摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼生长及生化成分的影响*

李滑滑 吴立新** 姜志强 阿 荣 陈 炜 李洪宇 董益益
(大连海洋大学辽宁省水生生物学重点实验室, 辽宁大连 116023)

摘 要 以大菱鲆幼鱼(7.56±0.03 g)为试验对象,在水温17~19 ℃下,设计了4个摄食水平梯度(1.0%、1.5%、2.0%和饱食)和3个投喂频率梯度(1、2和3次·d^{-1}),探讨了不同摄食水平和投喂频率对其生长及生化成分的影响。结果表明:随着摄食水平的升高,大菱鲆幼鱼的终末体重、相对增重率和摄食率显著升高($P<0.05$);特定生长率随摄食水平的增加呈线性升高;湿重、干重、蛋白质和能量转化效率出现先升高后降低的趋势;摄食水平对鱼体的体成分和组间表观消化率无显著影响($P>0.05$);不同投喂频率下,终末体重、相对增重率、特定生长率及转化效率呈先升高再降低的趋势,在2次·d^{-1}时取得最大值;投喂频率对鱼体的体成分和组间表观消化率无显著影响($P>0.05$)。

关键词 摄食水平; 投喂频率; 大菱鲆幼鱼; 生长; 生化成分
中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)7-1844-06

Effects of ration level and feeding frequency on the growth and biochemical components of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*).

LI Hua-hua, WU Li-xin**, JIANG Zhi-qiang, A Rong, CHEN Wei, LI Hong-yu, DONG Yi-yi (*Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Province, Dalian Ocean University, Dalian* 116023, *Liaoning, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(7): 1844-1849.

Abstract: Taking juvenile *Scophthalmus maximus* (initial wet weight 7.56±0.03 g) as test object, an experiment was conducted on its growth and biochemical components under effects of different ration level (1.0%, 1.5%, 2.0%, and satiation) and feeding frequency (once a day, twice a day, and three times a day) at 17-19 ℃. With increasing ration level, the juvenile final weight, relative rate of body weight gain, and feeding rate all increased significantly ($P<0.05$). The specific growth rate had a linear increase with ration level; the feed conversion efficiency in wet weight, dry matter, protein, and energy decreased after an initial increase with increasing ration level; whereas the juvenile biochemical components and the apparent digestibility among groups were less affected by ration level ($P>0.05$). With increasing feeding frequency, the juvenile final weight, relative rate of body weight gain, specific growth rate, and feed conversion efficiency decreased after an initial increase, with the maximum at the feeding frequency of twice a day. No significant differences were observed in the apparent digestibility and biochemical composition among different feeding frequencies ($P>0.05$).

Key words: ration level; feeding frequency; juvenile *Scophthalmus maximus*; growth; biochemical composition.

投喂模式由投饲率(或摄食水平)、投喂频率和投饲方式等主要环节构成,是集约化鱼类养殖管理的核心内容之一。投喂模式的优化是获取最优生长速率、最小饲料浪费和最低水质污染的有效途径(王华等,2008)。摄食水平和投喂频率是投喂模式中的重要因素,与鱼类的生长和饲料利用密切相关(Wang *et al.*, 2007)。目前,关于鱼类摄食水平和投喂频率的研究已有较多报道,但对鲆鲽类的研究

*辽宁省科技厅重大项目(2011203005)、国家海洋局公益性行业科研专项(012418025)和国家科技部农业科技成果转化项目(2011GB2B000017)资助。
**通讯作者 E-mail: wulixin@dlou.edu.cn
收稿日期: 2012-12-12 接受日期: 2013-04-02

相对较少,其中线薇薇和朱鑫华(2000)、陈晶等(2012)研究了摄食水平对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)生长和能量收支的影响;Ham 等(2003)研究发现,大菱鲆幼鱼(69.0±16.5 g)的生长随摄食水平的增大而加快,并进一步查明,相同摄食水平下温度(16 ℃和 18 ℃)对鱼体生长没有显著影响;郑珂珂等(2010)研究了大菱鲆幼鱼(26.04±0.97 g)的摄食节律及适宜投喂时间,结果为每隔 18 h 出现一次摄食高峰,且于每天 15:00—18:00 投喂可显著提高其生长和饲料效率。本研究以大菱鲆幼鱼(7.56±0.03 g)为试验对象,研究了摄食水平和投喂频率对其生长及生化成分的影响,所得资料可进一步丰富大菱鲆摄食生态学方面的研究内容并为其规模化养殖中投喂模式的优化提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼来源与驯化

