

温度对高密度循环海水养殖大菱鲆 摄食、生长及消化酶的影响

李 勇^{1,2} 孙国祥^{1,2} 柳 阳^{1,2} 高婷婷¹ 于凯松³ 刘佳亮³

(¹中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(²中国科学院研究生院, 北京 100049)

(³山东东方海洋科技股份有限公司, 烟台 264003)

摘 要 在高密度封闭循环海水养殖条件下(平均密度 $14.20 \pm 0.48 \text{ kg/m}^2$), 设置 4 个温度梯度(14、16、18、21 °C, 分别以 A~D 组表示), 挑选相近体重($371.68 \pm 43.15 \text{ g}$)的大菱鲆进行 56 d 养殖试验。每个梯度设置 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼。研究高密度封闭循环海水养殖条件下温度对大菱鲆摄食、生长以及消化酶的影响。试验结果表明, 温度对大菱鲆摄食、生长以及消化酶活力具有显著影响($P < 0.05$)。(1)在 14~18 °C 范围内, 大菱鲆摄食量随温度的增加而增大, 但当温度为 21 °C 时, 该组日均摄食量与其他 3 组相比出现显著性下降($P < 0.05$)。A、B、C 3 组的日均摄食量分别显著高于 D 组 25.65%、32.26%、45.08% ($P < 0.05$)。(2)大菱鲆生长和存活率随温度的增加表现出先升高后降低的趋势。A、B、C 3 组增重率分别比 D 组提高 75.23%、91.05%、121.18%, 特定生长率分别提高 34.29%、80.00%、102.86%。(3)在 14~18 °C 范围内, 大菱鲆胃蛋白酶比活力首先随温度增加而增大, 当超过 18 °C 时, 出现显著性下降($P < 0.05$)。A、B、C 3 组的胃蛋白酶比活力分别较 D 组高 116.74%、139.68%、202.64%。各组肠脂肪酶比活力并无显著性差异($P > 0.05$)。肠淀粉酶比活力则随温度升高而升高, D 组分别高于 C 组 10.81%、显著高于 B 组 59.74% ($P < 0.05$)、极显著高于 A 组 115.79% ($P < 0.01$)。本研究表明, 高密度封闭循环海水养殖条件下大菱鲆摄食、生长和消化的适宜温度范围为 16~18 °C, 适温范围内的最大摄食率为 0.52%~0.55%。温度对胃蛋白酶比活力及肠道淀粉酶比活力影响显著($P < 0.05$)。建议在适温范围内(16~18 °C), 封闭循环水养殖 300~600 g 体重大菱鲆的最佳投饲率为 0.57%~0.61%。

关键词 温度 摄食 生长 消化酶 封闭循环海水 大菱鲆 高密度

中图分类号 S967.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)06-0017-08

Effects of temperature on feed intake, growth and digestive enzyme activity of turbot *Scophthatmus maximus* L. in high stocking density of closed recirculation aquaculture system

LI Yong^{1,2*} SUN Guo-xiang^{1,2} LIU Yang^{1,2}
GAO Ting-ting^{1,2} YU Kai-song³ LIU Jia-liang³

(¹Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

国家高技术研究发展计划(863 计划)重点项目(2006AA100305)和国家农业科技成果转化基金项目(2008GB2C100109)共同资助

收稿日期:2011-04-29;接受日期:2011-05-31

作者简介:李 勇(1960-), 男, 博士, 研究员。主要从事水产动物生态营养与清洁饲料研究。E-mail:lyzhy678@hotmail.com,

Tel:(0532)82898724

(² Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

(³ Shandong Oriental Ocean Sci-Tech Co., Ltd., Yantai 264003)

