

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16315

温度对大海马摄食行为及生长速率的影响

牟金婷¹, 谢尚端², 雍朋政², 孙金辉², 徐永健¹, 李景¹

1. 宁波大学 应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211;

2. 天津农学院 天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津 300384

摘要: 选取体质良好、活力强的大海马(*Hippocampus kuda* Bleeker), 体重($3.075 \text{ g} \pm 0.16 \text{ g}$)、体全长($11.55 \text{ cm} \pm 0.31 \text{ cm}$)。设置 18℃、23℃、28℃ 3 个实验组和 1 个对照组(CT 组: 自然变温), 每组 3 个重复, 实验周期 28 d。结果显示, 大海马在 23℃ 时生长速率最快, 摄食活跃; 28℃ 大海马反应最迅速($5.8 \text{ s} \pm 0.74 \text{ s}$), 摄食量最大($153.92 \text{ g} \pm 10.33 \text{ g}$), 活动频繁, 泳速大; 而 18℃ 和自然变温条件下对食物的反应不敏感, 多缠绕在附着物上, 摄食时呈聚集式分布; 23℃ 和 28℃ 时, 相对活跃, 会主动游向饵料摄食, 摄食效率较高。综上所述, 温度的改变对大海马的生长速率及摄食行为均有一定影响; 在适宜温度下, 大海马的活力大, 摄食量多, 生长速率相对较快。本研究旨在为大海马饵料开发和养殖环境优化提供科学数据。

关键词: 温度; 生长速率; 摄食行为; 大海马

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)02-0355-07

在水生环境中, 温度会影响饵料在水体中的分布, 同时也会对鱼类体内食物转化效率以及消化酶的活力带来影响, 进而影响鱼类的摄食和运动等^[1]。水温不适, 鱼类会表现出行动迟缓^[2]、摄食减少^[3]等现象。另有研究发现, 温度对摄(捕)食速率有显著影响; 摄食是由一系列行为动作组成的, 而每一个动作的产生都是多个器官生理机能协调的表现^[4]。因此, 有报道认为, 影响摄食速率的因素可能主要与动物的生理功能有关, 与温度非直接关系^[5]; 但也有报道, 在温度骤变情况下, 温度会直接影响生物的应激反应速率^[6]。长期处于温度变化环境中的生物, 会适当地调节自己的摄食行为, 如调节捕食者的活力和被捕食者的逃跑速率等^[7-8]。了解温度对摄食者与食物间的互动关系及在摄食过程中对摄食者的摄食行为影响等, 在水产养殖过程中有很大应用价值。

摄食行为研究开展可以为水生生物养殖过程

中的投饵策略^[9]和适宜养殖环境条件构建提供帮助, 在开发饵料资源^[10], 减少水体污染等方面提供依据。大海马(*Hippocampus kuda* Bleeker)为珍稀的小型鱼类, 是重要的中药材, 素有“南方人参”的美誉, 海马的人工养殖在国内外均有研究。目前有较多对海马养殖适宜环境和条件的研究, 涉及温度因素有: 对海马性腺成熟^[11], 幼体成活率^[12], 生长速率^[13]等方面, 但未见有工作涉及从行为生态学角度探讨温度对大海马摄食行为与生长速率的影响。作者开展温度实验, 考察不同温度下大海马的摄食行为及生长差异情况, 分析与比较各处理中海马的行为差异, 为大海马的人工养殖技术发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验海马来来源与暂养

实验用大海马采自宁波大学海马养殖研究实

收稿日期: 2016-10-31; 修订日期: 2016-12-22.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41276123); 国家星火计划面上项目(2012GA701048); 教育部科技研究重大重点项目(212070); 浙江省新苗计划项目(2016R405090); 天津市科技计划项目(15ZXZYN00070).

