

工厂化养殖半滑舌鲷生长、摄食和水质的变化特征及规律

王 华, 李 勇, 陈 康, 夏苏东, 王美琴, 孙国祥

(中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:在封闭循环水养殖条件下,进行 6×2 双因素随机设计动物试验,即6个体重阶段(45~550 g)和2个密度水平(高密度比正常密度提高20%~30%),共形成12个处理,每处理3个重复,试验期44 d。探寻我国北方工厂化养殖半滑舌鲷生长、摄食和水质的变化特征及规律。结果表明:(1)日增重、日均摄食量、饲料系数等绝对指标与体重阶段呈正相关;氨氮、COD等水质指标相对浓度与体重阶段呈负相关;(2)常规水质条件下,高密度养殖不利于生长、摄食和降低水体有害物,其副作用起初并不明显,随着试验时间的推移不断加大;(3)新发现半滑舌鲷的日摄食率为0.43%~0.92%,对常规鱼类投饲率推荐范围(2%~5%)提出了质疑,为现代海水养殖精准饲喂和清洁生产提供了科学依据;(4)本试验条件下,体重45~550 g阶段半滑舌鲷的特定生长率为(1.42%~0.50%)/d,饲料系数为0.68~0.86,水中氨氮为8.45~1.51 mg/(kg·h)。

关键词:半滑舌鲷;工厂化养殖;生长;摄食;水质

中图分类号:S965.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2009)04-0052-08

工厂化养殖因其节约土地、水和能源,且具有环保、高产和产品安全可控等特点成为当前和未来推动水产养殖可持续发展的主要养殖模式(刘鹰等,2006;鹿叔铎等,2008)。国内目前所谓鱼类工厂化养殖多为室内流水集约化养殖,与采用封闭循环水的工厂化养殖差别很大(鹿叔铎等,2008)。以生物滤器为主的水质净化处理是封闭循环水养殖系统的核心,主要功能是降解水中氨氮和清除水中有机物,鱼类排泄氮和过量投饲后的残饵是这2种水体污染物的主要来源(刘鹰,2006)。因此,精准投喂饲料和减少鱼体氮排泄对减轻工厂化养殖废水处理负荷、保持水环境稳定尤为重要。

关于海水养殖鱼摄食特征及其与水质的关系,国际上尚未有专门研究;我国集约化流水养殖对此也研究较少,只对鲢(杨振才等,1993)和暗纹东方鲀(严美娇等,2005)进行过研究,而国内工厂化封闭循环水养殖在这方面的研究尚属空白。

半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis* Günther)属鲽形目(Pleuronectiformes)、舌鲷科(Cynoglossidae),主要分布于渤海、黄海海域,是我国北方一种新兴的优

良养殖品种(姜言伟等,1993)。目前国内对半滑舌鲷的研究主要集中在野生种驯化(孙中之等,2005)、生物学特性(徐勇等,2006)、集约化流水养殖试验(黄大宏和余海,2007)和苗种培育技术(柳学周等,2006)等方面。

本研究在工厂化封闭循环水养殖条件下,对半滑舌鲷的生长和摄食规律及其与氨氮等污染物排放的关系进行试验研究,为其清洁生产、精准饲喂和水质调控提供科学依据与技术参考,也希望本研究结果对水产动物生态工程化养殖和可持续生产等有所帮助。

1 材料与方法

1.1 试验设计与分组

在封闭循环水养殖条件下,进行 6×2 双因素随机动物试验,即6个体重阶段(45~550 g)和2个密度水平(高密度比正常密度提高20%~30%),正常密度参考养殖车间实际养殖密度、鱼个体体重及养殖水箱体积综合确定,共形成12个处理,每处理3个重复,具体分组情况见表1。

试验用鱼来自天津海发珍品养殖有限公司半滑舌鲷养殖车间,共345尾,按体重和密度设计分组后放入养殖水箱,适应驯化7 d待摄食正常后,开始试验。

1.2 养殖条件

养殖试验于2008年5月31日~6月13日在天津海发珍品养殖有限公司进行,共持续44 d。养殖

收稿日期:2009-04-03

基金项目:国家高新技术研究发展计划(863计划)重点项目(2006AA100305)。

通讯作者:李勇,1960年生,博士,研究员,研究方向为水产动物营养与饲料学。E-mail:lyzhyh@hotmail.com

作者简介:王华,1982年生,山东临沂人,硕士研究生,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:wanghua82@126.com

表1 试验设计与分组情况
Tab.1 Experiment design and grouping

组别 Grouping	A	B	C	D	E	F
个体重/g Body weight	44.7±1.0	89.6±1.6	190.6±1.7	289.3±1.4	432.6±5.7	546.3±10.6
正常密度/kg·m ⁻² Normal density	2.43±0.05	3.65±0.05	5.8±0.06	5.84±0.03	5.77±0.06	5.58±0.13
高密度/kg·m ⁻² High density	3.13±0.08	4.79±0.09	7.03±0.03	7.79±0.04	7.29±0.17	7.28±0.08
高密度增加率/% Adding ratio	29	31	21	33	26	31

注:表中数据形式均为“平均值±标准差”。

Notes: Results in the table are given as mean±standard error.