ABSTRACT Effects of temperature on feed intake, growth and digestive enzyme activity of turbot *Scophthatmus maximus* L. were investigated in high stocking density of closed recirculation aquaculture system. Fish with a mean initial weight of 371.68 ± 43.15 g were reared at four different temperatures (14°C , 16°C , 18°C , and 21°C) for 56 days. Three hundred and sixty fish were randomly allotted in four treatments with three replicates for each treatment in a stocking density of 14.20 ± 0.48 kg/m². The results indicated: (1) Within the temperature of $14 \sim 18^{\circ}\text{C}$, the feed intake of turbot increased with the increasing temperature, but when the temperature was 21°C , the average daily feed intake of this group was significantly lower than the other three groups ($P < 0.05$). The average daily feed intake of group A, B, and C were significantly higher than D group by 25.65%, 32.26%, and 45.08% respectively ($P < 0.05$). (2) Growth and survival rate of turbot increased first then decreased with the rising temperature. The weight gain rate of group A, B, and C was higher than group D by 75.23%, 91.05%, and 121.18% respectively, while the specific growth rate was 34.29%, 80.00%, and 102.86% respectively. (3) Pepsin activity of turbot first increased with the increasing temperature ($14 \sim 18^{\circ}\text{C}$) and then significantly decreased when the temperature was 21°C ($P < 0.05$). The pepsin activity of group A, B, and C was higher than group D by 116.74%, 139.68%, and 202.64% respectively. There was no significant difference in intestinal lipase activity among four groups ($P > 0.05$), while the intestinal amylase activity increased with the increasing temperature, and group D was higher than group C by 10.81%, significantly higher than group B by 59.74% ($P < 0.05$) and significantly higher than group A by 115.79% ($P < 0.01$). This study showed that the optimum temperature for feed intake, growth and digestive enzyme of turbot in high-density closed recirculation aquaculture system was $16 \sim 18^{\circ}\text{C}$ and the feed intake rate was 0.52% ~ 0.55% at the optimum temperature. Water temperature had significant effect on pepsin activity and intestinal amylase activity ($P < 0.05$). According to this result, we suggest that the proper feeding rate is 0.57% ~ 0.61% in actual farming for turbot with body weight of 300 ~ 600 g.

KEY WORDS Temperature Feed intake Growth Digestive enzyme
Closed recirculation aquaculture system
Turbot *Scophthatmus maximus* L. High stocking density

温度是影响鱼类生长与存活最重要的环境因子(Gadomski *et al.* 1991),而其首先通过对采食量的影响产生后续效应,因此探明温度变化影响鱼类摄食量的特征及规律,对精准养殖和投喂策略具有重要意义。

封闭循环水养殖以其环保、生态、高效、稳定、可控等优势,成为现代水产养殖的主要模式。过量投喂的残饵和排泄物是封闭循环水体污染的主要来源和增加系统净化水质负荷的主要因素(Velasco *et al.* 1999; 陈军等 2009)。因此精准投喂对降低封闭循环水处理负荷、降低水体污染具有重要意义(刘鹰 2006; 王华等 2009)。目前关于温度对大菱鲆生长的影响研究已有相关报道,但均集中于幼鱼阶段,且以传统流水养殖为主(Pedersen *et al.* 1989; Van Ham *et al.* 2003; Imsland *et al.* 2007、2008; Arnason *et al.* 2009),研究内容多为温度对其生长性能的影响(Imsland *et al.* 1996、2000; Burel *et al.* 1996)。温度对大菱鲆摄食量效应方面的研究报道较少(Imsland *et al.* 2000; Arnason *et al.* 2009);有关封闭循环海水养殖

条件下,温度对大菱鲆摄食、生长等影响的研究则未见报道;而从精准养殖角度研究温度对其摄食量及消化酶变化特征及规律,基本上为空白。

本研究以大菱鲆为对象,在封闭循环海水高密度养殖条件下,探寻了温度差异对大菱鲆摄食、生长及消化酶的影响特征及规律,确定精准投喂的参数变量,为促进我国大菱鲆的现代工厂化精准养殖、显著降低水环境污染和节约饲料资源提供科学依据和实际指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计与动物分组

采用单因素随机分组试验设计,设置4个温度梯度(14、16、18、21℃,分别以A~D组表示),每个梯度设3个重复,每个重复30尾鱼。从同批孵化、同池养殖的鱼群中,挑选相近体重(371.68 ± 43.15 g)的大菱鲆360尾,随机分配到各试验组中,经消毒处理后,进行封闭循环海水系统养殖试验。

1.2 试验饲料

各组饲喂相同试验饲料,选用进口优质海水鱼膨化饲料,饲料成分实测值为:干物质95.21%,粗蛋白53.01%,钙5.21%,总磷3.43%,粗脂肪13.68%,粗灰分15.18%。

1.3 养殖管理

养殖试验于2010年3~5月在山东东方海洋科技股份有限公司开发区养殖基地进行,共持续56 d。试验期间温度控制采用STC-200微电脑温控仪。养殖桶水体积为400 L,底面积 0.8 m^2 ,养殖密度为 $14.20 \pm 0.48 \text{ kg/m}^2$ 。试验期间流速为600 L/h,盐度 23 ± 1 ,pH 7.20~7.50,溶解氧(DO) $>6.00 \text{ mg/L}$ 。试验期间光照周期为12 h(黑暗):12 h(光照),每天投喂两次(8:00, 20:00),均饱食投喂,0.5 h后捞出养殖桶内残饵,计算残饵量及实际摄食量。每次投喂后排出25%(100 L)养殖水并及时添加新水。