作者简介: 牟金婷(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向为行为生态学. E-mail: 1419363688@qq.com

通信作者: 徐永健, 教授. E-mail: xuyongjian@nbu.edu.cn

实验室繁殖和培育的同一批个体种群。实验前,大海马统一暂养于室内 D(80 cm)×H(100 cm) 的循环水养殖系统的养殖大圆缸中,养殖用海水盐度 24~25,室温,充氧 DO>5 mg/L。每天上午吸污后补充少量海水。池内放置细竹枝作为海马休息时的缠绕物。饵料为冰鲜糠虾,每天 9:00 和 14:00 分别投喂 1 次。实验用大海马都是当年刚生长成熟个体,未进行过交配。

1.2 实验方法与设计

选取体质良好,活力强的大海马 64 尾:体重 (3.075 g±0.16 g)、体全长(11.55 cm±0.31cm)及饱满度(condition factor, CF) (0.0019±0.00014),将海马置于 8 个蓝色养殖大缸中,缸内加海水 80 cm,充气。依孙彬等^[14]设置 4 个温度处理组,分别为:(18±0.5)℃、(23±0.5)℃、(28±0.5)℃实验组和 1 个自然变温对照组(CT),实验各组设 3 个重复。

将大海马放入实验缸,开始时水温与其原环境一致,然后按 1~2℃/24 h 速率间隔 1 d 升温至实验温度,然后使各组海马适应该温度 7 d 后开始正式实验,变温组水温随自然温度变化而变化,在 20~25℃的范围内波动,实验共进行 28 d。实验期间,每隔 7 d 进行 1 次体全长和体重测量,根据测量结果确定各处理组的投喂量,每天按体重的 10%/d 投喂;记录每天的投喂量并观察摄食情况,及时取出剩余饵料,65℃烘干称重来校正实际摄食量(g)。每个缸放置 8 尾海马,光照周期与自然周期一致。实验期间,各缸内的水温由艾柯(300 W)加热棒(艾柯公司,上海,中国)控制,温度波动±0.5℃,溶氧大于 5 mg/L;每天水循环 1 次,换水量为总容积的 40%,换水前后温差不超过 1℃。采用 2 台 Sony-220RE 摄像机进行拍摄,仔细观察比较分析大海马的摄食行为。实验涉及有关数值的计算公式如下:

特定生长率 $SGR = [(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)] \times 100\%$;

饱满度 $CF = W/L^3$ 。

式中, W_1 、 W_2 分别为时间 t_1 、 t_2 时的平均体重(g), W 、 L 分别代表体重和体长(cm)。

摄食量=Σ(每日的投喂量-残余量);

反应时间=从饵料碰到水面开始计时到海马作出响应(眼睛聚焦饵料及头转向饵料)为止的时段;

摄食速率=从投饵后开始,统计海马在摄食区域内摄食糠虾的量,同时记录在摄食区域的停留时间,摄食速率=摄食糠虾重量(g)/停留时间(min)。

1.3 统计分析

采用 ANOVA 比较与分析大海马体长、体重及测定生长指标,采用 Duncan 检验差异情况,使用 Correlate 分析摄食量、体重、体长之间相关性,以上检验皆采用 SPSS13.0 软件包进行处理。数据结果采用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同温度下大海马的摄食差异比较

2.1.1 摄食行为差异 CT 组与 18℃组,大海马活动能力都较低,对饵料敏感性差,摄食时呈聚集式分布,两组间摄食行为差异不显著($Q \leq 2.56$, $P > 0.05$)。23℃组,摄食前海马都独立分布,投饵后身体挺直地游向饵料;摄食后,回到缠绕区休息。28℃组,大海马反应迅速,活动频繁,泳速快;看到饵料后,背鳍、腹鳍剧烈运动快速游向饵料,并随着饵料下沉而集中于缸底部进食;摄食后,也回到各自休息区。各实验组的海马摄食行为特征描述见表 1。