水箱规格为 65.12 cm×45 cm×58 cm,底面积 0.293 m²,水深保持(30±2) cm。养殖水箱与养殖车间封闭循环水系统相连,水交换量 110%/h。养殖期间水温 21~22℃,盐度 22~23,溶氧 8~10 mg/L。养殖车间进行遮光处理。

1.3 饲料与日常管理

试验采用进口优质海水鱼膨化饲料,根据试验用鱼体重阶段,使用对应规格的饲料。每天投饲 3 次,投饲时间为 10:00、16:00、22:00,每次均饱食投喂,投喂 40 min 后记录剩余饲料颗粒数,乘以饲料颗粒平均重作为剩余饲料重量,虹吸出残存饲料,准确记录摄食量。发现死鱼后及时捞出称重,以备用来计算饲料系数。

1.4 指标测定

试验开始和结束时,停食 1 d,称重,取其平均值,按公式计算日增重、增重率、特定生长率、日均摄食量、日摄食率和饲料系数。

1.4.1 生长指标和摄食指标

日增重/g·d⁻¹=(W₁-W₀)/T

增重率/%=100×(W₁-W₀)/W₀

特定生长率/%·d⁻¹=100×(LnW₁-LnW₀)/T

日均摄食率/%=100×Fd/[(W₁+W₀)/2]

日均摄食量 Fd/g·d⁻¹=Fc/(T·N)

饲料系数=Fc/[N×(W₁-W₀)]

式中,W₁、W₀ 分别指试验期间每尾鱼的平均末重、初重(g);T 是试验天数(d);Fc 指试验期间各重复总摄食量(g);Fd 指试验期间每尾鱼日均摄食量(g);N 指试验各重复鱼的数量(尾)。

1.4.2 水质指标 水质指标的测定在试验第 27 天进行。测定当天投喂 2 次,早晨投喂后用虹吸法吸出残饵,排空后注入新水,同时取水样作为空白,在饲喂后 3 h、6 h 和 9 h 分别取水样,测定水样中氨氮、亚硝氮、磷酸盐、化学耗氧量(COD)等水质指标,测定方法按照国标 GB 17378.4—1998 中海水监测规范进行。

为方便不同体重阶段间比较,将饲喂后 3~6 h 水质指标增加量针对体重和时间进行换算,并将结果称为氨氮相对浓度[mg/(kg·h)],表示单位体重半滑舌鳎单位时间里对应的氨氮含量。同时水质原始测定浓度相应称为氨氮绝对浓度(mg/L)。

氨氮相对浓度=(C₆-C₃)·V/(W·t)

式中,C₆、C₃ 为饲喂后 6 h 和 3 h 氨氮绝对浓度(mg/L),V 为水体体积(L),W 为重复中鱼总质量(kg),t 为时间(3 h)。亚硝氮、磷酸盐、COD 相对浓度计算公式与氨氮相同。

1.5 统计分析方法

所有指标数据用 SPSS 15.0 统计软件进行双因素方差分析,以 Duncan 法检验组间差异。

2 结果与分析

2.1 生长性能

试验半滑舌鳎生长性能结果见表 2。体重阶段极显著影响鱼的日增重和特定生长率(P<0.01),其中日增重随体重增大而持续增加,各组除 B 和 C 组之间无显著差异外均有显著差异;特定生长率随体重增大指标值基本上持续下降,从体重 191 g 开始下降程度较为平缓,体重大于 289 g 统计差异不显著(P>0.05),其中 A、B 和 C 组间,D 和 E 组间有显著差异;C 和 D 组间,E 和 F 组间没有显著差异。

密度因素对鱼的日增重和特定生长率均有显著影响(P<0.05),2 指标变化规律相同,出现高密度指标值基本上低于低密度的特征,但具体到各组后,只有 D 组的日增重和 B 组的特定生长率有显著差异(P<0.05),其它各组无显著差异。

体重和密度对半滑舌鳎日增重和特定生长率的交互作用均不显著(P>0.05)。

2.2 摄食指标

日均摄食率和饲料系数的结果见表 3。体重阶段对半滑舌鳎日均摄食率和饲料系数均有极显著影响(P<0.01)。日均摄食率随体重增加持续下降,

从体重 191 g 开始下降趋于平缓,各组除 A 组和 B 组之间外均有显著差异。饲料系数随体重增大持续上升,其中 B 和 D 组间,C、D 组分别和 E、F 组间有显著差异,而其它组间无显著差异。

