱼 (*Nibea japonica*)^[25]、鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*)^[26]和黑鲷鱼种^[23]的研究结果一致。随着投喂频率增加,星斑川鲈幼鱼背肌粗脂肪含量显著升高,有关许氏平鲈 (*Sebastes schlegeli*)^[7, 27]、虹鳟^[13]和赤点石斑鱼 (*Epinephelus akaara*)^[28]的研究也有类似报道。本试验中随投喂频率增加星斑川鲈背肌和肝脏粗蛋白含量显著升高。而 Lee^[7]的研究结果表明,当投喂频率增加时,许氏平鲈肌肉粗蛋白含量无显著性差异,肝脏粗蛋白含量显著降低,造成这种差异的原因可能是 Lee采用的试验动物规格为均重 5.7 g的许氏平鲈,养殖水温为 (24.0±1.5) °C,而本试验采用的试验动物规格为均重 54.52 g的星斑川鲈,养殖水温为 (19.0±1.0) °C。随投喂频率增加,星斑川鲈幼鱼背肌粗脂肪含量显著升高,这与 Lee^[7]的研究结果相似。郑曙明等^[29]报道,

鱼类饥饿时,所动用的能源因鱼种类不同而有所差异,从鱼类的体组成可分析出身体储能物质的变化,如草鱼鱼种^[30]饥饿时主要利用糖类作为能源物质,而虎鲨 (*Panaceas polyuranodon*)^[29]、美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*)^[31]、和大西洋鳕 (*Esox lucius* L.)^[32]饥饿时主要利用脂类作为能源物质。本实验中,与 2次/d投喂组相比,2次/d(周日不投)试验组全鱼和肌肉的粗脂肪含量显著降低,由此分析可知,周日不投时星斑川鲈主要依靠消耗体内脂肪维持其基本生理需要。

3.3 关于星斑川鲈幼鱼适宜投喂频率

鱼类的最适投喂频率因种类、规格、食性的不同而存在差异。Biswas等^[33]对印度野鲮 (*Cirrhinus mrigala*)和南亚野鲮 (*Labeo rohita*)的研究发现,1次/d即可满足其生长需求。Silva等^[34]发现当日投喂量为体重 10%时,3次/d为巨脂鲤 (*Colossoma macropomum*)的最适投喂频率。楼宝等^[24, 27]发现黑鲷鱼种和鲈鱼的适宜投喂频率均为 2次/d。在本次试验中,当投喂频率为 2次/d(周日不投)时,其增重率和特定生长率均显著高于 1次/d组,但当继续增加投喂频率到 2次/d和 3次/d时,其增重率和特定生长率并没有显著提高,饲料转化率和蛋白质效率略有降低,但差异不显著。另外从节省劳动力和饲料成本等方面考虑,可以得出,在本试验条件下,星斑川鲈幼鱼的适宜投喂频率为 2次/d(周日不投)。

参考文献:

- [1] Lee S M, Lee J H. Effect of dietary glucose dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*[J]. *Fish Sci* 2004, 70: 53-58.
- [2] Lee S M, Lee J H, Kim K D, et al. Optimum Dietary Protein for Growth of Juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*[J]. *Journal of The World Aquaculture Society* 2006, 37(2): 200-203.
- [3] Lee S M, Lee J H, Kim K D. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*[J]. *Aquaculture* 2003, 225: 269-281.
- [4] 段培昌,张利民,王际英,等.新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲈幼鱼生长、体成分和血液学指标的影响[J]. *水产学报*, 2009, 33(5): 709-806.
- [5] Kubitza F, Lovshin L L. Formulated diets, feeding strategies and cannibalism control during intensive culture of juvenile carnivorous fishes[J]. *Reviews in Fisheries Science* 1999, 7(1): 1-22.

