



## 中国近海日本鳗鲡玻璃鳗体组织营养成分及氨基酸、脂肪酸组成的比较

李铁柱<sup>1</sup>, 李 慷<sup>1,2,3</sup>, 吴嘉敏<sup>1\*</sup>, 刘利平<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 上海海洋大学, 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

**摘要:** 为了解日本鳗鲡玻璃鳗的早期营养需求, 分别对中国近海 6 个不同地点玻璃鳗体组织一般营养成分、氨基酸和脂肪酸含量进行了分析。结果显示, 野生玻璃鳗体组织中水分含量为  $78.62\% \pm 2.03\%$ , 干重基础下粗蛋白质含量为  $69.08\% \pm 0.64\%$ 、粗脂肪含量为  $11.96\% \pm 1.33\%$ 、粗灰分含量为  $11.45\% \pm 1.30\%$ 。在台州、舟山、南通和东台 4 个采样点的样品中, 水分含量无显著差异, 而粗蛋白含量以舟山点最高、粗脂肪含量最低, 并且舟山点样品肠道内发现可见内容物。玻璃鳗样品中氨基酸含量以谷氨酸、天门冬氨酸、赖氨酸、亮氨酸最高, 半胱氨酸最低; 除舟山点外, 各采样点氨基酸含量无明显差异。不同洄游地点玻璃鳗组织中脂肪酸含量均以 C16:0、C18:1n9、C20:5n3(EPA)、C22:5n3、C22:6n3(DHA) 为主要成分, 其中 EPA 和 DHA 共占脂肪酸总量的  $31.59\% \pm 1.00\%$ , 不同洄游地点样品必需脂肪酸含量差异明显。研究表明, 必需氨基酸、必需脂肪酸对于玻璃鳗的正常生长存活具有重要意义。此外, 对比不同地点营养物质组成及稚鱼饵料理论需求量分析, 推测舟山点海洋环境中包含更适合玻璃鳗稚鱼摄食的食物, 需进一步研究分析, 为日本鳗鲡开口饵料的研究提供理论支持。

**关键词:** 日本鳗鲡; 玻璃鳗; 近海洄游; 营养分析

中图分类号: S 965.223

文献标志码: A

日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 是我国重要的经济鱼类, 主要分布在长江、闽江、珠江流域及江河湖泊中<sup>[1]</sup>。由于日本鳗鲡生活史的特殊性, 养殖成鳗所需要的苗种都依靠天然捕捞, 导致鳗鲡幼苗产量锐减<sup>[2-3]</sup>。2014 年, 世界自然保护联盟 (IUCN) 将日本鳗鲡划入濒危物种的行列, 并将其加入到“红色名录”<sup>[4]</sup>。近年来, 虽然鳗鲡繁殖研究很多, 但仔鱼的开口饵料仍是限制人工繁殖的瓶

颈。日本的 Tanaka 研究团队<sup>[5]</sup>已于 2010 年在实验室条件下成功繁殖并获得少量的日本鳗鲡, 成活率极低, 其关键问题就是没有合适的开口饵料。研究表明, 自然条件下初孵仔鳗的食物来源可能是海洋有机颗粒物 (POM)<sup>[6]</sup>, 比如海雪<sup>[7]</sup>、胶质浮游生物动物<sup>[8]</sup>或尾海鞘纲类动物碎屑<sup>[9]</sup>等。Miller 等<sup>[10]</sup>通过对野生柳叶鳗仔鱼肠道内容物进行显微观察, 发现肠道中含有浮游动物的粪球和尾海鞘

收稿日期: 2021-02-20 修回日期: 2021-03-27

资助项目: 上海市科技兴农重点攻关项目 (2020-02-08-00-10-F01471); 国家自然科学基金 (32072994); 科技部中国-东盟海上合作基金项目 (DF)

第一作者: 李铁柱 (照片), 从事鱼类繁殖生理与养殖生态学研究, E-mail: 1778344024@qq.com

通信作者: 吴嘉敏, 从事水产动物的养殖及繁殖方面研究, E-mail: jmwu@shou.edu.cn;

刘利平, 从事鱼类繁殖生物学与生态养殖研究, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn



动物的碎屑。Riemann 等<sup>[11]</sup>通过分子技术对野生仔鱼肠道内容物进行分析, 认为胶状浮游动物如水螅类、樽海鞘类和栉水母类对鳗鱼幼虫的摄食特别重要。由于自然界中捕捞到初孵仔鳗样品的机率非常低, 多为偶然性获得, 至今对其食物来源仍有争议<sup>[8, 11-14]</sup>。随着鳗鲡人工繁殖研究的不断深入, 国内外学者也加强了对鳗鲡初孵仔鱼人工培育期间饵料营养成分及适口性问题的研究。Tanaka 等<sup>[15]</sup>使用鲨鱼卵冷冻干燥粉末添加 20% 的大豆肽以及磷虾提取液制成浆状饵料投喂鳗鲡仔鱼 100 d 后, 仔鱼的存活率仅为 0.5%~2.0%; 后来经过不断研究成功获得了变态的白仔鳗, 但是仔鳗的畸形率高, 存活率极低, 变态所需要的时间较自然状态下长<sup>[16]</sup>。随后, Okamura 等<sup>[17]</sup>通过尝试给初孵仔鳗投喂以冻干鸡蛋黄和去皮磷虾液为主要成分的开口料, 仔鳗仅存活了 58 d。刘利平等<sup>[18]</sup>通过对开口仔鳗进行饵料实验, 发现摄食以鲨鱼卵和磷虾提取液为基础的饵料组仔鳗其存活时间最长, 但也只存活 21 d。研究表明, 鳗鲡人工繁殖过程中仍面临很多的问题, 其中, 缺少适宜的开口饵料是限制仔鳗长期存活的关键所在。