2.1.2 行为特征参数比较 用总摄食量、摄食速率以及对饵料的反应时间长短作为参数反映温度对大海马摄食行为的影响(表 2)。随着水温的增加,大海马对冰鲜糠虾的反应时间大大缩短,28℃时的反应时间最少,仅为(5.8±0.74) s;其次,23℃为(14.2±1.46) s,18℃组与 CT 组都在 20 s 以上,后两者间差异不显著($P > 0.05$)。而从海马摄食糠虾速率看,28℃组也是最快的,达到(0.031±0.002) g/min;随着水温降低,海马摄食糠虾的速率也在逐渐减少,CT 组和 18℃组、23℃组以及 28℃组间的差异显著($P < 0.05$)。从总摄食糠虾量(28 d)上看,28℃组最多,为(153.92 ±10.33) g;各组摄食量大小依次为 28℃组、23℃组、18℃组、CT 组,各组间差异显著($P < 0.05$)。

2.1.3 摄食量的差异 图 1 为实验期间各处理组中海马的各周平均摄食量变化。从时间上看,从第 1 周到第 4 周,各处理组中海马的摄食量都有

表 1 不同温度下处理中海马的摄食行为描述
Tab. 1 Feeding behavior at different temperatures

温度 temp	摄食行为描述 description of feeding behavior		
	投饵前 before feeding	摄食中 feeding	摄食后 after feeding
CT	停留在缸底, 尾部卷曲在缠绕物上或同类身体上, 个体间呈聚集式分布	敏感度低, 微有背鳍游泳行为, 频率低, 摄食时多个个体相互缠绕, 身体不断扭转	回缠绕物上, 个体间逐渐分开依附在缠绕物上, 整体仍呈聚集式分布
18℃	停留在缸底, 个体之间尾部多互相缠绕, 呈聚集式分布	敏感度不高, 多在底部摄食, 个体之间有缠绕现象	回缠绕物上, 整体呈聚集式分布
23℃	个体都独立分布, 依附缠绕物	相对活跃, 在底部摄食, 身体挺直游向饵料; 摄食时有相互缠绕现象	回到缠绕区, 分布离散
28℃	个体都独立分布, 依附缠绕物	反应迅速, 游到中上层抢食; 泳速快, 依靠背鳍、腹鳍快速游向饵料	回到缠绕区, 依附缠绕物, 分布较离散

注: CT – 自然变温组.
Note: CT–water temperature changed with the environment.

表 2 不同温度下大海马摄食行为特征参数比较
Tab. 2 Comparison of the feeding behavior parameters at different temperatures

指标 indicator	处理组 treatment group			
	CT	18℃	23℃	28℃
总摄食量/g food intake	52.62±5.48 ^d	66.94±8.72 ^c	102.53±11.01 ^b	153.92±10.33 ^a
反应时间/s reaction time	23.4±1.01 ^c	22.6±1.65 ^c	14.2±1.46 ^b	5.8±0.74 ^a
摄食速率/(g·min ⁻¹) feeding rate	0.019±0.004 ^a	0.021±0.003 ^b	0.027±0.003 ^d	0.031±0.002 ^c

注: 同行数据上标 a, b, c, d 表示各处理组间差异显著($P<0.05$). CT – 自然变温组.
Note: Within the same line values with different letters were significantly different ($P<0.05$). CT–water temperature changed with the environment.

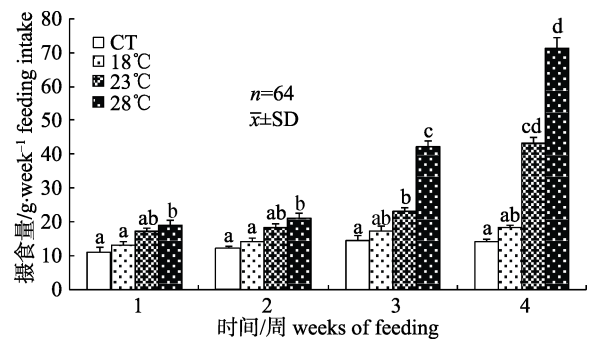


图 1 温度对大海马摄食量的影响
图中不同字母表示各处理组差异显著($P<0.05$).
CT – 自然变温组.

Fig. 1 Effect of temperature on food intake of seahorse in different treatments
The different letters mean significantly different ($P<0.05$).
CT–water temperature changed with the environment.