1.4 指标测定

试验开始和结束时,停食1 d,称重,按公式计算增重、增重率、特定生长率、饲料系数、存活率、日均摄食量、日均摄食率。

1.4.1 摄食、生长指标转化计算

增重(Weight gain) (g) = 末重 - 始重

增重率(Weight gain rate) (%) = (末重 - 始重) / 始重 $\times 100\%$

特定生长率(Specific growth rate) (%/d) = $100 \times (\text{Ln 末重} - \text{Ln 始重}) / \text{试验天数}$

饲料系数(Feed coefficient rate) = 摄食量 / (末重 - 始重)

存活率(Survival rate) (%) = 末鱼数 / 始鱼数 $\times 100\%$

日均摄食量(Average feed intake per day) (g/fish/d) = 总摄食量 / 鱼数 / 试验天数

日均摄食率(Average feed intake rate per day) (%) = 日均摄食量 / [(始重 + 末重) / 2] $\times 100$

1.4.2 消化酶指标测定

试验结束时停食24 h,每个处理随机选取12条大菱鲆用于测定消化酶活力。将所选大菱鲆置于冰盘内解剖,取出胃、肠道,剔除其中的内容物和结缔组织,用预冷的去离子水冲洗干净,在4℃下剪碎,随后将已剪碎的组织置于-20℃冷冻保存。消化酶指标测定采用南京建成生物工程研究所专业试剂盒,在该所生理生化试验室完成,单位以比活力(U/mg prot(或 U/g prot))表示。具体指标及检测原理如下:

胃蛋白酶:胃蛋白酶可水解蛋白产生含酚的氨基酸,而酚试剂可被含酚的氨基酸还原成蓝色物质,通过比色测定胃蛋白酶活力。每毫克组织蛋白37℃每分钟分解蛋白生成1 μg氨基酸相当于1个酶活力单位。

肠脂肪酶:甘油三酯和水制成的胶乳,因其胶束对入射光的吸收及散射而具有乳浊特性。胶束中的甘油三

脂在脂肪酶作用下发生水解,使胶束分裂,散射光或浊度因而减低。减低的速率与脂肪酶活力有关。

肠淀粉酶:淀粉酶水解淀粉生成葡萄糖、麦芽糖和糊精,加入碘液与未水解的淀粉结合成蓝色复合物,测定其吸光度。组织中每毫克蛋白在 37 °C 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉为 1 个淀粉酶活力单位。

1.5 统计分析

试验数据采用“平均值±标准误”表示,用 SPSS 18 软件进行单因素方差分析及回归分析,多重比较采用 LSD 和 Duncan's 进行。

2 结果

2.1 摄食及生长性能结果

表 1 不同温度对大菱鲂摄食、生长的影响

Table 1 Effects of different temperature on growth and feed intake of turbot *Scophthatmus maximus* L ($n=3$; Mean±SE)

指标	Index	组别 Group			
		A	B	C	D
初体重(g)	Initial body weight	368.39±31.04 ^a	369.89±28.34 ^a	374.17±28.42 ^a	374.27±28.68 ^a
末体重(g)	Final body weight	477.58±17.83 ^{bc}	522.28±15.70 ^{ab}	555.34±17.96 ^a	454.81±22.86 ^c
增重(g)	Weight gain	109.19±14.89 ^{cd}	152.39±16.40 ^{ab}	181.18±11.45 ^a	80.53±6.98 ^d
增重率(%)	Weight gain rate	30.75±6.87 ^b	42.33±7.84 ^{ab}	49.45±6.94 ^a	22.04±3.60 ^d
特定生长率(%/d)	Specific growth rate	0.47±0.09 ^{cd}	0.63±0.08 ^{ab}	0.71±0.08 ^a	0.35±0.05 ^d
饲料系数	Feed coefficient rate	1.13±0.14 ^b	0.88±0.12 ^c	0.78±0.05 ^c	1.65±0.38 ^a
摄食量(kg)	Feed intake	3.34±0.25 ^{bc}	3.86±0.31 ^{ab}	4.24±0.56 ^a	2.55±0.27 ^c
日均摄食量(g/d/尾)	Average feed intake per day	1.99±0.15 ^{bd}	2.30±0.18 ^{ab}	2.52±0.03 ^a	1.52±0.16 ^d
日均摄食率(%)	Average feed intake rate per day	0.47±0.01 ^{ab}	0.52±0.03 ^{ab}	0.55±0.02 ^a	0.37±0.05 ^c
存活率(%)	Survival rate	100 ^a	100.00 ^a	100.00 ^a	95.56±2.94 ^a

注:A~D分别表示 14、16、18、21 °C 4 个不同温度;同一行数据右上角的相同字母表示差异不显著($P>0.05$);相邻字母表示差异显著($P<0.05$);相间字母表示差异极显著($P<0.01$)