大菱鲆幼鱼购自大连天正实业有限公司,鱼体健壮无伤病。试验前驯养一周,驯养期间每日投喂鲆鲽鱼类专用配合饲料 2 次(7:30,17:30),每次达饱食。试验期间所用配合饲料(常熟泉兴营养添加剂有限公司生产)的主要营养成分为水分 6.60%、粗蛋白质 52.85%、粗脂肪 11.76%、灰分 12.49%,能量含量 20.89(kJ·g^{-1})。

1.2 试验设计

选择体重相近的健康个体(平均体重为 7.56±0.03 g),采用完全随机分组试验,共 6 个处理,每个处理 3 个重复,每个重复放养 13 尾鱼。设 4 个摄食水平组和 3 个投喂频率组,其中饱食组(FLS)与 2 次·d^{-1}组(FF2)为同一对照组。摄食水平组分为 1.0%(FL1.0)、1.5%(FL1.5)、2.0%(FL2)和饱食(FLS)(百分比为每日投喂量占初始试验鱼湿重的质量百分比),每天两次(7:30,17:30)投喂。投喂频率组分为 1 次·d^{-1}(FF1,投喂时间 7:30)、2 次·d^{-1}(FF2,投喂时间 7:30,17:30)和 3 次·2d^{-1}(FF3,投喂时间 7:30,12:30,17:30),每次饱食投喂。试验共 40 d,试验期内每隔 10 d 测量一次各组鱼的体重,相应调整其投喂量。试验前随机取 9 尾鱼留作初始鱼体成分的分析。试验结束时,每组随机取样 3 尾留样分析。

1.3 养殖系统及日常管理

试验包括 18 个实际体积为 90 L(57 cm×45 cm×35 cm)的水槽。日投饵两次(7:30 和 17:30),每次投饵前收集粪便,投喂后 30 min 收集残饵,均烘干称重留样备测。在空白水槽中测定饵料溶失率以校正摄食量。海水经砂滤后使用,日换水一次,换水量为 1/3。试验期间水温 17 ~ 19 ℃,溶氧>6.0 mg·L^{-1},盐度 31 ~ 33,pH 值 8.0 ~ 8.1,铵氮<0.1 mg·L^{-1},光周期为 14 L∶10 D。

1.4 样品分析测定

测样前,将样品置于-20 ℃的冰箱中保存。测样时,鱼样、残饵和粪便均在 70 ℃下烘至恒重测定水分含量;然后研磨成细粉,采用凯氏定氮法(总氮×6.25)测定粗蛋白质含量;索氏抽提法(以乙醚为抽提液)测定粗脂肪含量;将样品在马炉中灼烧(550 ℃)12 h 测定灰分含量;采用 HDC6000 自动量热仪(湖南华德电子有限公司)测定能值。每份样品均重复测定 2 次,若相对偏差超过 2% 时,则增加重复次数,采用相对偏差在 2% 以下的 2 个测定值的平均数作为测定结果。

1.5 数据处理

摄食率(*FR*)、相对增重率(*WG*)、表观消化率(*AD*)、湿重特定生长率(*SGR*w)和饲料湿重转化效率(*FCE*w)分别用以下公式计算:

$$\text{摄食率 } FR(\%\cdot d^{-1}) = 100\times TF/[t(W_1+W_2)/2]$$

$$\text{相对增重率 } WG(\%) = (W_2-W_1)\times 100/W_1$$

$$\text{表观消化率 } AD(\%) = [1-B/B']\times 100$$

$$\text{湿重特定生长率 } SGRw(\%\cdot d^{-1}) = 100\times(\ln W_2-\ln W_1)/t$$

$$\text{湿重转化效率 } FCEw(\%) = 100\times(W_2-W_1)/C$$

式中,W_1 和 W_2 分别为试验开始和结束时鱼体的湿重(g),C 为摄食饲料干重(g),F 为粪便干重(g),t 为试验时间(d),TF 为总投饵量(g)。鱼体干物质、蛋白质和能量特定生长率(*SGR*d,*SGR*p 和 *SGR*e)参照湿重特定生长率公式计算;饲料干物质、蛋白质和能量转化效率(*FCE*d,*FCE*p 和 *FCE*e)参照湿重转化效率公式计算。表观消化率的测定采用三氧化二铬指示剂法,B 和 B' 分别为饲料和粪便中的三氧化二铬的含量(饲料中指示剂掺入量为 0.5%,饲料和粪便中的 Cr_2O_3 含量采用湿氏灰化定量法测定)。