所增加, 且增加量差别明显, CT 组在 4 周内海马摄食略有增加, 但前后差异不大($P>0.05$); 18℃组在第 3 周时, 摄食量增加了约 10%, 之后基本保持稳定; 23℃组第 3 周增加了近 40%; 第 4 周增加了 78.5%, 该周消耗糠虾量为(44.19±6.77) g; 28℃

组, 在第 2 周时, 摄食量增加了约 30%, 第 3 周增加了近 81.3%, 第 4 周增量仍有增加, 但趋势有所放缓。在糠虾摄食总量上 28℃比 23℃组多了 50% 左右。

2.2 不同温度下大海马的生长差异

不同温度下, 各处理组中的大海马的体长、体重、特定生长率(SGR)及肥满度(CF)等的变化, 如表 3 所示。在不同温度下, 大海马的生长存在显著差异($P<0.05$)。CT 组的 SGR 基本为零; 18℃组稍好于 CT 组, 但远低于 23℃与 28℃处理组($P<0.05$)。后两组间, 23℃组的 SGR 比 28℃组都要高, 组间差异也较显著($P<0.05$)。从各组 CF 值看, 实验前后的 CF 变化是明显的, 除 CT 组减少外, 其余各组的 CF 都增加; 23℃与 28℃组与另两组间差异显著($P<0.05$), 而 28℃组的 CF 值在第 3 周时达到最大, 至第 4 周略有下降。各组死亡率指标也反映了温度的影响, CT 组与 18℃组的死亡率远高于 23℃与 28℃组, 23℃组无死亡, 28℃组死亡 1 尾(16 个样本)。

表 3 各处理大海马生长(体重、体长、CF)情况
Tab. 3 Total length, weight and condition factor in different treatments

n=64; $\bar{x} \pm SD$

指标 indicator	处理组 treatment group			
	CT	18℃	23℃	28℃
初始体长/cm initial body length	11.52±0.31	11.58±0.25	11.4±0.35	11.68±0.16
初始体重/g initial body weight	3.08±0.18	3.064±0.17	3.093±0.12	3.06±0.13
最终体长/cm final body length	11.95±0.26 ^a	12.45±0.43 ^b	14.26±0.59 ^c	14.47±0.34 ^c
最终体重/g final body weight	3.14±0.13 ^a	5.45±0.20 ^b	8.75±0.49 ^d	7.86±0.18 ^c
肥满度* CF*	0.002/0.0018 ^a	0.0019/0.0025 ^b	0.0021/0.0030 ^c	0.0019/0.0029 ^{bc}
特定增长率/% specific growth rate	0 ^a	1.55±0.42 ^b	3.92±0.67 ^c	3.13±0.56 ^c
死亡率/% mortality rate	31.25 ^a	18.75 ^b	0 ^d	6.25 ^c

注: *斜线前后的数值表示初始及结束时的 CF 值. CT—自然变温组. 同行数据上标不同字母表示各处理组间差异显著($P<0.05$).
Note: * indicates the initial and end value of CF. Within the same line, values with different letters were significantly different($P<0.05$).
CT—water temperature changed with the environment.

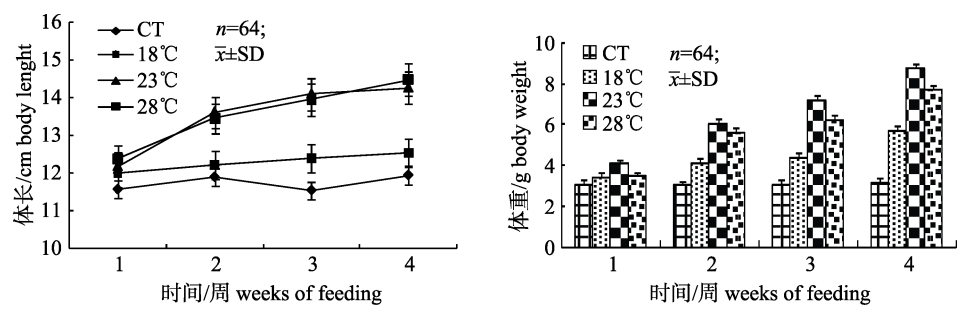


图 2 不同温度下大海马的体长和体重变化情况
Fig. 2 Variations of body length and body weight of seahorse at different temperatures
CT—water temperature changed with the environment.