研究表明, 仔稚鱼期相对于幼鱼期和成鱼期具有较快的生长速率, 主要体现在鱼体肌肉中蛋白质的沉积, 这说明仔稚鱼必须从食物中获取大量的氨基酸以满足其生长的需要<sup>[19]</sup>。相关研究也发现, 氨基酸除了被用于蛋白质合成, 还是海水硬骨鱼类早期生命阶段获取能量的主要来源, 将近 60% 的能量由氨基酸代谢所提供<sup>[20-22]</sup>。因此, 早期氨基酸的摄入对于仔鱼的生长至关重要。脂肪酸作为脂类重要的组分在为机体提供能量方面发挥着重要的作用。实验研究表明, C22:6n-3(DHA)、C20:5n-3(EPA) 和 C20:4n-6(ARA) 是海水鱼类最主要的三种必需脂肪酸, 对仔稚鱼的生长发育发挥着不可替代的作用<sup>[22]</sup>, 但海水鱼类自身不能合成 DHA 和 EPA 或者合成速度不能满足其需求, 必须从外界摄取进行补充<sup>[23-24]</sup>, 仔稚鱼体内各营养物质的积累可以反映其早期各营养物质的摄入情况。常青<sup>[25]</sup>通过对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*) 仔稚鱼营养组成的研究发现, EPA 和 DHA 在半滑舌鳎仔鱼发育过程中有明显的消耗, 在半滑舌鳎仔鱼开口时适量补充 DHA, 对于获得良好的生长性能很有必要。因此, 通过对仔稚鱼体内营养物质的积累量分析, 可以为开口饵料中关键营养素的配比提供理论参考。

玻璃鳗作为目前最有可能稳定获得的野生仔稚鳗早期形态, 分析其营养组成有助于探索自然状态下早期玻璃鳗稚鳗的营养需求。因此, 本研究通过对洄游过程中的玻璃鳗进行一般营养成分、氨基酸和脂肪酸的检测, 比较不同洄游地点玻璃鳗鱼体的营养成分差异, 同时分析玻璃鳗稚鱼对各营养成分的理论需求量, 为尽早开发出适宜日本鳗鲡仔鱼摄食的开口料提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集

本实验于 2019 年 1—4 月依次在广东省汕头市 (ST)、福建省宁德市 (ND)、浙江省台州市 (TZ)、浙江省舟山市大洋山 (DYS)、江苏省南通市 (NT) 和江苏省东台市 (DT) 用定置网捕集野生玻璃鳗样品。采样期间保证玻璃鳗无伤、无残、活力良好。每个地点随机选择 60 尾实验鱼进行体重、体长指标测量, 随后在无菌条件下进行解剖, 去除鱼头、肠道后的鱼体进行低温保存, 用于后续实验分析。本研究获得了上海海洋大学实验动物管理和使用伦理委员会批准 (SHOU-DW-2019-020), 实验过程中操作人员严格遵守上海海洋大学实验动物伦理规范, 并按照上海海洋大学实验动物管理和使用伦理委员会制定的规章制度执行。

### 1.2 样品分析

**一般营养成分含量测定** 将去头去肠道的鱼体样品经低温真空干燥机 (TF-FD-1, 上海拓纷机械设备有限公司) 中冷冻干燥 24 h, 使用研钵研磨成粉, 保存到干燥器中, 用于氨基酸、脂肪酸等营养指标的检测。

**水分含量** 采用 105 °C 直接干燥法 (GB/T 5009.3—2010) 进行检测<sup>[26]</sup>; 粗灰分含量采用 550 °C 马弗炉灼烧法 (GB/T 5009.4—2010) 进行检测<sup>[27]</sup>; 粗蛋白采用碳氮元素分析法测定, 取 0.2 g 干燥样品, 通过元素分析仪 (vario MAX CNS, Elementar, 德国) 进行检测<sup>[28]</sup>。

**粗脂肪的提取**<sup>[29]</sup> 称取 0.2 g 干燥样品粉末, 加入到 20 mL 试管中, 加入 10 mL 含 0.01% BHT 的氯仿-甲醇混合液 (2:1, 体积比), 放置于 4 °C 冰箱中浸提 24 h, 期间用超声波低温水浴 2~3 次, 每次 30 min。将浸提液过滤到已干燥恒重的 20 mL 试管中, 加入 2 mL 0.4% CaCl<sub>2</sub> 溶液混匀,

静置 30 min, 待分层后移去上清液。之后轻轻转动试管, 加入清洗液(氯仿: 甲醇: 水=8: 4: 3, 体积比) 1.5 mL, 混匀移去上清液, 重复 2 次后加入 200  $\mu$ L 甲醇, 混匀后于 40  $^{\circ}$ C 真空干燥 12 h 以上至恒重。

**氨基酸测定** 氨基酸测定采用茚三酮法(GB 5009.124—2016)<sup>[30]</sup>。将冷冻干燥后的样品采用酸水解法处理, 使用日立 L-8800 高速氨基酸分析仪测定样品氨基酸组成及含量。测试条件: 色谱柱(4.6 mm $\times$ 60 mm), 分离树脂为阳离子交换树脂, 分离柱温度 57  $^{\circ}$ C, 检测波长 570 nm, 缓冲溶液流速 0.40 mL/min, 反应液流量 0.35 mL/min, 反应单元温度 135  $^{\circ}$ C, 进样量 20  $\mu$ L。

**脂肪酸测定** 总脂肪提取采用氯仿-甲醇提取法<sup>[29]</sup>, 总脂肪经两步甲酯化处理后将含脂肪酸的甲酯溶液转移到色谱瓶中供色谱分析。采用上海安谱公司标准脂肪酸进行定性分析鉴定脂肪酸组分, 脂肪酸含量使用面积归一方法计算。通过 Agilent-7890A 型气相色谱仪联合 Agilent-5975C 质谱仪进行脂肪酸检测。色谱条件: 100 m $\times$ 250  $\mu$ m $\times$ 0.2  $\mu$ m Agilent 112-88A7 GC Columns, 柱箱温度 250  $^{\circ}$ C, 载气为高纯氮气, 压力 2.36 bar, 流量 1 mL/min, 平均线速度 20.733 cm/sec, 滞留时间 8.038 9 min。

**营养物质理论需求量计算** 玻璃鳗稚鱼饵料中营养素的理论需要量计算方法参照杨晶晶等<sup>[31]</sup>方法, 分别通过测定鱼体干物质中蛋白质、脂肪、氨基酸及脂肪酸的含量, 分析玻璃鳗稚鱼对饲料中各营养素的理论需求量。由于鱼体中各脂肪酸含量为总脂肪酸含量的百分比, 需要将各脂肪酸含量换算成以样品干重为基础的百分比含量。鱼体中蛋白质、总脂肪和氨基酸含量已经是干重基础百分比, 无需换算。

### 1.3 数据统计

采用 SPSS 22.0 统计分析软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)。各组数据值采用平均数 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ SD)表示,  $P<0.05$  为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 玻璃鳗的生物学指标