密度因素对鱼的日均摄食率有极显著影响($P < 0.01$),对饲料系数没有显著影响($P > 0.05$)。各组高密度日均摄食率低于低密度,其中 B 组、C 组、D 组差异显著,饲料系数则相反,高密度值均高于低密度。体重和密度对日均摄食率和饲料系数均无显著交互作用。

试验期间半滑舌鲷日摄食量变化规律如图 1 和图 2 所示。密度因素对日摄食量的影响随试验天数增加逐渐增大,289 g 体重阶段表现极为明显;不同体重半滑舌鲷日摄食量均呈波浪式上升趋势。

表 2 体重和密度对半滑舌鲷生长特性的影响

Tab.2 The effect of body weight and stocking density on growth performance of *Cynoglossus semilaevis*

密度	组别	初重/g	末重/g	日增重/g·d ⁻¹	增重率/%	特定生长率/%·d ⁻¹
Density	Grouping	Initial BW	Final BW	Daily weight gain	Weight gain rate	Special growth rate
正常密度 Normal density	A1	45.13 ± 0.94	77.56 ± 1.97	0.73 ± 0.05 ^a	71.93 ± 6.2 ^b	1.23 ± 0.08 ^b
	B1	90.28 ± 1.35	169.03 ± 6.27	1.79 ± 0.17 ^{bc}	87.32 ± 9.8 ^a	1.42 ± 0.12 ^a
	C1	191.33 ± 1.98	283.52 ± 4.16	2.10 ± 0.13 ^{cd}	48.2 ± 3.3 ^c	0.89 ± 0.05 ^c
	D1	289.17 ± 1.64	418.13 ± 25.96	2.93 ± 0.61 ^c	44.62 ± 9.5 ^{cd}	0.84 ± 0.15 ^{cd}
	E1	433.07 ± 3.80	568.73 ± 12.99	3.08 ± 0.21 ^c	31.32 ± 1.9 ^d	0.62 ± 0.03 ^{efg}
	F1	552.00 ± 12.67	710.11 ± 30.26	3.59 ± 0.43 ^f	28.61 ± 2.9 ^d	0.57 ± 0.05 ^{fg}
高密度 High density	A2	44.22 ± 1.10	74.45 ± 4.57	0.69 ± 0.12 ^a	68.51 ± 13.2 ^b	1.18 ± 0.18 ^b
	B2	88.88 ± 1.68	154.46 ± 1.84	1.49 ± 0.07 ^b	73.85 ± 4.9 ^b	1.26 ± 0.06 ^b
	C2	189.82 ± 0.73	264.23 ± 11.76	1.69 ± 0.28 ^b	39.21 ± 7.6 ^{cd}	0.75 ± 0.11 ^{cde}
	D2	289.33 ± 1.46	390.88 ± 2.19	2.31 ± 0.07 ^d	35.09 ± 1.1 ^{cd}	0.68 ± 0.02 ^{def}
	E2	432.11 ± 8.19	568.00 ± 23.79	3.09 ± 0.37 ^c	31.41 ± 3.3 ^d	0.62 ± 0.06 ^{efg}
	F2	540.50 ± 5.91	679.17 ± 8.82	3.15 ± 0.14 ^{cf}	24.58 ± 1.7 ^d	0.50 ± 0.02 ^g

注:同一列数据肩注字母不同代表差异显著。
Notes: Data with different letters in the same column mean significant difference.

表 3 体重和密度对半滑舌鲷摄食和饲料系数的影响

Tab.3 Influence of body weight and stocking density on feed utilization of *Cynoglossus semilaevis*

密度	组别	日均摄食量/g·(d·尾) ⁻¹	日均摄食率/%	饲料系数
Density	Grouping	Feed intake	Feed intake ratio	Feed coefficient
正常密度 Normal density	A1	0.56 ± 0.04	0.92 ± 0.05 ^{ab}	0.81 ± 0.04 ^{cd}
	B1	1.22 ± 0.05	0.94 ± 0.03 ^a	0.68 ± 0.04 ^a
	C1	1.55 ± 0.13	0.65 ± 0.02 ^c	0.73 ± 0.02 ^{abc}
	D1	2.15 ± 0.17	0.61 ± 0.03 ^d	0.74 ± 0.10 ^{abc}
	E1	2.59 ± 0.07	0.52 ± 0.007 ^f	0.82 ± 0.04 ^{cd}
	F1	2.90 ± 0.10	0.45 ± 0.006 ^g	0.83 ± 0.004 ^{cd}
高密度 High density	A2	0.54 ± 0.05	0.91 ± 0.07 ^{ab}	0.80 ± 0.08 ^{bcd}
	B2	1.06 ± 0.03	0.87 ± 0.03 ^b	0.70 ± 0.06 ^{ab}
	C2	1.31 ± 0.06	0.58 ± 0.02 ^{de}	0.76 ± 0.10 ^{abcd}
	D2	1.90 ± 0.01	0.55 ± 0.002 ^{def}	0.80 ± 0.02 ^{bcd}
	E2	2.65 ± 0.11	0.53 ± 0.008 ^{ef}	0.86 ± 0.06 ^d
	F2	2.66 ± 0.06	0.43 ± 0.006 ^g	0.86 ± 0.01 ^d

注:同一列数据肩注字母不同代表差异显著。
Notes: Data with different letters in the same column mean significant difference.