各组间的体长和体重变化见图 2。CT 组中海马的体长和体重基本不变; 18℃组略微有所增加, 主要表现在体重上, 但增加量不大; 23℃与 28℃组中海马的体长和体重的增加量都很显著, 尤其是 23℃组, 体长与体重的增加最多。从体长变化看, 至第 2 周时, 23℃与 28℃组生长显著快于其他两处理组($P<0.05$), 而此两组间在整个实验中体长的差异不显著($P<0.05$); 从体重变化看, 23℃组于第 1 周结束时与 CT 组及 18℃组间差异显著($P<0.05$), 于第 3 周结束时高于 28℃组($P<0.05$)。

2.3 温度、摄食与生长间的相关性分析

从海马的体长、体重及摄食量与温度间的相关性分析看(表 4), 大海马的体长、体重和摄食量间的相关性极其显著($P<0.01$), 反映海马摄食量与其生长间的密切关系, 而摄食量的增加与实验温度也密切相关($P<0.05$), 即摄食量增加, 海马的生长速率也相应加快。此外, 表 4 中还显示, 不同温度

下, 海马的体长与体重的相关性也是显著的($P<0.05$)。

3 讨论

温度是影响鱼类摄食的重要环境因素。在温度对鱼类摄食的影响的研究中, 最适温度对于鱼类行为^[15]、生理变化^[16]等方面都有着重要意义。如果温度胁迫压力过大, 温度因子会引起鱼类行为改变, 体内生理生化指标发生紊乱, 免疫防御体系功能受到抑制, 死亡率增加^[17]。本研究中, 随着环境温度的升高, 大海马机体代谢逐渐增强, 对食物的敏感度不断提高(表现为反应时间缩短), 摄食区域也扩大到中上层水域, 同时摄食行为也较活跃, 说明温度对摄食行为是有重要影响的。在有关大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)^[18]、大西洋鳕(*Gadus morhua*)^[19]的研究中也发现类似结论, 温度对其摄食确有显著影响。这与温度不同程度地影响鱼类的感知、搜索及攻击和捕饵的能力, 不同

表 4 温度、摄食量与生长间的相关性分析
Tab. 4 Correlation analysis between temperature, food intake and growth

项目 item	温度/℃ temperature	体重/g body weight	体长/cm body length	摄食/(g·week ⁻¹) food intake
温度/℃ temperature	1	0.435	0.435	0.038
体重/g weight	0.435	1	0.966**	0.767**
体长/cm length	0.435	0.966**	1	0.771**
摄食/(g·week ⁻¹) food intake	0.386	0.767**	0.771**	1

注: “**”表示各水平之间相关关系水平($P<0.01$).
Note: “**” indicates the level of correlation between each indicator level ($P<0.01$).

温度可改变鱼类的摄食节律和摄食效率等观点^[20]一致。也符合温度不仅对鱼类摄食行为有影响,也影响鱼类的摄食速率理论^[21],结合温度比体形更大地影响鱼类的最大摄食量的论点^[22],可以推断,不管何种规格海马的养殖过程中,在适宜温度范围内水温高的处理要多投放饵料,保证海马生长的能量需求。有关东部食蚊鱼(*Gambusia holbrooki*)的研究,也得到类似的结论,在适宜的温度范围内,随着温度的升高,摄食效率随之增加,摄食量增大。本研究中,大海马在 28℃时摄食速率最大(0.0052 ± 0.0002) g/s,同时摄食量也是最大的。