除宁德点外, 随着采样点纬度的增加, 玻璃鳗的体长和体重呈逐渐增涨趋势, 但相邻地点间体长、体重差异不显著( $P>0.05$ )。宁德点玻璃鳗的体重与其他 5 点存在显著性差异( $P<0.05$ ); 体长与相邻点的汕头、台州以及舟山市大洋山点存在显著差异( $P<0.05$ ), 与南通、东台点无显著差异( $P>0.05$ )(图 1)。

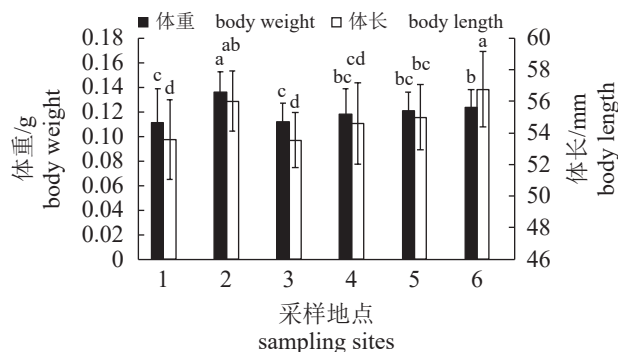


图 1 不同采样点玻璃鳗样品的体重和体长

1. 汕头, 2. 宁德, 3. 台州, 4. 舟山市大洋山, 5. 南通, 6. 东台;  $n=3$ , 不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

Fig. 1 Body mass and body length of glass eel samples from different sampling sites

1. ST, 2. ND, 3. TZ, 4. DYS, 5. NT, 6. DT;  $n=3$ , different lowercase letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

### 2.2 一般营养成分组成

因汕头、宁德采样点所获样品数量较少, 本实验仅对台州、舟山、南通、东台 4 个点的样品进行一般营养成分检测。玻璃鳗鱼体中水分含量较高, 为 78.62 $\pm$ 2.03%; 干重基础上, 粗蛋白含量为 69.08 $\pm$ 0.64%, 粗脂肪含量为 11.96 $\pm$ 1.33%,

粗灰分含量为 11.45 $\pm$ 1.30%。4 个采样点中, 玻璃鳗鱼体中水分含量无显著差异( $P>0.05$ ), 粗蛋白含量, 台州与东台样品间无显著性差异( $P>0.05$ ), 但这两个采样点的样品与舟山、南通两个采样点均存在显著差异( $P<0.05$ ), 其中舟山点含量最高为 70.06 $\pm$ 0.15%, 南通点最低为 68.45 $\pm$

0.10%; 粗脂肪含量, 台州点含量最高为 13.10%±1.15%, 舟山点最低为 10.25%±0.39%, 舟山样品粗脂肪含量显著低于其他 3 个采样点的样品 ( $P < 0.05$ );

粗灰分含量, 南通点含量最高为 12.52%±0.16%, 台州点最低为 9.45%±0.20%, 台州、舟山及南通 3 个采样点间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )(表 1)。

表 1 不同采样点玻璃鳗鱼体的一般营养成分含量

Tab. 1 Common nutritional contents of glass eel of *A. japonica* at different sampling sites

%,  $n=3$

采样点 sampling sites	水分(湿重) moisture(wet weight)	粗灰分(干重) ash (dry weight)	粗蛋白(干重) crude protein (dry weight)	粗脂肪(干重) crude fat (dry weight)
台州市 TZ	76.98±3.00 <sup>a</sup>	9.45±0.20 <sup>c</sup>	68.79±0.13 <sup>b</sup>	13.10±1.15 <sup>a</sup>
舟山市 DYS	80.61±1.90 <sup>a</sup>	11.63±0.23 <sup>b</sup>	70.06±0.15 <sup>a</sup>	10.25±0.39 <sup>b</sup>
东台市 DT	77.90±0.41 <sup>a</sup>	12.21±0.41 <sup>ab</sup>	69.02±0.08 <sup>b</sup>	12.71±0.34 <sup>a</sup>
南通市 NT	78.98±1.25 <sup>a</sup>	12.52±0.16 <sup>a</sup>	68.45±0.10 <sup>c</sup>	11.77±0.36 <sup>a</sup>
汕头市 ST	np	np	np	np
宁德市 ND	np	np	np	np
平均值 mean value	78.62±2.03	11.45±1.30	69.08±0.64	11.96±1.33

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ); np. 无数据, 下同。

Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); np. no data, the same below.

### 2.3 氨基酸组成

野生玻璃鳗鱼体中共检测出 17 种氨基酸, 包含 7 种必需氨基酸, 2 种半必需氨基酸, 8 种非必需氨基酸, 其中色氨酸在水解过程中被破坏未检测出, 故未做分析(表 2)。玻璃鳗鱼体总氨基酸(TAA)含量为 68.31%±1.51%, 其中谷氨酸含量最高为 10.07%±0.23%, 半胱氨酸含量最低为 0.90%±0.12%(表 2)。

数据分析得出, 不同采样点(自南向北)样本中含量较高的氨基酸均包括谷氨酸、天门冬氨酸、亮氨酸、赖氨酸; 含量最低的氨基酸均为半胱氨酸。不同采样点中, 必需氨基酸中的赖氨酸以及半必需氨基酸中组氨酸、精氨酸的含量存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 非必需氨基酸中的天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸以及非必需氨基酸总量存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其他氨基酸均无明显变化 ( $P > 0.05$ )(表 2)。

### 2.4 脂肪酸组成

玻璃鳗鱼体中共检测出 20 种脂肪酸, 包括 6 种饱和脂肪酸(SFA)、5 种单不饱和脂肪酸(MUFA)、9 种多不饱和脂肪酸(PUFA), 其中 7 种高不饱和脂肪酸(HUFA), 分别占总脂肪酸含量的 23.51%±0.42%, 29.02%±0.77%, 47.48%±1.14%, 44.69%±1.20%。其中 EPA+DHA 两者含量之和占鱼体总脂肪酸的 31.59%±1.00%,  $\Sigma$ PUFA n-3 含量占总脂肪酸的 38.84%±0.88%,  $\Sigma$ PUFA n-6 含量占总脂肪酸的 8.64%±0.38%,  $\Sigma$ PUFA n-3/ $\Sigma$ PUFA n-6