采用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行方差分析,当单因素方差分析(one-way ANOVA)检验达显著差异后($P<0.05$),进行 Duncan 多重比较检验组间差异。

2 结果与分析

2.1 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼相对增重率和表观消化率的影响

由表1可知,不同摄食水平下,各处理组间大菱鲆幼鱼的终末体重、相对增重率和摄食率随摄食水平的增加而升高,且组间差异显著($P<0.05$)。各处理组的表观消化率显著不差异($P>0.05$)。

在不同投喂频率下,大菱鲆幼鱼的终末体重和相对增重率随着投喂频率的增加有先升高后降低的趋势,其中FF1组与FF2,FF3组差异显著($P<0.05$),而FF2与FF3组差异不显著($P>0.05$)。摄食率随投喂频率的增加逐渐升高,FF1与FF3差异显著($P<0.05$),FF2与FF1、FF3差异均不显著($P>0.05$)。各处理组的表观消化率差异不显著($P>0.05$)。

2.2 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼特定生长率的影响

如表2所示,随着摄食水平的增加大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量特定生长率均显著增加,且各组间均差异显著($P<0.05$)。特定生长率与摄食水平的关系如下:

$SGR_w = 1.1047RL - 0.1011$

($R^2 = 0.9999$ $n = 12$ $P<0.05$)

$SGR_d = 1.2246RL - 0.2247$

($R^2 = 0.9966$ $n = 12$ $P<0.05$)

$SGR_e = 1.37RL - 0.2627$

($R^2 = 0.9849$ $n = 12$ $P<0.05$)

$SGR_p = 1.1644RL - 0.2368$

($R^2 = 0.9985$ $n = 12$ $P<0.05$)

令特定生长率=0,大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量的维持摄食水平分别为体质量的0.09%·d^{-1}、0.18%·d^{-1}、0.19%·d^{-1}和0.20%·d^{-1}。

不同投喂频率下,大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量特定生长率随着投喂频率的增加有先升高后降低的趋势。FF1组大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量特定生长率显著低于FF2和FF3组($P<0.05$),而FF2和FF3组差异不显著($P>0.05$)。

2.3 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼饲料转化效率的影响

由表3可知,随摄食水平的增加,湿重、干重、蛋白质和能量转化效率有先升高后降低的趋势,FL1.5比FL1.0的湿重、干重、蛋白质和能量转化效率均升高,其中能量转化效率差异显著($P<0.05$),FL2.0组各转化效率均显著高于FL1.0组($P<0.05$),与FL1.5相比差异不显著($P>0.05$),饱食组较FL2.0有降低趋势,除湿重转化效率差异达显著外($P<0.05$),其他无显著差异($P>0.05$)。

在不同的投喂频率下,FF1的湿重、干重转化效率显著低于FF2($P<0.05$),与FF3差异不显著($P>0.05$),FF1的蛋白转化效率显著低于FF3($P<0.05$),而均与FF2差异不显著($P>0.05$),各组间

表1 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼相对增重率和表观消化率的影响

Table 1 Effect of ration level and feeding frequency on relative rate of body weight increase and apparent digestibility of juvenile turbot

试验组	初始体重(g)	终末体重(g)	相对增重率(%)	摄食率(%·d^{-1})	表观消化率(%)
FL1.0	7.58±0.04	11.33±0.17 a	49.58±2.05 a	0.88±0.01 a	85.67±0.24
FL1.5	7.54±0.02	14.02±0.19 b	85.92±2.23 b	1.25±0.01 b	84.39±0.96
FL2.0	7.60±0.06	17.68±0.49 c	132.69±4.61 c	1.56±0.00 c	82.63±1.53
FLS(FF2)	7.54±0.00	20.20±0.65 dB	167.96±8.66 dB	1.96±0.08 dAB	84.88±0.25
FF1	7.57±0.03	16.72±0.19 A	120.77±1.72 A	1.79±0.06 A	84.48±1.17
FF3	7.54±0.01	19.93±0.23 B	164.44±2.72 B	2.02±0.02 B	82.75±0.01