- [6] Jobling M. Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. [J]. *J Fish Biol* 1983, 3(2): 177—185.
- [7] Lee SM, Hwang U G, Cho SH. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii* [J]. *Aquaculture* 2000, 187: 399—409.
- [8] Andrew JW, Page JW. The effects of frequency of feeding on culture of catfish [J]. *Trans Am Fish Soc* 1975, 104: 317—321.
- [9] Wang N, Hayward R S, Noltie D B. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish [J]. *Aquaculture* 1998, (165): 261—267.
- [10] 何利君, 谢小军, 艾庆辉. 饲喂频率对南方鲷的摄食率、生长和饲料转化率的影响 [J]. *水生生物学报*, 2003, 27(4): 434—436.
- [11] Tsevis N, Kloudatos S, Conides A. Food conversion budget in sea bass *Dicentrarchus labrax* fingerlings under two different feeding frequency patterns [J]. *Aquaculture* 1992, 101: 293—304.
- [12] Tyler A V, Dunn R S. Ration, growth and measures of somatic and organ condition in relation to meal frequency in winter flounder *Pseudopleuronectes americanus* with hypotheses regarding population homeostasis [J]. *J Fish Res Bd Can* 1976, 33: 63—75.
- [13] Grayton B D, Beamish F W H. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Aquaculture* 1977, 11: 159—172.
- [14] Ruohonen K, Vielma J, Grove D J. Effects of feeding frequency on growth and food utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-fat herring or dry pellets [J]. *Aquaculture* 1998, 165: 111—121.
- [15] Marian M B, Ponniah A G, Pitchaimaj R, et al. Effect of feeding frequency on surfacing activity and growth in the air-breathing fish *Heteropneustes fossilis* [J]. *Aquaculture* 1982, 26: 237—244.
- [16] Charles P M, Sebastian S M, Raj M C V, et al. Effect of feeding frequency on growth and food conversion of *Cyprinus carpio* fry [J]. *Aquaculture* 1984, 40: 293—300.
- [17] Sanpath K. Preliminary report on the effects of feeding frequency in *Channa striatus* [J]. *Aquaculture* 1984, 40: 301—306.
- [18] Windell J T, Foltz J W, Sarokon J A. Effect of fish size, temperature and digestibility of a pelleted diets by rainbow trout *Salmo gairdneri* [J]. *Trans Am Fish Soc* 1978, (107): 613—616.
- [19] Omar E A, Gunther K D. Studies on feeding of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) in intensive aquaculture [J]. *J Anim Physiol Anim Nutri* 1987, (57): 168—172.
- [20] Thomas C W, Carter C G, Crear B J. Feeding availability and its relationship to survival, growth, dominance and the agonistic behaviour of the southern rock lobster *Jasus edwardsii* [J]. *Aquaculture* 2003, 215: 45—65.
- [21] Danielle J, Roy M S, Blair H, et al. Growth rates and survival of western rock lobster (*Panulirus cygnus*) at two temperatures (ambient and 23 °C) and two feeding frequencies [J]. *Aquaculture* 2008, 279: 77—84.
- [22] 王武, 周锡勋, 马旭洲, 等. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长及蛋白酶活力的影响 [J]. *上海水产大学学报*, 2007, 16(3): 224—229.
- [23] 楼宝, 毛国民, 骆季安, 等. 饲喂频率对黑鲷生长及体生化成分的影响 [J]. *海洋水产研究*, 2006, 27(6): 19—24.
- [24] 潘庆, 刘胜, 梁桂英. 投喂频率对草鱼鱼种的生长、鱼体和组织营养成分组成的影响 [J]. *上海水产大学学报*, 1998, 7(增刊): 186—190.
- [25] 骆季安, 楼宝, 史会来, 等. 饲喂频率对日本黄姑鱼生长及鱼体生化成分的影响 [J]. *浙江海洋学报: 自然科学版*, 2007, 26(1): 37—40.
- [26] 楼宝, 史会来, 毛国民, 等. 饲喂频率对鲈鱼生长及体生化成分的影响 [J]. *宁波大学学报: 理工版*, 2007, 20(4): 455—458.
- [27] Lee SM, Kim SH, Jeon IG, et al. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. *Aquaculture* 1996, 9: 385—394.
- [28] Kayano Y, Yao S, Yamamoto S, et al. Effects of feeding frequency on the growth and body constituents of young red-spotted grouper *Epinephelus akaara* [J]. *Aquaculture* 1993, 110: 271—278.
- [29] 郑曙明, 王燕妮, 聂迎霞, 等. 虎鲨饥饿后的补偿生长及淀粉酶活性研究 [J]. *华中农业大学学报*, 2003, 22(5): 483—487.
- [30] 沈文英, 林浩然, 张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响 [J]. *动物学报*, 1999, 45(4): 404—412.
- [31] 姜志强, 贾泽梅, 韩延波. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制 [J]. *水产学报*, 2002, 26(1): 67—72.
- [32] Bernard W I, Alan T. The effects of starvation and force-feeding on the metabolism of the Northern pike *Esox lucius* L. [J]. *J Fish Biol* 1976, 8: 79—88.
- [33] Biswas G, Jena J K, Singh S K, et al. Effect of feeding frequency on growth, survival and feed utilization in mirror *Cirrhinus mrigala* and rohu *Labeo rohita* during nursery rearing [J]. *Aquaculture* 2006, 254: 211—218.
- [34] Silva C R, Gomes L C, Brandão F R. Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages [J]. *Aquaculture* 2007, 264: 135—139.