比值分别为 4.50±0.16(表 3)。不同地点之间均以 C16:0、C18:1n9、C20:5n3(EPA)、C22:5n3、C22:6n3(DHA)为主要成分。不同地点鱼体脂肪酸相对含量均以 PUFA>HUFA>MUFA>SFA, 其中, 宁德点与其他地点之间均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 不同采样点肌肉间 n-3/n-6 比值差异不显著 ( $P > 0.05$ )(表 3)。

### 2.5 开口饵料营养物质的理论需求量

数据分析可知, 野生玻璃鳗稚鱼对饵料中蛋白质的理论需求量是 69.07%, 脂肪的理论需求量为 11.96%。饵料中对谷氨酸和天门冬氨酸的理论需求量较高, 分别为 10.07% 和 6.82%; 半胱氨酸的理论需求量比较低为 0.90%; 必需氨基酸中亮氨酸和赖氨酸的理论需求量分别为 5.77% 和 5.97%。由表 4 可知, C16:0(棕榈酸)和 C18:1n9(油酸)的需求量较高, 分别为 1.16% 和 1.59%; 鱼体中 DHA 的需求量最高为 2.33%, EPA 的需求量为 0.63%, 相对于 DHA 较低, 但高于大多数的脂肪酸, EPA/DHA 的值为 0.27。饲料中 C20:4n6(ARA)的理论需求量为 0.28%, ARA 和 EPA 是两种竞争性脂肪酸, ARA/EPA 的值为 0.44; 饵料中 n-3 系列多不饱和脂肪酸的需求量较高为 3.64%, n-6 系列脂肪酸需求量为 0.77%, n-3/n-6 为 4.71。

## 3 讨论

日本鳗鲡生活史复杂, 根据生活阶段一般可以分为初孵仔鱼、仔鱼、稚鱼、幼鱼和成鱼。一

表 2 不同采样点玻璃鳗鱼体的氨基酸组成及含量 (干重基础)

氨基酸		Amino acid composition of glass eel of <i>A. japonica</i> at different sampling sites (dry weight)						% , n=3
amino acid		汕头 ST	宁德 ND	台州 TZ	舟山 DYS	南通 NT	东台 DT	平均值 mean value
赖氨酸	Lys <sup>**</sup>	5.87±0.20 <sup>b</sup>	5.81±0.11 <sup>b</sup>	5.99±0.10 <sup>ab</sup>	6.12±0.05 <sup>a</sup>	6.00±0.15 <sup>ab</sup>	5.95±0.07 <sup>ab</sup>	5.97±0.14
亮氨酸	Leu <sup>**</sup>	5.66±0.21 <sup>a</sup>	5.77±0.12 <sup>a</sup>	5.80±0.10 <sup>a</sup>	5.87±0.06 <sup>a</sup>	5.79±0.15 <sup>a</sup>	5.79±0.07 <sup>a</sup>	5.77±0.12
缬氨酸	Val <sup>**</sup>	3.34±0.11 <sup>a</sup>	3.40±0.06 <sup>a</sup>	3.36±0.22 <sup>a</sup>	3.33±0.23 <sup>a</sup>	3.26±0.23 <sup>a</sup>	3.15±0.17 <sup>a</sup>	3.31±0.16
苏氨酸	Thr <sup>**</sup>	3.23±0.11 <sup>a</sup>	3.29±0.06 <sup>a</sup>	3.29±0.05 <sup>a</sup>	3.35±0.03 <sup>a</sup>	3.30±0.09 <sup>a</sup>	3.31±0.03 <sup>a</sup>	3.29±0.07
异亮氨酸	Ile <sup>**</sup>	3.13±0.12 <sup>a</sup>	3.19±0.08 <sup>a</sup>	3.24±0.05 <sup>a</sup>	3.20±0.06 <sup>a</sup>	3.14±0.07 <sup>a</sup>	3.17±0.03 <sup>a</sup>	3.17±0.07
苯丙氨酸	Phe <sup>**</sup>	3.03±0.10 <sup>a</sup>	3.01±0.06 <sup>a</sup>	3.08±0.06 <sup>a</sup>	3.11±0.03 <sup>a</sup>	3.08±0.07 <sup>a</sup>	3.07±0.04 <sup>a</sup>	3.06±0.06
蛋氨酸	Met <sup>**</sup>	1.31±0.04 <sup>a</sup>	1.32±0.29 <sup>a</sup>	1.21±0.24 <sup>a</sup>	1.18±0.21 <sup>a</sup>	1.18±0.08 <sup>a</sup>	1.06±0.23 <sup>a</sup>	1.21±0.18
精氨酸	Arg <sup>**</sup>	4.40±0.15 <sup>bc</sup>	4.28±0.08 <sup>c</sup>	4.45±0.06 <sup>b</sup>	4.65±0.04 <sup>a</sup>	4.52±0.10 <sup>ab</sup>	4.39±0.05 <sup>bc</sup>	4.47±0.14
组氨酸	His <sup>**</sup>	2.09±0.08 <sup>bc</sup>	2.28±0.05 <sup>a</sup>	2.18±0.07 <sup>b</sup>	1.98±0.02 <sup>d</sup>	1.99±0.05 <sup>cd</sup>	2.04±0.02 <sup>cd</sup>	2.08±0.11
谷氨酸	Glu	9.94±0.34 <sup>b</sup>	9.84±0.19 <sup>b</sup>	10.04±0.13 <sup>ab</sup>	10.38±0.10 <sup>a</sup>	10.14±0.24 <sup>ab</sup>	10.02±0.10 <sup>ab</sup>	10.07±0.23
天门冬氨酸	Asp	6.70±0.23 <sup>b</sup>	6.70±0.13 <sup>b</sup>	6.84±0.10 <sup>ab</sup>	6.99±0.06 <sup>a</sup>	6.86±0.18 <sup>ab</sup>	6.84±0.07 <sup>ab</sup>	6.82±0.15
甘氨酸	Gly	4.78±0.15 <sup>bc</sup>	4.50±0.06 <sup>d</sup>	4.68±0.08 <sup>c</sup>	5.06±0.06 <sup>a</sup>	4.88±0.14 <sup>b</sup>	4.76±0.06 <sup>bc</sup>	4.81±0.20
丙氨酸	Ala	4.44±0.15 <sup>ab</sup>	4.36±0.08 <sup>b</sup>	4.47±0.11 <sup>ab</sup>	4.64±0.09 <sup>a</sup>	4.53±0.16 <sup>ab</sup>	4.46±0.08 <sup>ab</sup>	4.50±0.13
脯氨酸	Pro	3.59±0.13 <sup>bc</sup>	3.48±0.06 <sup>c</sup>	3.59±0.05 <sup>bc</sup>	3.78±0.08 <sup>a</sup>	3.64±0.04 <sup>b</sup>	3.60±0.05 <sup>bc</sup>	3.62±0.11
丝氨酸	Ser	2.99±0.10 <sup>a</sup>	3.05±0.05 <sup>a</sup>	3.02±0.05 <sup>a</sup>	3.11±0.04 <sup>a</sup>	3.07±0.08 <sup>a</sup>	3.06±0.03 <sup>a</sup>	3.04±0.06
酪氨酸	Tyr	2.18±0.08 <sup>a</sup>	2.23±0.05 <sup>a</sup>	2.21±0.06 <sup>a</sup>	2.29±0.04 <sup>a</sup>	2.27±0.04 <sup>a</sup>	2.23±0.07 <sup>a</sup>	2.23±0.06
半胱氨酸	Cys	0.90±0.02 <sup>a</sup>	0.97±0.04 <sup>a</sup>	0.86±0.18 <sup>a</sup>	0.88±0.16 <sup>a</sup>	0.87±0.13 <sup>a</sup>	0.80±0.17 <sup>a</sup>	0.90±0.12
总氨基酸	TAA	67.56±2.31 <sup>a</sup>	67.48±1.21 <sup>a</sup>	68.30±1.55 <sup>a</sup>	69.91±1.21 <sup>a</sup>	68.50±1.96 <sup>a</sup>	67.70±1.15 <sup>a</sup>	68.31±1.51
必需氨基酸	EAA	32.05±1.11 <sup>a</sup>	32.35±0.64 <sup>a</sup>	32.60±0.88 <sup>a</sup>	32.79±0.66 <sup>a</sup>	32.25±0.98 <sup>a</sup>	31.94±0.63 <sup>a</sup>	32.33±0.71
非必需氨基酸	NEAA	35.52±1.20 <sup>b</sup>	35.13±0.60 <sup>b</sup>	35.70±0.68 <sup>ab</sup>	37.12±0.60 <sup>a</sup>	36.25±0.98 <sup>ab</sup>	35.76±0.53 <sup>ab</sup>	35.98±0.89
EAA/NEAA		90.23±0.37	92.10±0.64	91.32±0.75	88.33±0.91	88.96±0.30	89.32±0.46	89.87±1.41
EAA/TAA		47.43±0.10	47.94±0.17	47.73±0.21	46.90±0.26	47.08±0.08	47.18±0.13	47.33±0.39