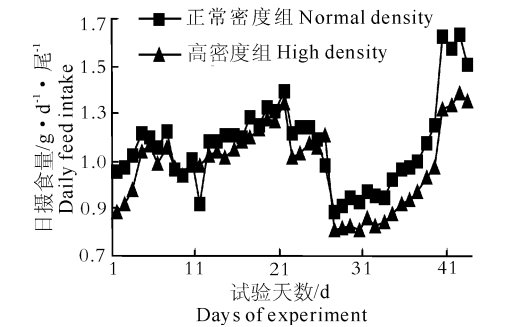


图 1 试验期间 90 g 半滑舌鲷摄食量日变化特征
Fig. 1 Daily feed intake changing trend of 90 g *Cynoglossus semilaevis*

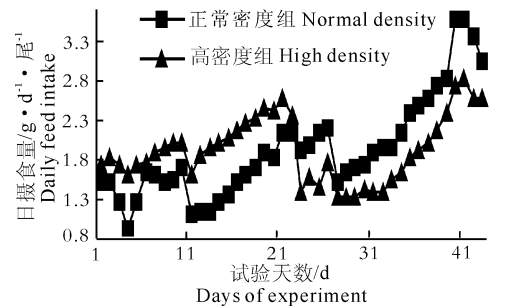


图 2 试验期间 289 g 半滑舌鲷摄食量日变化特征
Fig. 2 Daily feed intake changing trend of 289 g *Cynoglossus semilaevis*

密度对氨氮和 COD 相对浓度均有显著影响,对亚氮和磷酸盐无显著影响。其中 A 组至 D 组的氨氮和 COD 相对浓度为高密度低于低密度,从 E 组开始为高密度高于低密度。

双因素方差分析表明体重和密度对半滑舌鲷氨氮、磷酸盐和 COD 相对浓度的交互作用均达到显著水平,而对亚硝氮交互作用不显著。

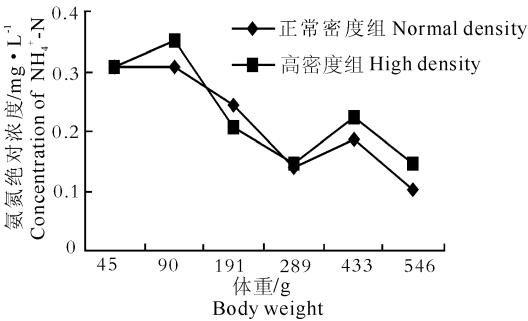


图 3 水体氨氮绝对浓度变化特征
Fig. 3 The concentration of ammonia in water

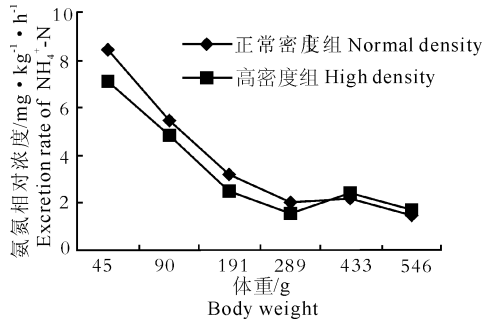


图 4 水体氨氮相对浓度变化特征
Fig. 4 The comparative concentration of ammonia in water

3 讨论

3.1 生长特征及规律

王波等(2003)研究表明,3 龄前大菱鲆日增重随体重增大而升高,日增重率则相反,随体重增大而降低,706 g 以后变化趋于平缓。苏柯等(2003)研究表明,在封闭循环水条件下,大菱鲆在 634 g 以后日增重率变化很小。本研究中,半滑舌鲷日增重随

表 4 体重和密度对半滑舌鲷水质指标相对浓度的影响

Tab. 4 Effect of body weight and socking density on the comparative concentration of water quality parameters