温度在影响鱼类摄食的同时,对其生长速率也有一定的影响。目前,已有较多关于温度与鱼类生长关系的研究,总的来说,鱼类生长于温度的关系可以波形曲线表示:曲线的顶点即为鱼类的最适生长温度,温度升高或降低都会影响其生长速率和成活率^[17]。此外,关于温度对鱼类^[23]的能量研究也表明,温度的变化对鱼体内分泌系统、新陈代谢、生长发育都产生一定影响。当温度在适宜的范围内,外界对鱼类胁迫小,鱼体消耗小部分能量抵御外界不良环境,剩下较多能量用于生长,同时对营养物质吸收率较高,反之,用于生长能量比重降低,鱼体生长相对缓慢^[24]。本研究中,18℃和 CT 两低温度组的生长速率要显著低于其他两高温组。但在 28℃组海马的摄食量最大,特定生长率 SGR 却不是最大的。究其原因,这可能是海马在生长发育中,会最大限度地把富余的能量用在生长和繁殖上^[25],但这个能量分配与生理阶段有关,本研究中可能是随着温度的升高,28℃组中的海马花费更多能量用于有效地启动性腺的发育,相对于其他实验组,在能量支出方面略有增加^[11],即 28℃时大海马更早地进入到

性腺发育阶段,用于发育的能量支出可能要高于正常生长期,因而影响其生长速率。但是,鱼类的性腺发育可能要基于一定体重的增加,即鱼体的肥满度达到一定的比例才能开始,从 23℃与 28℃组的体重变化上略微能看出,28℃组大海马育儿袋等从第 3 周开展发育明显,体色变鲜亮明黄,23℃组于第 4 周时也有明显变化。而在 CT 组与 18℃,由于达不到一定的生长及 CF 值(肥满度指数),育儿袋发育不明显,但海马的有关临界 CF 值还需要进一步研究与分析。28℃组的 SGR 低于 23℃组可能还有一方面的原因,在实验过程中,随着水温的升高,水中溶氧量降低,而代谢速率在增加^[26]。对于温水鱼类来说,温度每升高 1℃,其代谢速率增加 10%,温度升高 10℃代谢速率增加 1 倍^[26]。因此水体温度升高时,鱼体反射性地增加呼吸频率以摄取足够的氧是调节机体维持较高代谢速率的有效途径,这些过程需要更多的能量^[27],摄食增加,但由于消耗更多,故其用于生长的能量相对于其他处理组可能少一些。对于大海马的研究^[28]也有类似结果,水温 26℃实验组生长率最高,但其摄食量与 29℃没有显著差异。

在海马养殖中,准确地掌握海马生长的最适温度不但可以节省时间和成本,还能提高海马的单位产量,而通过摄食行为的观察可较好地判断海马的适宜生长条件。近年来,大量学者开始重视对鱼类摄食行为的研究,这为养殖业中提高饵料利用效率、改进投饵方式、增加经济效益等提供了理论依据^[29-30]。一些研究者根据鱼类行为学特征,还提出了改进养殖技术的方案。因此,本研究从行为学角度分析,探究海马生长最适温度条件,对于海马养殖,实现经济效益提供了一定的基础依据。

参考文献:

- [1] Kieffer J D, Alsop D, Wood C M. A respirometric analysis of fuel use during aerobic swimming at different temperatures in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. J Exp Biol, 1998, 201(22): 3123–3133.
- [2] Jain K E, Farrell A P. Influence of seasonal temperature on the repeat swimming performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. J Exp Biol, 2003, 206(20): 3569–3579.
- [3] Britz P J, Hecht T, Mangold S. Effect of temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet[J]. Aquaculture, 1997, 152(1–4): 191–203.
- [4] Huse G, Fiksen Ø. Modelling encounter rates and distribution of mobile predators and prey[J]. Prog Oceanogr, 2010, 84(1–2): 93–104.
- [5] Oehmen A, Carvalho G, Lopez-Vazquez C M, et al. Incorporating microbial ecology into the metabolic modelling of polyphosphate accumulating organisms and glycogen accumulating organisms[J]. Water Res, 2010, 44(17): 4992–5004.
- [6] Brand A R. Chapter 12 Scallop ecology: Distributions and behavior[J]. Dev Aquac Fish Sci, 2006, 35: 651–744.
- [7] Alami-Durante H, Rouel M, Kentouri M. New insights into temperature-induced white muscle growth plasticity during *Dicentrarchus labrax*, early life: a developmental and allometric study[J]. Mar Biol, 2006, 149(6): 1551–1565.
- [8] Hall T E, Johnston I A. Temperature and developmental plasticity during embryogenesis in the Atlantic cod, *Gadus morhua*, L[J]. Mar Biol, 2003, 142(5): 833–840.
- [9] Liu Q, Ou Y J. Present status on feeding behavior studies in early development of fishes[J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(1): 71–75. [柳琪, 区又君. 鱼类早期发育阶段摄食行为研究现状[J]. 南方水产科学, 2006, 2(1): 71–75.]
- [10] Wang X A, Ma A J, Zhang X M, et al. A review on feeding behavior ecology of early development stage of marine fish[J]. Marine Sciences, 2006, 30(11): 69–74. [王新安, 马爱军, 张秀梅, 等. 海洋鱼类早期摄食行为生态学研究进展[J]. 海洋科学, 2006, 30(11): 69–74.]
- [11] Lin Q, Lu J Y, Gao Y L, et al. The effect of temperature on gonad, embryonic development and survival rate of juvenile seahorse, *Hippocampus kuda* Bleeker[J]. Aquaculture, 2006, 254(1–4): 701–713.
- [12] Woods C M C. Growth and survival of juvenile seahorse *Hippocampus abdominalis* reared on live frozen and artificial foods[J]. Aquaculture, 2003, 220(1–4): 287–298.
- [13] Wong J M, Benzie J A H. The effects of temperature, *Artemia* enrichment, stocking density and light on the growth of juvenile seahorses, *Hippocampus whitei* (Bleeker, 1855), from Australia[J]. Aquaculture, 2003, 228(1–4): 107–121.
- [14] Sun B, Chen S, Xu Y J. Effect of temperature mutations on the growth, body composition and enzyme activities of juvenile *Hippocampus Kuda*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(1): 67–72. [孙彬, 陈舜, 徐永健. 温度突变对大海马(*Hippocampus kuda*)幼体生长、组分及酶活力的影响[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(1): 67–72.]
- [15] Huang N Y, Xia L J, Yao Z L. The influence of stocking density and water temperature on growth in juvenile *Esox Lucius* raised in greenhouse[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(1): 76–80. [黄宁宇, 夏连军, 么宗利. 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, 2006, 30(1): 76–80.]
- [16] Jonsson B, Jonsson N. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow[J]. J Fish Biol, 2009, 75: 2381–2447.
- [17] Gao C R, Wang Y G, Ma A J, et al. The effects of temperature on growth, survival rate and proteases activities of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(6): 33–36. [高淳仁, 王印庚, 马爱军, 等. 温度对大菱鲂幼鱼生长、成活率和体内蛋白酶活性的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 33–36.]
- [18] Handeland S O, Imsland A K, Stefansson S O. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts[J]. Aquaculture, 2008, 283(1–4): 36–42.
- [19] Björnsson B, Steinarsson A, Arnason T. Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate[J]. Aquaculture, 2007, 271(1–4): 216–226.
- [20] Fu K K. The effects of temperature acclimation on the thermal tolerance, swimming capacity and growth performance of juvenile qingbo (*Spinibarbus sinensis*)[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2016. [付康康. 温度驯化对中华倒刺鲃幼鱼热耐受、游泳能力及生长性能的影响[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2016.]
- [21] Md Mizanur R, Yun H, Moniruzzaman M, et al. Effects of feeding rate and water temperature on growth and body composition of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf 1880)[J]. Asian Australas J Anim Sci, 2014, 27(5): 690–699.
- [22] Russell N R, Fish J D. Feeding growth of juvenile sea bass: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency[J]. J Fish Biol, 1996, 49: 206–220.
- [23] Fang J H, Tian X L, Dong S L, et al. Effects of temperature on the growth, biochemical composition and energy budget of tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* Gunther[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(1): 25–30. [房景辉, 田相利, 董双林, 等. 温度对半滑舌鲷的生长、生化组