注: \* 必需氨基酸; \*\* 半必需氨基酸; 同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 下同。

Notes: \* essential amino acids; \*\* semiessential amino acid; different lowercase letters in the same row indicate significant differences ( $P<0.05$ ), the same below.

般认为, 鳗鲡在秋季满月期间降海, 迁徙至菲律宾南部海域马里亚纳海沟附近的海山附近产卵, 受精卵随海流漂浮, 孵化出白色透明幼体, 初孵仔鱼逐渐发育变态为柳叶鳗, 即仔鱼阶段, 随着亚热带洋流迁徙, 在大陆架附近变态为玻璃鳗, 即稚鱼阶段<sup>[32]</sup>。每年 11 月底至 12 月初, 我国台粤闽南区开始出现玻璃鳗苗, 1—4 月, 玻璃鳗沿着海岸线逐渐向北迁徙, 经河口区进入淡水继续发育<sup>[33]</sup>。从 1 月至 4 月依次沿中国东南沿海从南至北收集玻璃鳗样品, 样品无伤、无残、生长活力良好。

### 3.1 稚鱼高水分含量体质

玻璃鳗体内较高的水分含量, 对于维持体内渗透压的平衡, 适应多变的洄游环境具有重要意义。实验结果显示, 玻璃鳗鱼体中水分含量为 78.62%±2.03%, 明显高于成熟日本鳗鲡 (65.27%)<sup>[34]</sup>,

与黄鳊 (*Monopterus albus*) 仔鱼<sup>[35]</sup>、鞍带石斑鱼 (*Epinephelus lanceolatus*)<sup>[36]</sup>、棕点石斑鱼 (*E. fuscoguttatus*)<sup>[37]</sup>、豹纹鳃棘鲈 (*Plectropomus leopardus*)<sup>[38]</sup>、厚唇光唇鱼 (*Acrossocheilus labiatus*)<sup>[39]</sup> 水分含量相近, 并且洄游过程中水分含量保持稳定, 不同采样点样品间无显著差异 ( $P>0.05$ )。水是生物体内重要的运输载体和反应媒介, 较高的水分含量对于维持玻璃鳗身体渗透压的平衡, 促进有机物的分解代谢发挥重要作用。

### 3.2 稚鱼蛋白质、氨基酸需求量

玻璃鳗稚鱼对蛋白质的需求量最高, 蛋白质可能是玻璃鳗早期正常生长发育主要的供能物质。研究表明, 仔稚鱼的瞬间生长速率很高, 主要为体蛋白的积累, 需要从食物中获得大量蛋白质。蛋白质是鱼类正常生长, 维持生命的必要物质, 在鱼体中占干重的 65%~75%<sup>[22, 40]</sup>。实验结果显示,

表3 不同采样点玻璃鳗鱼体的脂肪酸组成及含量(干重基础, 占总脂肪酸百分比)  
 Tab. 3 Fatty acids composition of glass eel of *A. japonica* at different sampling sites  
 (dry weight, as a percentage of total fatty acids)