密度	组别	氨氮/mg · (kg · h) ⁻¹	亚硝氮/mg · (kg · h) ⁻¹	磷酸盐/mg · (kg · h) ⁻¹	COD/
Density	Grouping	NH ₄ ⁺ - N	NO ₂ ⁻ - N	PO ₄ ⁻	mg · (kg · h) ⁻¹
正常密度	A1	8.45 ± 0.27 ^a	0.57 ± 0.08 ^{abc}	0.74 ± 0.10 ^a	9.73 ± 1.34 ^a
	B1	5.45 ± 0.14 ^c	0.45 ± 0.07 ^{bc}	0.29 ± 0.10 ^{cd}	8.83 ± 1.63 ^{ab}
	C1	3.22 ± 0.14 ^e	0.56 ± 0.13 ^{abc}	0.16 ± 0.05 ^e	5.81 ± 1.10 ^{cd}
	D1	2.06 ± 0.19 ^g	0.51 ± 0.12 ^{abc}	0.16 ± 0.05 ^e	7.59 ± 1.45 ^{bc}
	E1	2.20 ± 0.19 ^{fg}	0.62 ± 0.16 ^{ab}	0.18 ± 0.07 ^{de}	4.06 ± 0.85 ^{de}
	F1	1.51 ± 0.10 ^h	0.47 ± 0.13 ^{bc}	0.35 ± 0.03 ^c	4.23 ± 0.95 ^{de}
高密度	A2	7.13 ± 0.33 ^b	0.38 ± 0.01 ^{cd}	0.52 ± 0.10 ^b	4.20 ± 0.70 ^{de}
	B2	4.85 ± 0.24 ^d	0.38 ± 0.04 ^{cd}	0.33 ± 0.05 ^c	6.05 ± 1.10 ^{cd}
	C2	2.48 ± 0.23 ^f	0.43 ± 0.13 ^{bc}	0.23 ± 0.02 ^{cde}	3.33 ± 0.78 ^e
	D2	1.59 ± 0.23 ^h	0.44 ± 0.11 ^{bc}	0.24 ± 0.06 ^{cde}	3.09 ± 0.97 ^e
	E2	2.46 ± 0.21 ^f	0.70 ± 0.18 ^a	0.15 ± 0.03 ^c	4.08 ± 0.76 ^{de}
	F2	1.69 ± 0.08 ^h	0.62 ± 0.08 ^{ab}	0.31 ± 0.09 ^{cd}	4.41 ± 0.83 ^{de}

注:同一列数据肩注字母不同代表差异显著。
Notes: Data with different letters in the same column mean significant difference.

表 5 几种鲆鲽幼鱼特定生长率、摄食率比较

Tab.5 Special growth rate and feeding rate of the 6 flatfish species

种类 Species	体重范围/g Body weight	特定生长率/% · d ⁻¹ Special growth rate	日摄食率/% Feed intake ratio	参考文献 Reference
大菱鲆 <i>Scophthalmus maximus</i>	151 ~ 280	0.84		李勇等,2006
大菱鲆 <i>Scophthalmus maximus</i>	53 ~ 96	1.75	1.23	J. Person et al,2002
大菱鲆 <i>Scophthalmus maximus</i>	69 ~ 127	1.15	1.15	Erich et al,2003
莫斑牙鲆 <i>Paralichthys lethostigma</i>	41 ~ 99	1.49		史会来,2008
犬齿牙鲆 <i>Paralichthys dentatus</i>	2.6 ~ 135	3.06		李秉钧等,2007
大西洋庸鲽 <i>Hippoglossus hippoglossus</i>	20 ~ 91	1.57	0.92	Gywnne et al,2005
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	88 ~ 120	1.51		Iwata,1994
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	90 ~ 169	1.42	0.94	本文研究
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	191 ~ 283	0.89	0.65	本文研究

体重增大而升高,特定生长率随体重增大而持续降低,289 g 以后指标值间没有显著差异,变化趋势与大菱鲆(王波等,2003;苏柯等,2003)相近。说明随体重增大绝对生长率在增加,相对生长率在下降。

已有研究发现,45 g 左右的犬齿牙鲆和大菱鲆日增重分别为 1.8 g/d 和 0.8 g/d;430 g 左右犬齿牙鲆和大菱鲆日增重分别为 3.2 g/d 和 4.87 g/d(王波等,2003;李秉钧等,2007)。比较发现,本研究 45 g 半滑舌鲷日增重(0.77 g/d)低于犬齿牙鲆,与大菱鲆接近;430 g 时(3.08 g/d)则低于大菱鲆,与犬齿牙鲆接近。从表 5 看出,本研究中半滑舌鲷特定生长率比相近体重的褐牙鲆(Iwata,1994)和犬齿牙鲆(李秉钧等,2007)低,与大菱鲆(李勇,2006;Rueyt et al,2002;Han et al,2003)、庸鲽(Schnaittacher et al,2005)和莫斑牙鲆(史会来等,2008)接近。与室内流水养殖半滑舌鲷(22 ~ 302 g)(黄大宏和余海,2007)相比,本试验鱼生长速度均较快而稳定,原因是封闭循环水养殖中水质和水温不受外界环境和季节变化的影响,提供了稳定的生长环境。

黄宁宇等(2005;2006)研究表明,瓦氏黄颡鱼和白斑狗鱼的日增重、特定生长率和摄食率随养殖密度的增大而显著降低;区又君等(2008)研究表明,密度大于阈值后紫红笛鲷摄食量与密度呈负相关。本试验中鱼的增重率、特定生长率、日摄食率均受密度因素的显著影响,各指标值随密度升高而降低,与前人研究结果(庄平等,2002;黄宁宇等,2005;黄宁宇等,2006;区又君等,2008;)一致。说明在工厂化常规水质条件下(不增加溶解氧等),高密度饲养不利于生长性能的发挥。