同一列中不同小写字母表示摄食水平组间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示投喂频率组间差异显著($P<0.05$)。平均值±标准差。下同。

表2 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼特定生长率的影响

Table 2 Effect of ration level and feeding frequency on SGR of juvenile turbot

试验组	SGR_w	SGR_d	SGR_p	SGR_e
FL1.0	1.01±0.03 a	0.98±0.02 a	0.91±0.11 a	1.06±0.06 a
FL1.5	1.55±0.03 b	1.65±0.06 b	1.54±0.01 b	1.89±0.08 b
FL2.0	2.11±0.05 c	2.20±0.04 c	2.08±0.01 c	2.43±0.04 c
FLS(FF2)	2.46±0.08 dB	2.55±0.16 dB	2.39±0.13 dB	2.80±0.22 dB
FF1	1.98±0.02 A	2.00±0.02 A	1.93±0.01 A	2.18±0.13 A
FF3	2.43±0.03 B	2.51±0.06 B	2.49±0.08 B	2.75±0.09 B

表 3 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼饲料转化效率的影响
Table 3 Effect of ration level and feeding frequency on *FCE* of juvenile turbot

试验组	*FCE*w	*FCE*d	*FCE*p	*FCE*e
FL1.0	113.25±4.57 a	23.48±0.46 a	26.89±3.79 a	23.47±1.68 a
FL1.5	120.31±3.25 ab	28.14±1.36 ab	31.55±0.22 ab	30.84±1.78 b
FL2.0	127.86±2.84 b	29.22±0.42 b	33.18±0.61 b	30.82±0.38 b
FLS(FF2)	116.34±1.74 aB	26.32±0.95 bB	29.51±0.57 abAB	27.79±1.72 b
FF1	105.28±2.53 A	22.85±0.49 A	26.90±0.81 A	23.63±1.27
FF3	111.70±2.35 AB	25.23±1.11 AB	30.72±1.70 B	26.50±1.61

能量转化效率差异均不显著($P>0.05$)。

2.4 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼生化成分的影响

在不同的摄食水平下(表 4),各组间的粗蛋白含量差异不显著($P>0.05$),且随着摄食水平的增加有先升高后降低的趋势。水分、粗脂肪、粗灰分含量除 FL1.0 组与另外 3 组差异显著($P<0.05$)外,其他各组间差异均不显著($P>0.05$)。

不同投喂频率下,各组间的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量差异均不显著($P>0.05$),随着投喂频率的增加,粗脂肪含量先升高后降低,水分、粗蛋白、粗灰分含量出现先降低后升高的趋势。

表 4 摄食水平和投喂频率对大菱鲆幼鱼生化成分的影响(平均值±标准差,%)
Table 4 Effect of ration level and feeding frequency on biochemical composition of juvenile turbot

试验组	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
FL1.0	78.80±0.18 b	14.47±0.71	1.93±0.37 a	3.96±0.17 b
FL1.5	77.66±0.71 a	14.92±0.18	3.10±0.43 b	3.64±0.22 a
FL2.0	77.75±0.06 a	14.77±0.25	3.09±0.42 b	3.57±0.04 a
FLS(FF2)	77.79±0.52 a	14.54±0.23	3.11±0.36 b	3.62±0.03 a
FF1	78.28±0.25	14.84±0.25	2.68±0.13	3.73±0.28
FF3	78.00±0.35	14.92±0.76	2.72±0.37	3.70±0.15

3 讨 论

3.1 摄食水平和投喂频率对大菱鲆表观消化率的影响

关于摄食水平与消化率的关系,目前已有较多的研究报道,如尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)、褐牙鲆、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)等鱼的表观消化率随摄食水平的增加而增加(Xie *et al.*, 1997;线薇薇和朱鑫华,2000;朱晓鸣等,2000);鳟(*Salmo trutta*)和胡鲇(*Clarias gariepinus*)则随摄食水平的增加而下降(Elliott, 1976; Henken *et al.*, 1987);本研究表明,大菱鲆幼鱼的表观消化率不受摄食水平的影响,与大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idells*)研究结果相似(Beamish,1972;Cui *et al.*,1992),这可能受种间差异、试验饲料种类、试验方法等不同因素的影响。