脂肪酸 fatty acid	汕头市 ST	宁德市 ND	台州市 TZ	舟山市 DYS	南通市 NT	东台市 DT	平均值 mean value
C14:0	2.15±0.07 <sup>ab</sup>	2.31±0.09 <sup>a</sup>	2.16±0.12 <sup>ab</sup>	1.83±0.06 <sup>d</sup>	1.93±0.14 <sup>cd</sup>	2.05±0.07 <sup>bc</sup>	2.07±0.18
C15:0	0.58±0.04 <sup>abc</sup>	0.62±0.01 <sup>a</sup>	0.60±0.03 <sup>ab</sup>	0.55±0.01 <sup>c</sup>	0.56±0.03 <sup>bc</sup>	0.55±0.01 <sup>c</sup>	0.58±0.04
C16:0	15.30±0.08 <sup>b</sup>	15.77±0.12 <sup>a</sup>	15.35±0.08 <sup>b</sup>	14.93±0.16 <sup>c</sup>	15.34±0.17 <sup>b</sup>	15.32±0.13 <sup>b</sup>	15.33±0.27
C16:1n7	5.48±0.04 <sup>c</sup>	6.06±0.06 <sup>a</sup>	5.77±0.20 <sup>b</sup>	4.98±0.04 <sup>d</sup>	5.40±0.25 <sup>c</sup>	5.46±0.09 <sup>c</sup>	5.52±0.36
C17:0	0.38±0.01 <sup>bc</sup>	0.39±0.01 <sup>b</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.39±0.03 <sup>b</sup>	0.36±0.00 <sup>c</sup>	0.35±0.02 <sup>c</sup>	0.38±0.03
C17:1n7	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.78±0.02 <sup>b</sup>	0.82±0.02 <sup>a</sup>	0.85±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.02 <sup>a</sup>	0.77±0.02 <sup>b</sup>	0.81±0.03
C18:0	4.84±0.05 <sup>bc</sup>	4.82±0.04 <sup>c</sup>	4.80±0.07 <sup>cd</sup>	5.05±0.02 <sup>a</sup>	4.93±0.06 <sup>b</sup>	4.71±0.06 <sup>d</sup>	4.86±0.12
C18:1n9	19.37±0.07 <sup>b</sup>	20.00±0.17 <sup>a</sup>	18.95±0.19 <sup>c</sup>	18.45±0.22 <sup>d</sup>	19.06±0.12 <sup>bc</sup>	19.20±0.21 <sup>bc</sup>	19.17±0.50
C18:2n6	1.96±0.03 <sup>a</sup>	1.77±0.10 <sup>ab</sup>	1.84±0.12 <sup>ab</sup>	1.83±0.18 <sup>ab</sup>	1.65±0.08 <sup>b</sup>	1.72±0.12 <sup>b</sup>	1.80±0.14
C20:0	0.26±0.02 <sup>b</sup>	0.26±0.01 <sup>ab</sup>	0.29±0.01 <sup>ab</sup>	0.35±0.11 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>ab</sup>	0.28±0.01 <sup>ab</sup>	0.28±0.05
C20:1n9	2.44±0.05 <sup>b</sup>	2.58±0.03 <sup>a</sup>	2.45±0.07 <sup>ab</sup>	2.24±0.12 <sup>c</sup>	2.30±0.05 <sup>c</sup>	2.49±0.06 <sup>ab</sup>	2.42±0.13
C18:3n3	0.87±0.07 <sup>c</sup>	1.13±0.02 <sup>a</sup>	1.03±0.06 <sup>b</sup>	0.91±0.03 <sup>c</sup>	0.99±0.04 <sup>b</sup>	1.06±0.02 <sup>ab</sup>	1.00±0.10
C20:3n6	0.49±0.02 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>ab</sup>	0.47±0.01 <sup>ab</sup>	0.49±0.01 <sup>a</sup>	0.47±0.03 <sup>ab</sup>	0.45±0.00 <sup>b</sup>	0.47±0.02
C20:4n6(ARA)	3.13±0.26 <sup>abc</sup>	2.81±0.23 <sup>c</sup>	3.06±0.20 <sup>bc</sup>	3.49±0.14 <sup>a</sup>	3.34±0.22 <sup>ab</sup>	3.20±0.12 <sup>ab</sup>	3.17±0.28
C20:5n3(EPA)	7.13±0.03 <sup>b</sup>	6.79±0.03 <sup>c</sup>	7.06±0.06 <sup>b</sup>	7.08±0.10 <sup>b</sup>	7.33±0.03 <sup>a</sup>	7.43±0.14 <sup>a</sup>	7.14±0.22
C24:1n9	1.23±0.02 <sup>ab</sup>	0.82±0.01 <sup>d</sup>	0.96±0.05 <sup>cd</sup>	1.35±0.18 <sup>a</sup>	1.10±0.06 <sup>bc</sup>	1.11±0.03 <sup>bc</sup>	1.10±0.19
C22:4n6	0.46±0.02 <sup>bc</sup>	0.44±0.01 <sup>c</sup>	0.52±0.02 <sup>a</sup>	0.48±0.02 <sup>b</sup>	0.44±0.00 <sup>c</sup>	0.47±0.03 <sup>bc</sup>	0.47±0.03
C22:5n-6	2.76±0.07 <sup>abc</sup>	2.63±0.02 <sup>d</sup>	2.81±0.04 <sup>ab</sup>	2.85±0.01 <sup>a</sup>	2.69±0.14 <sup>bcd</sup>	2.66±0.04 <sup>cd</sup>	2.73±0.10
C22:5n-3	6.11±0.11 <sup>bc</sup>	6.33±0.04 <sup>ab</sup>	6.52±0.14 <sup>a</sup>	6.15±0.06 <sup>bc</sup>	6.07±0.21 <sup>c</sup>	6.33±0.07 <sup>ab</sup>	6.25±0.19
C22:6n3(DHA)	24.25±0.18 <sup>bc</sup>	23.21±0.24 <sup>d</sup>	24.15±0.46 <sup>c</sup>	25.78±0.46 <sup>a</sup>	24.95±0.62 <sup>b</sup>	24.39±0.23 <sup>bc</sup>	24.46±0.87
SFA	23.50±0.24 <sup>b</sup>	24.17±0.25 <sup>a</sup>	23.61±0.14 <sup>b</sup>	23.09±0.33 <sup>b</sup>	23.39±0.39 <sup>b</sup>	23.26±0.19 <sup>b</sup>	23.51±0.42
MUFA	29.35±0.13 <sup>b</sup>	30.25±0.25 <sup>a</sup>	28.95±0.40 <sup>bc</sup>	27.87±0.11 <sup>d</sup>	28.67±0.19 <sup>c</sup>	29.03±0.36 <sup>bc</sup>	29.02±0.77
PUFA	47.16±0.35 <sup>b</sup>	45.58±0.48 <sup>c</sup>	47.45±0.55 <sup>b</sup>	49.05±0.43 <sup>a</sup>	47.93±0.54 <sup>b</sup>	47.72±0.53 <sup>b</sup>	47.48±1.14
HUFA	44.33±0.29 <sup>c</sup>	42.68±0.40 <sup>d</sup>	44.57±0.49 <sup>bc</sup>	46.31±0.62 <sup>a</sup>	45.29±0.60 <sup>b</sup>	44.94±0.45 <sup>bc</sup>	44.69±1.20
n-3 PUFA	38.35±0.20 <sup>c</sup>	37.47±0.18 <sup>d</sup>	38.76±0.34 <sup>bc</sup>	39.91±0.47 <sup>a</sup>	39.35±0.71 <sup>ab</sup>	39.22±0.42 <sup>ab</sup>	38.84±0.88
n-6 PUFA	8.80±0.16 <sup>ab</sup>	8.11±0.32 <sup>c</sup>	8.69±0.31 <sup>b</sup>	9.14±0.08 <sup>a</sup>	8.58±0.31 <sup>b</sup>	8.50±0.15 <sup>bc</sup>	8.64±0.38
n-3/n-6	4.36±0.06 <sup>a</sup>	4.62±0.16 <sup>a</sup>	4.47±0.15 <sup>a</sup>	4.37±0.08 <sup>a</sup>	4.59±0.23 <sup>a</sup>	4.61±0.06 <sup>a</sup>	4.50±0.16