- 成和能量收支的影响[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(1): 25–30.]
- [24] Ndong D, Chen Y Y, Lin Y H, et al. The immune response of tilapia *Oreochromis mossambicus* and its susceptibility to *Streptococcus iniae* under stress in low and high temperatures[J]. Fish Shellfish Immunol, 2007, 22(6): 686–694.
- [25] Cornell J. Encyclopedia of Statistical Sciences[J]. Encyclop Statist Sci, 2012, 102(479): 1074–1075.
- [26] Shen W Y, Shou J X, Jin Y F. Effect of temperature on activity of digestive enzymes in intestines in *Carassius auratus*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2003, 15(1): 39–41. [沈文英, 寿建昕, 金叶飞. 温度对银鲫肠道消化酶活性的影响[J]. 浙江农业学报, 2003, 15(1): 39–41.]
- [27] Kopp R, Legler J, Legradi J. Alterations in locomotor activity of feeding zebrafish larvae as a consequence of exposure to different environmental factors[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2016, DOI 10.1007/s11356-016-6704-3.
- [28] Sheng J Q, Qiang L, Chen Q X, et al. Effects of food, temperature and light intensity on the feeding behavior of three-spot juvenile seahorses, *Hippocampus trimaculatus* Leach[J]. Aquaculture, 2006, 256(1–4): 596–607.
- [29] Laurel B J, Spencer M, Iseri P. Temperature-dependent growth and behavior of juvenile Arctic cod (*Boreogadus saida*) and co-occurring North Pacific gadids[J]. Polar Biol, 2016, 39(6): 1127–1135.
- [30] Florin A B, Lavados G. Feeding habits of juvenile flatfish in relation to habitat characteristics in the Baltic Sea[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2010, 86(4): 607–612.

Effect of temperature on feeding behavior and growth rate of the yellow seahorse, *Hippocampus kuda* Bleeker

MU Jinting¹, XIE Shangduan², YONG Pengzheng², SUN Jinhui², XU Yongjian¹, LI Jing¹

1. Ningbo University, Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo 315211, China;

2. Tianjin Agricultural University, Tianjin Key Laboratory of Aqua-ecology and Aquaculture, Tianjin 300384, China

Abstract: The *Hippocampus kuda* Bleeker is mainly distributed throughout the tropical and subtropical coastal seas of the Indo-Pacific region. The specie is one of the heavily traded and expensive materials in traditional Chinese medicine (TCM) and has been cultured for generations in public and private aquaria, its conservation status is listed by the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) as vulnerable. In order to meet the demand from Chinese traditional medicines, increased trade of seahorses has occurred. However, seahorse culture is a relatively new industry, and many culture problems have been encountered which need to be studied and solved. Feeding behavior is an important index of an animal's suitability to their living environment. Study on the feeding behavior has significance to the strategy of seahorse resource enhancement. In order to provide a theoretical reference for the feeding technology and culturing condition of *H. kuda*, we examined the effect of varying water temperatures on the growth rate and feeding behavior. The experiment included four different water temperatures (18°C, 23°C, 28°C and natural temperature CT) in the laboratory for 28 days, with three replicates per treatment. Results revealed that the growth rate was significantly different among the four treatment groups, and the fastest growth appeared at 23°C treatment. The seahorses feeding behavior was observed more frequently at the treatment of 28°C as compared with those at other treatments. At 18°C and CT treatment groups, the seahorses were more entangled in the attachment, clustered distribution and insensitive to food. At 23°C and 28°C treatments, seahorses were more sensitivity and more frequently active feeding. In conclusion, variation in water temperature produced significant differences in seahorse growth and feeding behavior. Present study has provided the results that will be useful in rearing.

Key words: temperature; growth rate; feeding behavior; *Hippocampus kuda* Bleeker

Corresponding author: XU Yongjian. E-mail: xuyongjian@nbu.edu.cn