3.2 摄食特征及规律

杨振才等(1993)研究表明,鲤(16.7 ~ 302 g)摄食率随体重增大而短暂上升后持续下降,90 g 时

最高。黑鲮(26.6 ~ 215.9 g)的相对摄食率随体重先升后降,在体重 40 g 时最高(张波等,1999)。投喂湿颗粒饲料时暗纹东方鲀(12.3 ~ 213 g)相对摄食率随体重的增加而下降,由 12.6% 降到 2.6%,超过 40 g 后变化趋于平缓(严美娇等,2005)。目前尚未见到关于比目鱼摄食规律研究的报道。本研究表明半滑舌鲷日均摄食量随体重增大而上升,日均摄食率则持续降低,其中 45 g 和 90 g 组无显著差异,191 g 以后变化趋于平缓。此结果与对鲤(杨振才等,1993)、黑裙(张波等,1999)等研究的特征相近。摄食率随体重上升而下降,说明低体重阶段幼鱼代谢率高、生长快、相对摄食率高(谢小军和孙儒泳,1992);而摄食率短期上升,原因是在试验相同投喂频率条件下,低体重阶段幼鱼摄食相对不足,而实际养殖生产中幼鱼饲喂次数和总量均较高,摄食率和生长率随体重上升均会持续下降。

本研究表明,45 ~ 77 g 半滑舌鲷摄食率最高,为 0.92%,明显低于鱼类常用的 2% ~ 5% 投饲率(李爱杰,1994;吴锐全,2005;易力和陈万光,2006);与前人研究比较发现,其摄食率不但低于相同体重阶段的罗非鱼(2.9%)(Duy et al,2008)和鲤(2.41%)(杨振才等,1993),而且低于鲆鲽类中的大菱鲆(1.41%)(Imsland et al,2001)和星斑川鲽(1.63%)(冯新等,2008),与大西洋庸鲽(0.92%)(Schnaittacher et al,2005)接近。这一新发现对以往常规鱼类投饲率范围的正确性提出了质疑,也为现代精准饲喂和清洁生产提供了科学依据。因此,为了正确指导鱼类养殖实践、节约饲料资源、降低养殖成本、减少过量投喂造成人为水质污染等,建议根据不同种类、不同养殖模式等因素,重新修定我国鱼类养殖投饲率推荐范围。

苏柯等(2003)研究表明大菱鲆(10.4 ~ 847.0 g)饲料系数随体重增加而增大,从 0.57 增加到

0.97。本试验中,半滑舌鳎饲料系数随体重增大而上升,从0.68增加到0.86,趋势与大菱鲆研究(苏柯等,2003)相似,同时饲料系数也明显低于室内流水养殖半滑舌鳎(22.5~302 g)的0.89(黄大宏和余海,2007),达到了比目鱼养殖饲料系数的世界先进水平(0.8左右)。表明我国工厂化循环水养殖半滑舌鳎的效果明显优于室内流水养殖模式,也证明本试验所在的以生物滤器为核心的循环水处理系统为养殖提供了优质、稳定的水环境,从而保证了动物较高生产性能的发挥。

本研究发现,密度因素对日摄食量的影响随试验天数增加逐渐增大。由图2可以看出,试验前期2种密度摄食量接近,特别是289 g鱼正常密度摄食量甚至低于高密度,但随试验天数增加,密度效应逐渐显现,特别是20 d以后高密度摄食量均明显低于正常密度,并且差距越来越大,表明高密度养殖对动物采食和生长的副作用起初并不明显,随着时间的推移不断加大,副作用越来越显著。可能的原因是,随着时间的延续,高密度造成动物运动减少、对溶氧等竞争加剧、水体有害物浓度增加、机体代谢异常、体内耗能提高等,从而导致动物出现亚健康、生长减缓、采食降低。

此外,半滑舌鳎日摄食量随试验天数增加呈波浪式上升,这与前人研究(王瑁和丘书院,2000;严美娇等,2005)相符,表明本研究试验误差较小。

黄宁宇等(2005)的研究表明,密度对瓦氏黄颡鱼饲料系数无显著影响,但区又君等(2008)、庄平等(2002)研究表明,鱼类饲料系数随密度变大而变大。本试验中,密度因素对饲料系数影响统计分析差异不显著,但出现随密度升高而升高的趋势。其确切特征或规律有待进一步研究。

3.3 水质变化特征及规律

鲈鳎鱼类中,牙鲆(张兆琪等,1997;Liu et al, 1997)和大菱鲆(唐贤明等,2003)水中氨氮含量变化研究已有报道,体重阶段对水质氨氮含量有显著影响,氨氮相对浓度随体重增大而持续下降。本文研究表明,氨氮相对浓度受到体重显著影响,随个体体重的升高持续降低,这一结果与上述大菱鲆(唐贤明等,2003)、牙鲆(张兆琪等,1997)相一致。