野生玻璃鳗鱼体中粗蛋白含量为 69.08%±0.64%，与黄鳝仔鱼粗蛋白含量(73.04%)相近<sup>[35]</sup>，但明显高于成鳗粗蛋白含量(55.02%)<sup>[34]</sup>，说明玻璃鳗阶段蛋白质在机体内的代谢转运占优势，体内积累较多。研究表明，海水仔稚鱼饵料中所需的蛋白量在 50%~70% 之间变动<sup>[41]</sup>，玻璃鳗稚鱼对蛋白质的理论需求量明显高于中华鲟(*Acipenser sinensis*)幼鲟(39.68%~44.64%)<sup>[42]</sup>、欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)仔鱼(50%~60%)<sup>[43]</sup>，在捕捞玻璃鳗样品时也收获一些沙蚕、海蚯蚓等生物，它们含有丰富的蛋白质和氨基酸，通常作为鱼、虾、蟹的天然饵料，有可能被玻璃鳗摄食。不同采样点之

间，舟山点样品粗蛋白含量最高为 70.06%±0.15%，南通点最低为 68.45%±0.10%，两个采样点之间呈显著差异( $P<0.05$ )，台州、东台两个采样点之间无显著差异( $P>0.05$ )；解剖样品时发现，舟山点样品肠道内含有大量未消化的食物，其他点样品肠道可见内容物很少，说明舟山点海洋环境中可能富含适宜玻璃鳗摄食的饵料，导致体内蛋白质营养物质积累更高。

实验研究表明，大分子蛋白质在鱼体内需经过消化和水解释放游离氨基酸或肽类物质后才能被吸收和利用<sup>[44-45]</sup>。氨基酸在机体内的代谢、转化和积累有助于满足玻璃鳗洄游过程中的能量消

表 4 日本鳗鲡玻璃鳗稚鱼饵料中营养素的理论需求量  
(干重基础)

Tab. 4 Theoretical nutrient requirements of  
nutrients in the open feed of *A. japonica*  
(dry weight) % , n=3

项目 items	理论需求量 theoretical requirement	项目 items	理论需求量 theoretical requirement
蛋白质 protein	69.07	总脂肪 total lipid	11.96
赖氨酸 Lys <sup>**</sup>	5.97	C14:0	0.14
亮氨酸 Leu <sup>**</sup>	5.77	C15:0	0.04
缬氨酸 Val <sup>**</sup>	3.31	C16:0	1.16
苏氨酸 Thr <sup>**</sup>	3.29	C16:1n-7	0.42
异亮氨酸 Ile <sup>**</sup>	3.17	C17:0	0.03
苯丙氨酸 Phe <sup>**</sup>	3.06	C17:1n7	0.06
蛋氨酸 Met <sup>**</sup>	1.21	C18:0	0.40
精氨酸 Arg <sup>**</sup>	4.47	C18:1n9	1.59
组氨酸 His <sup>**</sup>	2.08	C18:2n6	0.15
谷氨酸 Glu	10.07	C20:0	0.03
天门冬氨酸 Asp	6.82	C20:1n9	0.22
甘氨酸 Gly	4.81	C18:3n3	0.08
丙氨酸 Ala	4.50	C20:3n6	0.04
脯氨酸 Pro	3.62	C20:4n6	0.28
丝氨酸 Ser	3.04	C20:5n3(EPA)	0.63
酪氨酸 Tyr	2.23	C24:1n9	0.11
半胱氨酸 Cys	0.90	C22:4n6	0.04
总氨基酸 TAA	68.31	C22:5n-6	0.26
必需氨基酸 EAA	32.33	C22:5n-3	0.60
非必需氨基酸 NEAA	35.98	C22:6n3(DHA)	2.33
EAA/NEAA	89.87	EPA/DHA	0.27
EAA/TAA	47.33	n-3PUFA	3.64
		n-6PUFA	0.77
		n-3/n-6	4.71

耗, 促进玻璃鳗的发育。玻璃鳗鱼体中检测出氨基酸总量为 68.31%±1.51%, 其中, 谷氨酸、天门冬氨酸、亮氨酸、赖氨酸等含量较高, 半胱氨酸、蛋氨酸含量较低, 这与人工催熟日本鳗鲡鱼卵中各氨基酸的构成比例相似<sup>[28]</sup>。检测结果显示, 玻璃鳗自南向北洄游过程中, 鱼体内各氨基酸含量变化不大, 氨基酸总量, 必需氨基酸总量均无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 但必需氨基酸中的赖氨酸以及半必需氨基酸组氨酸、精氨酸的含量存在显著性差异 ( $P<0.05$ ), 非必需氨基酸总量以及非必需氨基酸中的天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸存在显著性差异 ( $P<0.05$ )。