2.1.1 摄食、饲料转化结果

由表 1 可知,总摄食量、日均摄食量及日均摄食率随温度的增加表现出先增加后降低的趋势,饲料系数则与此相反。B、C 两组摄食量、日均摄食量、日均摄食率和饲料系数均显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)高于 D 组,但此两组之间并无显著性差异($P>0.05$)。A 组摄食量及日均摄食量与 D 组无显著性差异($P>0.05$),但其日均摄食率显著性高于 D 组($P<0.05$)。以试验期间日均摄食量为例,与 D 组(21 °C)相比,A、B、C 3 组分别高 30.92%、51.32%、65.79%。试验期间不同温度下大菱鲂日摄食量随时间变化特征及温度对大菱鲂日均摄食量、饲料系数影响分别如图 1、图 2、图 3 所示。图 1 中,试验前期温度对大菱鲂日摄食量影响效果显著,C 组摄食量明显高于其他 3 组。随着试验的进行,C 组与其他 3 组摄食量差异逐渐减小,在第 37~49 天时,B 组摄食量已高于 C 组。

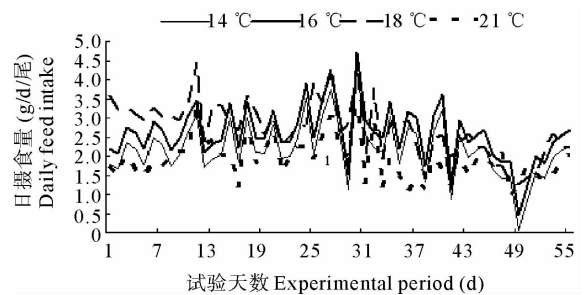


图 1 大菱鲂日摄食量变化

Fig. 1 Daily feed intake of turbot during the experimental period

$$AFI = -0.059T^2 + 2.0079T - 14.601, R^2 = 0.9528 \quad (1)$$

式中, AFI (Average Feed Intake), 代表日均摄食量, T 代表温度。通过计算可得, 当温度 $T=17.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 日均摄食量达到最大值 2.48 g。

$$FCR=0.044\ 3T^2-1.451\ 5T+12.618, R^2=0.973\ 2 \quad (2)$$

式中, FCR 代表饲料系数 Feed coefficient, T 代表温度。通过计算可得, 当温度 $T=16.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 饲料系数达到最小值 0.73。即本研究中大菱鲆获得最小饲料系数时的最适温度 ($T_{opt}FCR$) 为 $16.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

根据以上测定结果, 在适宜温度范围内 ($16\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$), 封闭循环水养殖 $300\sim 600\text{ g}$ 大菱鲆的最大摄食率为 $0.52\%\sim 0.55\%$ 。

2.1.2 生长结果

由表 1 可见, A、B、C 3 组的增重、增重率及特定生长率均显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$) 高于 D 组。A、B、C 3 组增重率分别较 D 组高 39.52% 、 92.05% 、 124.36% 。A、B、C 3 组特定生长率分别较 D 组高 34.29% 、 80% 、 102.86% 。各组存活率无显著性差异 ($P<0.05$), 但 D 组存活率要低于其他 3 组。温度对大菱鲆特定生长率的影响如图 4。

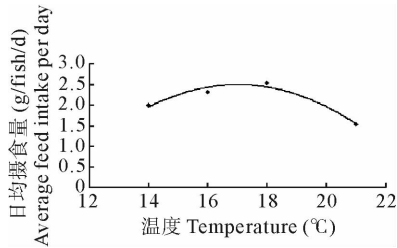


图 2 温度对大菱鲆日均摄食量的影响
Fig.2 Effects of temperature on average feed intake of turbot

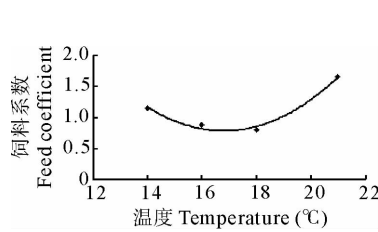


图 3 温度对大菱鲆饲料系数的影响
Fig.3 Effects of temperature on feed coefficient of turbot

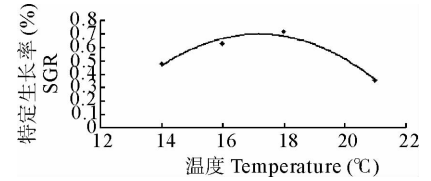


图 4 不同温度对大菱鲆特定生长率的影响
Fig.4 Effects of temperature on specific growth rate of turbot

$$SGR\% = -0.023\ 2T^2 + 0.796\ 4T - 6.150\ 4, R^2 = 0.963\ 9 \quad (3)$$

式中, T 代表温度。通过计算可得, 当温度为 $17.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时大菱鲆的特定生长率最大 ($0.69\%/d$), 即本研究中大菱鲆获得最大特定生长率的最适温度 ($T_{opt}SGR$) 为 $17.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 消化酶比活力结果