本研究中,氨氮等水质指标的绝对浓度随养殖密度增加而升高,说明提高养殖密度在增加单位体积产量的同时,也加重对水质的污染。密度对氨氮和COD的相对浓度也有显著影响,其中433 g以前为高密度低于低密度,而从433 g以后则相反,原因

是高密度条件下鱼日均摄食率显著低于低密度,而摄食和水中氨氮含量密切相关,造成低体重阶段高密度的氨氮相对浓度低,在高体重阶段,由于密度和体重存在极显著交互作用($P < 0.01$),高密度促进了高体重鱼的氨氮相对浓度的提高,使高密度指标值高于低密度。说明在养殖实践中,低体重阶段可以采用适当较高的养殖密度,而高体重阶段则不宜提高养殖密度。

唐贤明等(2003)针对氨氮排泄规律的研究表明,33、130和264 g大菱鲆摄食后氨氮相对浓度高峰值分别为7.8、5.9和4.5 mg/(kg·h)。本研究中相应体重阶段鱼的氨氮相对浓度在摄食后3~6 h达到高峰,指标值分别为8.45、5.45和2.06 mg/(kg·h),与大菱鲆研究结果接近(唐贤明等,2003)。说明养殖海水比目鱼的氨氮排泄规律基本一致和较为稳定。

4 小结

(1)日均增重、日均摄食量、饲料系数等绝对指标与体重阶段呈正相关;氨氮、COD等水生态指标浓度与体重阶段呈负相关。半滑舌鳎生长、摄食、水质变化特征与其它水产动物的一般规律基本符合。

(2)在工厂化常规水质条件下,高密度不利于鱼类的生长、摄食和降低水体有害物,其副作用起初并不明显,随着试验时间的推移而不断加大。然而,根据密度因素对饲料系数和水体氨氮的影响特征,低体重阶段(400 g以下)适当采用较高密度养殖也是可行的。

(3)本研究新发现半滑舌鳎的摄食率为0.43%~0.92%,对常规鱼类投饲率推荐范围(2%~5%)提出了质疑,也为现代海水养殖精准饲喂和清洁生产提供了科学依据。因此,为了正确指导鱼类养殖实践、节约饲料资源、降低养殖成本、减少过量投喂造成人为水质污染等,建议根据不同种类、不同养殖模式等因素,重新修定我国鱼类养殖投饲率推荐范围。

参考文献:

- 冯新,刘建立,董玉波,等. 2008. 不同盐度对星斑川鲈(*Platichthys stellatus*)幼鱼摄食生长的影响[J]. 饲料工业, 29(24):22-25.
- 黄大宏,余海. 2007. 半滑舌鳎工厂化养殖技术的初步研究[J]. 现代渔业信息, 22(8):17-20.
- 黄宁宇,夏连军,么宗利. 2005. 养殖密度和温度对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长影响实验研究[J]. 浙江海洋学院学报, 24(3):208-212.