对大菱鲆幼鱼的试验结果表明,不同投喂频率下其表观消化率无显著差异,这与黄鳝(*Monopterus albus*)(杨帆等,2011)的研究结果相一致。而董桂芳等(2012)对斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)的研究表明,其干物质表观消化率随投喂频率的增加而显著升高。这可能与不同鱼类在不同的投喂频率下导致其摄食率不同或对营养物质的吸收不同有关(Windell *et al.*,1978;杨帆等,2011)。

3.2 摄食水平和投喂频率对大菱鲆特定生长率的影响

不同的鱼类,由于受饵料组成,养殖环境等不同因素的影响,表现出不同的摄食生长关系模型,一是呈减速增长曲线关系(Allen & Wootton,1982),如黑鲷(*Sabastodes fuscescens*)的特定生长率随摄食水平的增加呈减速增长趋势(孙耀等,2001);另一种为线性关系(Boehlert & Yoklavich,1983),如 Ham 等(2003)对大菱鲆(69.0±16.5 g)的研究表明,投饲量在 35% 到饱食投喂之间变化时,其特定生长率随投饲量的增加而增加,呈线性回归关系。本试验中,大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量特定生长率与摄食水平关系为线性增长,这与 Ham 等(2003)对大菱鲆的研究及线薇薇和朱鑫华(2000,2001)对梭鱼(*Liza haematocheila*)和褐牙鲆的研究结果相一致。

不同投喂频率下,大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量特定生长率随着投喂频率的增加有先升高后降低的趋势,且FF1组显著低于FF2和FF3组,而FF2和FF3组差异不显著。这与郑珂珂等(2010)的研究报道,每天15:00—18:00时间段投喂可以提高大菱鲆幼鱼的生长率相一致,FF2组17:30的投喂正处于大菱鲆幼鱼的最适投喂时间,故特定生长率明显大于FF1,而FF3由于投喂次数增多,鱼在摄食过程中消耗体能使得特定生长率低于FF2组。

3.3 摄食水平和投喂频率对大菱鲆饲料转化效率的影响

本试验中,随摄食水平的增加,大菱鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质和能量转化效率有先升高后降低的趋势,与牙鲆(Cho *et al.*,2006;陈晶等,2012)的研究结果相似,符合多数鱼类的最大饲料转化效率在中间摄食水平最大(孙耀等,1999,2001;Sun *et al.*,2006)的研究结论。

对于投喂频率与饲料转化效率的关系,一些研究表明,鱼类的生长率与饲料转化效率有同时升高的趋势(Windell *et al.*,1978;Omar & Gunther,1987),即生长率随投喂频率升高是由于饲料转化率上升所致。另一些研究却发现,生长率随饲喂频率的升高是由于摄食率升高所致,与饲料转化效率无关(Wang *et al.*,1998)。本研究表明,随投喂频率的增加,大菱鲆幼鱼的增重率、摄食率、特定生长率和饲料转化效率差异显著,FF2与FF3组显著高于FF1组,而FF2与FF3组差异不显著。由此说明,投喂频率对大菱鲆幼鱼生长的影响是由饲料转化效率和摄食率的提高共同引起的。

3.4 摄食水平和投喂频率对大菱鲆生化成分的影响

Du Preez和Cockcroft(1988)研究发现,草鱼在摄食水平小于1.0%时,体脂肪和水分含量随摄食水平的增大而上升,而大于摄食水平1.0%以后,体脂肪和水分含量就不再显著变化,体蛋白和体灰分均不受摄食水平的影响。本试验得到了相同的结果,即随摄食水平的升高,大菱鲆幼鱼的粗蛋白含量差异不显著,而水分、粗脂肪和粗灰分含量除1.0%组与另外3组差异显著外,其他各组间差异均不显著。

投喂频率是否会影响鱼的肉质一直是学者关注较多的问题,本试验结果表明,随投喂频率的增加,大菱鲆幼鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量无显著变化,说明提高投喂频率,并不改变大菱鲆幼鱼的主要营养组成,这与黄鳝和牙鲆(Kim *et al.*,2007;杨帆等,2011;陈晶等,2012)的研究结果相一致。

参考文献

陈 晶, 吴立新, 吴玉波, 等. 2012. 不同摄食水平对牙鲆幼鱼生长及能量收支的影响. 水产科学, **31**(1): 1-6.