由表 2 可知, 温度对大菱鲆胃蛋白酶比活力及肠道淀粉酶活力有显著影响 ($P<0.05$), 具体为: 胃蛋白酶比活力随温度表现出先升高后降低的趋势, A、B、C 3 组的胃蛋白酶比活力无显著性差异 ($P>0.05$), 但均显著性 ($P<0.05$) 或极显著性 ($P<0.01$) 大于 D 组 116.74% 、 139.68% 、 202.64% ; 肠道淀粉酶比活力随温度增加表现出持续增大的趋势, D 组分别高于 C 组 10.81% 、显著高于 B 组 59.74% ($P<0.05$)、极显著高于 A 组 115.79% ($P<0.01$); 4 组的肠道脂肪酶比活力无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 2 不同温度对大菱鲆消化酶比活力的影响

Table 2 Effects of temperature on activities of digestive enzymes of turbot *S. maximus* L. ($n=3$; Mean \pm SE)

指标 Index	组别 Group			
	A	B	C	D
胃蛋白酶比活力 Pepsin (U/mg prot)	18.90 \pm 1.79 ^{ab}	20.90 \pm 1.78 ^a	26.39 \pm 3.85 ^a	8.72 \pm 0.67 ^c
肠道脂肪酶比活力 LPS(U/g prot)	8.05 \pm 1.15 ^a	7.31 \pm 0.07 ^a	7.02 \pm 0.52 ^a	7.45 \pm 0.09 ^a
肠道淀粉酶比活力 AMS(U/mg prot)	0.57 \pm 0.04 ^c	0.77 \pm 0.04 ^b	1.11 \pm 0.44 ^a	1.23 \pm 0.50 ^a

注: A~D 分别表示 14、16、18、21 $^{\circ}\text{C}$ 4 个不同温度; 同一行数据右上角的相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$); 相邻字母表示差异显著 ($P<0.05$); 相间字母表示差异极显著 ($P<0.01$)

3 讨论

3.1 温度对大菱鲃摄食的影响

环境温度影响变温动物的所有代谢过程,是最重要的外界影响因素之一,又是决定水产动物摄食量的最关键因素(孙德文等 2003)。Handeland等(2008)研究了温度和体重对大西洋鲑鱼 *Salmo salar* 生长和摄食的影响,其周摄食量随温度的增加而显著增加,当养殖水温高于 14 °C 时,摄食量显著下降。Brett(1979)研究表明,养殖温度超过 18 °C 时褐鳟 *Salmo trutta* 的摄食明显下降。

目前关于流水养殖下温度对大菱鲃 *Scophthalmus maximus* L. 饲料系数影响有少量报道(Imsland *et al.* 2000; Van Ham *et al.* 2003; Arnason *et al.* 2009),即饲料系数首先随温度升高而降低,当水温超过最适温度时,饲料系数随之增大,其中 Arnason 等(2009)报道体重 499 g 的大菱鲃特定生长率最大时的温度为 17.8 °C,饲料系数最小时的温度为 16.1 °C。本研究所得饲料系数随温度的变化规律与流水养殖研究基本一致(Van Ham *et al.* 2003),同时饲料系数最小时的温度与 Arnason 等(2009)研究所得饲料系数最低时的温度相接近。

有关流水或封闭循环水条件下温度对大菱鲃摄食量影响及其变化规律研究尚未见报道。本研究结果表明,在 14~18 °C 范围内,封闭循环海水养殖大菱鲃的总摄食量、日均摄食量、日均摄食率随温度的增加而增大,但当温度超过 18 °C 时,各项摄食指标出现显著下降。本试验前期和中期各组摄食量差异明显,但 43 d 开始,各组摄食量差异不明显(图 1)。分析原因如下:试验开始和中期低温梯度大菱鲃摄食量多,因而生长较快。高温梯度摄食较少,生长较慢。当试验进行到末期时,低温梯度由于前期摄食多、生长快,而使密度较大(根据特定生长率计算出 43d 时各组密度约为 17.12、18.41、19.24、15.44 kg/m²),高密度效应使末期大菱鲃摄食量提高不大;而此时的高温梯度由于前期摄食量较小、生长较慢,从而使末期的密度较小,摄食量反而较高;因此,试验末期摄食量呈现出低温梯度组与高温梯度组差异不显著($P>0.05$)的特征。若在试验中不断调整密度达到各组一致,低温梯度组与高温梯度组摄食量的差异规律将会延续到试验末期。