- 黄宇宇,夏连军,么宗利. 2006. 养殖密度和温度对白斑狗鱼在设施养殖中生长的影响[J]. 水产学报, 30(1):76-80.
- 姜言伟,万瑞景,陈瑞盛. 1993. 渤海半滑舌鳎人工育苗工艺技术的研究[J]. 海洋水产研究, (14):25-33.
- 李爱杰. 1994. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京:中国农业出版社:188-192.
- 李秉钧,王波,张桂军. 2007. 室内工厂化养殖犬齿牙鲆的生长特性[J]. 海洋水产研究, 28(5):30-35.
- 李勇,王优军,王雷,等. 2006. 不同添加剂及其组合对大菱鲆生长性能与水环境的影响[J]. 饲料工业, 27(10):25-28.
- 刘鹰,杨红生,张福绥. 2004. 封闭循环水工厂化养鱼系统的基础设计[J]. 水产科学, 23(12):36-38.
- 刘鹰. 2006. 欧洲循环水养殖技术综述. 渔业现代化, (6):47-49.
- 柳学周,庄志猛,马爱军,等. 2006. 半滑舌鳎苗种生产技术的开发研究[J]. 海洋水产研究, 27(2):17-24.
- 鹿叔铎,李鲁晶,李成林. 2008. 海水工厂化养殖节能减排增效调研报告[J]. 齐鲁渔业, 25(10):45-47.
- 区又君,勾效伟,廖锐. 2008. 紫红笛鲷幼鱼对集群密度和投饵定额的摄食反应[J]. 动物学杂志, 43(3):34-38.
- 史会来,楼宝,毛国民. 2008. 舟山牙鲆、杂交牙鲆、青岛牙鲆和莫斑牙鲆对比养殖研究[J]. 水产养殖, (3):9-11.
- 苏柯,张和森,肖保强. 2003. 封闭循环海水系统大菱鲆高密度养殖研究[J]. 渔业现代化, (5):9-12.
- 孙中之,柳学周,庄志猛. 2005. 野生半滑舌鳎的驯养技术[J]. 海洋水产研究, 26(6):6-10.
- 唐贤明,田景波,潘鲁青,等. 2003. 大菱鲆正常代谢水平及节律性的研究[J]. 海洋水产研究, 24(4):7-12.
- 王波,雷霖霖,张榭令,等. 2003. 工厂化养殖的大菱鲆生长特性[J]. 水产学报, 27(4):358-363.
- 王瑁,丘书院. 2000. 花尾胡椒鲷幼鱼的生长率及生长耗能的研究[J]. 海洋科学, 24(4):9-11.
- 吴锐全. 2005. 水产养殖中的饲料投喂[J]. 科学养鱼, (1):65-66.
- 谢小军,孙儒泳. 1992. 南方鲈的最大摄食率及其与体重和温度的关系[J]. 生态学报, 12(3):225-231.
- 徐勇,张修峰,曲克明. 2006. 不同溶氧条件下亚硝酸盐和氨氮对半滑舌鳎的急性毒性效应[J]. 海洋水产研究, 27(5):28-33.
- 严美娇,李忠杰,吴旭. 2005. 体重对暗纹东方鲀摄食影响的研究[J]. 水产养殖, 26(5):5-7.
- 杨振才,谢小军,孙儒泳. 1993. 温度和体重对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)最大摄食率和消化率的影响[J]. 河北师范大学学报:自然科学版, (4):68-72.
- 易力,陈万光. 2006. 现代化养殖中配合饲料投喂技术[J]. 中国水产, (3):64-66.
- 张波,孙耀,郭学武,等. 1999. 黑鲟的最大摄食率与体重和体重的关系[J]. 海洋水产研究, 20(2):82-85.
- 张兆琪,张美昭,李吉清,等. 1997. 牙鲆鱼耗氧率、氮排泄率与体重及温度的关键[J]. 青岛海洋大学学报, 27(4):483-489.
- 庄平,李大鹏,王明学. 2002. 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响[J]. 应用生态学报, 13(6):735-738.
- Duy A T, Schrama J W, Dam A A V, et al. 2008. Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. Aquaculture, 275:152-162.
- Ham E H V, Berntssen M H G, Imsland A K, et al. 2003. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. aquaculture, 217:547-558.
- Imsland A K, Foss A, Gunnarsson S, et al. 2001. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Aquaculture, 198:353-367.
- Iwata. 1994. Effects of temperature on growth of Japanese flounder [J]. Fisheries Science, 60:527-531.
- Liu H J, Sakurai Y, Munehara H. 1997. Effect of feeding time on oxygen consumption and ammonia excretion by the flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. Suisanzoshoku, 45:81-86.
- Ruyet J P L, Pichavant K, Vacher C, et al. 2002. Effects of O₂ supersaturation on metabolism and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. aquaculture, 205:373-383.
- Schnaittacher G, King V W, Berlinsky D L. 2005. The effects of feeding frequency on growth of juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus Hippoglossus* L. [J]. Aquaculture Research, 36:370-377.

(责任编辑 杨春艳)

The Feature and Rule of Change of Growth and Feed Intake of
Cynoglossus semilaevis and Water Quality in Industrial
Culture with Recirculation Aquaculture System

WANG Hua, LI Yong, CHEN Kang, XIA Su-dong, WANG Mei-qin, SUN Guo-xiang

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

Abstract: The 6 × 2 bi-factor random experiment was conducted to investigate the effect of body weight (6 groups, 45 ~ 550 g) and stocking density (two levels, normal and high-added 20 ~ 30% on normal level) on growth performance, feed intake and water quality for *Cynoglossus semilaevis* Günther intensively cultured in recirculation aquaculture system for 44 d. Totally 345 individuals of fish were randomly allotted into 12 treatments with triplicate per treatment. The results shown that: (1) daily weight gain, daily feed intake and FCR were positively correlated to body weight, but SGR and daily feeding rate negatively; the comparative concentration of water quality parameters (NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, COD, PO₄⁻) also negatively; (2) under the condition of general water quality, high stocking density resulted in a decrease in growth and intake of the fish, and an increase in the content of harmful waste in water; (3) in this study it is found that daily feeding rate (0.43% ~ 0.92%) was significantly lower than the conventional one (2% ~ 5%) recommended by previous studies; (4) under conditions of this experiment, the SGR of *C. semilaevis* was (1.42% ~ 0.50%)/d, the FCR 0.68 ~ 0.86, the ammonia concentration in water 8.45 ~ 1.51 mg/(kg · h).

Key words: *Cynoglossus semilaevis*; Industrial culture; Growth characteristics; Feed intake; Water quality