董桂芳, 胡振雄, 黄 峰, 等. 2012. 投喂频率对斑点叉尾鮰幼鱼生长、饲料利用和鱼体组成的影响. 渔业现代化, **39**(2): 48-53.

孙 耀, 张 波, 郭学武, 等. 1999. 日粮水平和饵料种类对真鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, **20**(2): 60-65.

孙 耀, 张 波, 唐启升. 2001. 摄食水平和饵料种类对黑鲪能量收支的影响. 海洋水产研究, **22**(2): 32-37.

王 华, 李 勇, 陈 康, 等. 2008. 水产养殖动物摄食节律与投喂模式的研究进展. 饲料工业, **29**(24): 17-21.

线薇薇, 朱鑫华. 2000. 摄食水平对褐牙鲆幼鱼生长影响的初步研究. 青岛海洋大学学报, **30**(3): 453-458.

线薇薇, 朱鑫华. 2001. 摄食水平对梭鱼的生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, **32**(6): 612-620.

杨 帆, 张世萍, 韩凯佳, 等. 2011. 投喂频率对黄鳝幼鱼摄食、生长及饵料利用率的影响. 淡水渔业, **41**(3): 50-54.

郑珂珂, 方 伟, 孔凡华, 等. 2010. 大菱鲆幼鱼的摄食节律及适宜投喂时间. 渔业现代化, **37**(5): 26-30.

朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波. 2000. 摄食水平对异育银鲫生长及能量收支的影响. 海洋与湖沼, **31**(5): 421-479.

Allen JRM, Wootton RJ. 1982. The effect of ration and temperature on the growth of three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. *Journal of Fish Biology*, **20**: 409-422.

Beamish FWH. 1972. Ration size and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede. *Canadian Journal of Zoology*, **50**: 153-164.

Boehlert GW, Yoklavich MM. 1983. Effects of temperature, ration and fish size in growth of juvenile black rockfish. *Environmental Biology of Fishes*, **8**: 17-28.

Cho SH, Lee SM, Byum HP, *et al*. 2006. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. *Aquaculture*, **251**: 78-84.

Cui Y, Liu XF, Wang SM, *et al*. 1992. Growth and energy budget in young grass carp *Ctenopharyngodon idella* Val fed plant and animal diets. *Journal of Fish Biology*, **41**: 231-238.

Du Preez HH, Cockcroft AC. 1988. Nonfaecal and faecal losses of the marine teleost, *Lichia amia* (Linnaeus, 1758), feeding on live southern mullet, *Liza richardsonii* (Smith, 1846). *Comparative Biochemistry and Physiology*, **90A**: 71-77.

Elliott JM. 1976. Body composition of brown trout (*Salmo trutta*

L.) in relation to temperature and ration size. *Journal of Animal Ecology*, **45**: 273-289.

Ham EHV, Bermtssen MHG, Imsland AK, *et al*. 2003. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, **217**: 547-558.

Henken AM, Boon JB, Cattel BC, *et al*. 1987. Differences in growth rate and feed utilization between male and female African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture*, **63**: 221-232.

Kim KD, Kim KM, Kang YJ. 2007. Influences of feeding frequency of extruded pellet and moist pellet on growth and body composition of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in suboptimal water temperatures. *Fisheries Science*, **73**: 745-749.

Omar EA, Gunther KD. 1987. Studies on feeding of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) in intensive aquaculture. *Journal of Animal Nutrition*, **57**: 80-172.

Sun LH, Chen HR, Huang LM, *et al*. 2006. Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to ration. *Aquaculture*, **257**: 214-220.

Wang N, Hayward RS, Noltie DB. 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture*, **165**: 261-267.

Wang Y, Kong LJ, Li K, *et al*. 2007. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. *Aquaculture*, **271**: 350-356.

Windell JT, Foltz JW, Sarokon JA. 1978. Effect of fish size, temperature and a digestibility of a pelleted diets by rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Transactions of the American Fisheries Society*, **107**: 613-616.

Xie S, Cui Y, Yang Y, *et al*. 1997. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. *Aquaculture*, **154**: 57-68.

作者简介 李滑滑,女,1988 年生,硕士研究生,主要从事水产动物养殖生态学研究。E-mail: lihuahua2010@126.com

责任编辑 李凤芹