根据本试验测定的最大摄食率(0.52%~0.55%),加上 10% 的保险系数,建议适温范围内(16~18 °C),封闭循环水养殖 300~600 g 体重大菱鲃的最佳投饲率为 0.57%~0.61%。

3.2 温度对大菱鲃生长的影响

温度对鱼类的生长和存活具有重要影响(Brett 1979),这一影响随着鱼体重的不同而不同,幼鱼较成鱼有较高的温度适应性(Gadomski *et al.* 1991)。高淳仁等(2006)研究了流水养殖温度对 10~11 g 大菱鲃生长和存活率的影响。结果表明,在 12~16 °C 时,大菱鲃生长速度随温度的升高而加快,当养殖水温达到 20 °C 时,其生长速度相比开始下降。Arnason 等(2009)研究了流水养殖条件下温度对 2~9 g 大菱鲃幼鱼的生长的影响。结果表明,在 13~25 °C 范围内,大菱鲃的生长随温度增加表现出先增加后减小的趋势,且大体重鱼最适生长温度要低于小体重的最适生长温度。

国内外关于封闭循环水条件下温度对大菱鲃生长影响的研究未见报道。本试验结果表明,在封闭循环海水养殖条件下,温度对大菱鲃的生长和存活率具有重要影响,其生长和存活率均随温度增加表现出先升高后降低的趋势,该趋势与流水养殖研究结果相似(Van Ham *et al.* 2003; 高淳仁等 2006; Arnason *et al.* 2009)。本研究在高密度(14.20±0.48 kg/m²)、最适温度(17.16 °C)养殖下所获得的大菱鲃特定生长率(0.69%/d)与 Arnason 等(2009)研究中(密度 10 kg/m²、最适温度 18.24 °C)特定生长率(0.69%/d)相当,表明封闭循环水养殖模式与流水养殖相比具有较大的优势(高密度、生长快)。同时,由式(2)、式(3)的计算结果可知, $T_{opt}SGR$ 较 $T_{opt}FCR$ 高(0.78 °C)。这一结果与 Bjornsson 等(2001)、Imsland 等(2001)和 Jobling(1994)研究结果相似。分析原因如下:在非限制性生长中,鱼类达到最大生长速率时的温度要显著低于达到最大消化速率时的温度(Jobling 1994),因而当温度低于最大生长速率温度时,消化速率降低幅度显著大于生长速率。本试验结果中胃蛋白酶活力及肠道淀粉酶活力随温度变化特征(见 2.2)与此相符。

3.3 温度对大菱鲆消化酶比活力的影响

水温是决定水产动物摄食的最重要因素,而食物的消化过程是消化酶参与的酶促反应,因此温度对消化酶活力具有重要影响(刘伟成等 2008)。已有研究表明,水环境温度和肠道等器官内的 pH 是影响鱼类消化酶活力的重要因素(Hofer 1979; 沈文英等 2004; 付新华等 2005; 姜令绪等 2007; 丁 贤等 2008)。

国内外虽有一些关于温度对鱼类消化酶影响的报道(桂远明等 1993; 叶原土等 1998; 丁 贤等 2008; Wang *et al.* 2006),但仅有少数涉及温度对大菱鲆消化酶活力的影响,且研究因素多为离体反应温度(付新华等 2005; 王海英等 2005)。关于养殖水环境温度对大菱鲆蛋白酶活力影响仅见于高淳仁等(2006)的报道,该研究通过流水养殖发现,随着温度增加(12~20 °C),大菱鲆幼鱼胃、肠和肝脏中蛋白酶活力显著增加,其中胃蛋白酶活力增加最快。

本试验首次研究封闭循环海水养殖温度对大菱鲆胃肠消化酶效应,在温度为 14~18 °C 范围内,A、B、C 3 组胃蛋白酶比活力随温度上升而增大,但当超过 18 °C 达到 21 °C 时,活力显著下降。原因分析如下:在适宜温度范围内,随着养殖水温的升高,大菱鲆胃部蠕动加快,摄食能力增强,所摄取食物刺激胃黏膜使其中的杯状颗粒细胞大量分泌蛋白酶,同时温度升高会加快大菱鲆体内的新陈代谢速率,合成和分解物质能力增强,也促使其分泌蛋白酶,但是这种正相关并不是无限的。当养殖水温超过最适温度后,一方面大菱鲆摄食量显著减少,胃部蠕动减弱,胃黏膜所分泌的蛋白酶减少;另一方面,高温改变了大菱鲆正常代谢、体内离子浓度以及内外环境 pH,从而抑制了蛋白酶活力(韩京成等 2010)。

温度对鱼类消化酶影响比较明显,而这种影响又随鱼种类不同、消化器官不同及消化酶不同而有所差异。罗 奇等(2010)报道了 16~28 °C 养殖水温对条石鲷幼鱼肠道淀粉酶和脂肪酶活力的影响,其肠道淀粉酶活力随温度提高先升高后降低,而脂肪酶活力则表现出持续下降的趋势。田相利等(2008)研究发现,温度对半滑舌鲷肠道淀粉酶和脂肪酶活力有显著($P < 0.05$)影响:在盐度为 30 条件下,半滑舌鲷肠道淀粉酶活力随养殖水温(18~27 °C)的升高逐渐升高,27 °C 组显著($P < 0.05$)高于 18 °C 组;而肠道脂肪酶活力则随温度升高表现出先升高后降低的趋势,24、27 °C 组显著($P < 0.05$)高于 18 °C 组。由此可见,不同种类的鱼消化酶活力随温度变化有所差异。本研究表明,温度对大菱鲆肠道淀粉酶比活力影响显著($P < 0.05$),其活力随着温度升高而增大,与田相利等(2008)研究结果相一致,其原因可能是水温的升高提高了大菱鲆的生理代谢强度,相应地,消化系统的代谢强度也随之增强,从而使淀粉酶的分泌增多(黎军胜等 2004)。本研究同时发现,温度对大菱鲆肠道脂肪酶比活力无显著性影响($P > 0.05$)。

4 小结

本研究表明,温度对高密度封闭循环海水养殖条件下大菱鲆摄食、生长及胃肠消化酶活力有显著影响。大菱鲆摄食、生长和消化的适宜温度范围为 16~18 °C;在适温范围内的最大摄食率为 0.52%~0.55%。大菱鲆胃蛋白酶活力随温度增高表现出先升后降的趋势,肠道淀粉酶活力持续上升。建议在适温范围内(16~18 °C),封闭循环水养殖 300~600 g 体重大菱鲆的最佳投饲率为 0.57%~0.61%。

参 考 文 献

- 丁 贤,李卓佳,陈永青. 2008. 温度和 pH 对异育银鲫消化酶稳定性及其活力的影响. 海洋水产研究, 29(4): 46~51
- 王 华,李 勇,陈 康,夏苏东,王美琴,孙国祥. 2009. 工厂化养殖半滑舌鲷生长、摄食和水质的变化特征和规律. 水生态学杂志, 2(4): 52~59
- 王海英,薛长湖,孙 溢,王跃军,王清印. 2005. 大菱鲆肠道蛋白酶的分离纯化及性质的初步研究. 水产学报, 29(5): 624~629
- 付新华,孙 溢,孙世春. 2005. 大菱鲆消化酶的活力. 中国水产科学, 12(1): 26~32
- 叶原土,林仕梅,罗 莉,杨思华,陈 文. 1998. 温度、pH 值对南方大口鲶、长吻鲈蛋白酶和淀粉酶活力的影响. 大连水产学院学报, 13(2): 17~23
- 田相利,任晓伟,董双林,王国栋,房景辉. 2008. 温度和盐度对半滑舌鲷幼鱼消化酶活性的影响. 中国海洋大学学报, 38(6): 895~901
- 刘伟成,单乐州,谢起浪,林少珍,黄贤克,阎茂仓,邵鑫斌. 2008. 温度对条石鲷摄食率、产卵量和受精率的影响. 宁波大学学报, 21(3): 314~

317

- 刘 鹰. 2006. 欧洲循环水养殖技术综述. 渔业现代化, 6: 47~49
- 孙德文, 詹 勇, 许梓荣. 2003. 环境温度在鱼类养殖业中的重要作用研究. 水产养殖, 24(2): 36
- 沈文英, 胡洪国, 潘雅娟. 2004. 温度和 pH 对南美白对虾消化酶活性的影响. 海洋与湖沼, 35(6): 543~548
- 陈 军, 徐 皓, 倪 琦, 刘 晃. 2009. 我国工厂化循环水养殖发展研究报告. 渔业现代化, 36(4): 1~7
- 陈品健, 王重刚, 陆 浩, 顾 勇. 1998. 真鲷幼鱼消化酶活性与温度的关系. 厦门大学学报(自然科学版), 37(6): 931~934
- 周景祥, 陈 勇, 黄 权, 孙云农. 2001. 鱼类消化酶的活性及环境条件的影响. 华北大学学报, 2(1): 70~74, 83
- 罗 奇, 区又君, 艾 丽, 李加儿. 2010. 温度和 pH 对条石鲷幼鱼消化酶活力的影响. 热带海洋学报, 29(5): 154~158
- 姜令绪, 杨 宁, 李 建, 王文琪, 王仁杰, 卢 杰. 2007. 温度和 pH 对刺参消化酶活力的影响. 海洋与湖沼, 38(5): 476~480
- 桂远明, 吴 垠. 1993. 温度对草鱼、鲤、鲢、鳙主要消化酶活性的影响. 大连水产学院学报, 8(4): 1~8
- 高淳仁, 王印庚, 马爱军, 朱建新, 刘新富, 雷霖霖. 2006. 温度对大菱鲆幼鱼生长、成活率和体内蛋白酶活性的影响. 海洋水产研究, 27(6): 33~36
- 韩京成, 刘国勇, 梅朋森, 黄应平, 刘德富, 陈求稳. 2010. 温度对鲫鱼血液生化指标和消化酶的影响. 水生态学杂志, 3(1): 87~92
- 黎军胜, 李建林, 吴婷婷. 2004. 饲料成分与环境温度对奥尼罗非鱼消化酶活性的影响. 中国水产科学, 11(6): 585~588
- Arnason, T., Björnsson, B., Steinarsson, A., and Oddgeirsson, M. 2009. Effects of temperature and body weight on growth rate and feed conversion ratio in turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 295(3-4): 218~225
- Björnsson, B., Steinarsson, A., and Oddgeirsson, M. 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal Marine Science, 58(1): 29~38
- Brett, J. R. 1979. In: Hoar, W. S., Randall, D. J., Brett, J. R. (Eds.), Environmental Factors and Growth. Fish Physiology, vol. 8. Academic Press, London, 599~675
- Burel, C., Person-Le Ruyet, J., Gaumet, F., LeRoux, A., Severe, A., and Boeuf, G. 1996. Effects of temperature on growth and metabolism in juvenile turbot. Journal of Fish Biology, 49(4): 678~692
- Gadomski, D. M., and Caddell, S. M. 1991. Effects of temperature on early-life-history stages of California halibut *Paralichthys californicus*. Fishery Bulletin, 89(4): 567~576
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., and Stefansson, S. O. 2008. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. Aquaculture, 283(1-4): 36~42
- Hofer, R. 1979. The Adaptation of digestive enzymes to temperature, seasons and diet in *Rutilus rutilus* and *scardinius erythrophthalmus*: amylase. Journal of Fish Biology, 14(6): 565~572
- Imsland, A. K., Foss, A., Gunnarsson, S., Berntssen, M. H. G., FitzGerald, R., Bonga, S. W., Van Ham, E., Naevdal, C., and Stefansson, S. O. 2001. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 198(3-4): 353~367
- Imsland, A. K., Foss, A., Naevdal, G., Cross, T., Bonga, S. W., Ham, E. V., and Stefansson, S. O. 2000. Countergradient variation in growth and food conversion efficiency of juvenile turbot. Journal of Fish Biology, 57(5): 1 213~1 226
- Imsland, A. K., Gunnarsson, S., Asgeirsson, A., Roth, B., Schram, E., and Foss, A. 2008. Commercial-scale validation of temperature-step rearing on growth physiology in turbot, *Scophthalmus maximus*. Journal of the World Aquaculture Society, 39(5): 684~691
- Imsland, A. K., Schram, E., Roth, B., Schelvis-Smit, R., and Kloet, K. 2007. Improving growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus Rafinesque*) by rearing fish in switched temperature regimes. Aquaculture International, 15(5): 403~407
- Imsland, A. K., Sunde, I. M., Folkvord, A., and Stefansson, S. O. 1996. The interaction between temperature and size on growth of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus Rafinesque*). Journal of Fish Biology, 49(5): 926~940
- Jobling, M. 1994. Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London, 309
- Pedersen, T., and Jobling, M. 1989. Growth rates of large, sexually mature cod, *Gadus morhua*, in relation to condition and temperature during an annual cycle. Aquaculture, 81(2): 161~168
- Van Ham, E. H., Berntssen, M. H. G., Imsland, A. K., Parpoura, A. C., Bonga, S. E. W., and Stefansson, S. O. 2003. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 217(1-4): 547~558
- Velasco, M., Lawrence, A. L., and Castille, F. L. 1999. Effect of variations in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), in zero-water exchange culture tanks. Aquaculture, 179(1-4): 141~148
- Wang, H. Y., Wang, Y. J., Wang, Q. Y., Xue, C. H., and Sun, M. 2006. Purification and characterization of stomach protease from the turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Fish Physiology and Biochemistry, 32(2): 179~188