适宜含量的赖氨酸可以促进玻璃鳗体内其他氨基酸的转化, 促进玻璃鳗消化系统的发育。研究表明, 赖氨酸往往被称为第一或者第二限制性氨基酸, 能够改善其他必需氨基酸的利用率而降低氮的损失, 促进鱼类的正常发育<sup>[46]</sup>。舟山点鱼体中赖氨酸含量显著高于汕头、宁德点 ( $P<0.05$ ), 说明舟山点样品中氨基酸的代谢率较高, 玻璃鳗的消化系统发育较成熟, 与其肠道内丰富的内容物相呼应。Zhou 等<sup>[47]</sup>通过在饲料中补充赖氨酸有效的提高了建鲤 (*Cyprinus carpio* var. *jian*) 的免疫能力, 促进了消化系统的发育; 谢奉军<sup>[22]</sup>也发现适宜的赖氨酸含量可以促进稚鱼消化系统的发育。可见, 赖氨酸的积累对玻璃鳗稚鱼的生长发育有重要意义。本实验中玻璃鳗生长状态良好, 计算得出饵料中赖氨酸的理论需求量为 5.97%。

精氨酸与组氨酸含量的平衡有助于调节玻璃鳗稚鱼体内营养物质的平衡。不同采样点间精氨酸、组氨酸的含量存在显著差异, 舟山点样品的精氨酸含量最高, 组氨酸含量最低, 与其他采样点间差异显著 ( $P<0.05$ )。研究表明, 精氨酸在内分泌、生殖等方面发挥着重要作用, 同时, 还可以促进胰岛素、生长激素及胰高血糖素的分泌<sup>[48-49]</sup>。样品解剖时发现, 舟山点鱼体样品中未消化内容物较多, 说明玻璃鳗摄食较多, 体内需要分泌大量的酶类物质来促进食物的消化、代谢和转运, 精氨酸对其有促进作用, 因此体内精氨酸的积累较多。同时研究发现, 组氨酸能在饥饿状态下供能、抵御外界 pH 的变化、DNA 和蛋白合成等过程中发挥着重要作用<sup>[50]</sup>。舟山点样品组氨酸的含量最低, 可能由于舟山点食物充足, 组氨酸积累较少; 而其他采样点由于食物的匮乏导致饥饿, 刺激玻璃鳗体内营养物质转化成组氨酸去供能, 抵抗外界环境的变化, 体内组氨酸积累较多。本实验中计算的饵料中精氨酸和组氨酸的理论需求量分别为 4.47% 和 2.08%。玻璃鳗鱼体中非必需氨基酸的作用不容忽视。实验数据显示, 不同采样点样品中的天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸等 5 种非必需氨基酸存在显著性差异 ( $P<0.05$ ), 均以洋山点含量最高。天门冬氨酸是赖氨酸、苏氨酸、异亮氨酸及蛋氨酸等必需氨基酸的合成前体, 产生差异的原因可能与舟山点玻璃鳗活跃的营养物质代谢相关。因此, 在仔稚鱼的开口饵料中, 基础氨基酸的含量要得到保障。

### 3.3 稚鱼脂肪酸需要

玻璃鳗鱼体中总脂肪含量为 11.96%±1.33%，与黄鳝仔鱼总脂肪含量 (10.99%) 相近，但明显低于成熟日本鳗鲡总脂肪含量 (40.45%)，可能是玻璃鳗时期体内脂肪代谢旺盛，脂肪积累少。玻璃鳗稚鱼饵料总脂肪的理论需求量为 11.96%，明显高于中华鲟幼鲟 (9.06%)<sup>[42]</sup>，与半滑舌鳎幼鱼 (11.34%)<sup>[51]</sup> 相似。

鱼体中的必需脂肪酸对于玻璃鳗的生长、存活等方面发挥重要作用，舟山点的海洋环境中可能富含适合玻璃鳗仔鱼摄食的食物。实验研究认为海水鱼类的必需脂肪酸 (EFA) 主要包括 C22:6n-3(DHA)、C20:5n-3(EPA) 和 C20:4n-6(ARA) 三种高度不饱和脂肪酸<sup>[22, 52-53]</sup>。DHA 和 EPA 是海水仔稚鱼的必需脂肪酸早已经被大量研究所证实。常青等<sup>[54]</sup> 研究发现，DHA 和 EPA 在总脂肪酸中所占比重非常高，并且这种高水平一直持续于胚胎发育的全过程中。本次玻璃鳗稚鱼鱼体中检测的 DHA(24.46%±0.87%) 和 EPA(7.14%±0.22%) 含量与黎原谷等<sup>[28]</sup> 实验中测得人工催熟鱼卵中 DHA (25.98%) 和 EPA(4.27%) 含量相近，说明这两种脂肪酸从胚胎发育至仔鱼生长的过程中一直发挥着重要作用，与前人研究结果相一致。不同采样点间样品的 DHA 含量存在显著性差异，舟山点含量最高为 25.78%±0.46%，宁德点最低为 23.21%±0.24%，但 DHA 和 EPA 含量总和一直稳定在 31.59%±1.00%，通过计算得出，玻璃鳗饵料中 DHA 和 EPA 的理论需求量为 2.33% 和 0.63%。研究发现，自然界中自身可以合成 EPA 和 DHA 的水生生物只有褐藻、硅藻和红藻等<sup>[23]</sup>，玻璃鳗洄游过程中主要以海水中的天然饵料为生，体内较高的 EPA 和 DHA 含量，可能是由于食物链富集作用和摄食了富含 EPA 和 DHA 的藻类所致。鱼体中 ARA 含量除宁德点 (2.81%±0.23%) 和舟山点 (3.49%±0.14%) 之间存在显著性差异 ( $P<0.05$ )，其他点之间差异不显著 ( $P>0.05$ )，饵料中 ARA 的理论需求量为 0.28%。虽然 ARA 含量不高，但研究表明，ARA 对于海水硬骨鱼类生长、存活率、鱼体脂肪酸组成、繁殖、变态过程、体色、免疫力等方面同样发挥着重要的作用<sup>[55-57]</sup>。

基础脂肪酸对玻璃鳗稚鱼生长发育的影响不容忽视。实验结果显示，C16:0 和 C18:1n9 这两种

脂肪酸在玻璃鳗鱼体总脂肪酸中占比较高，与胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*)<sup>[58]</sup>、拟鳗副鳎 (*Paracobitis anguillioides*)<sup>[59]</sup>、大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)<sup>[60]</sup> 等相似。研究表明，C16:0 和 C18:1n9 作为基础脂肪酸参与鱼体的供能或转化为其他的脂肪酸<sup>[61-63]</sup>。舟山点样品中 C16:0 和 C18:1n9 含量显著低于其他采样点 ( $P<0.05$ )，可能与舟山点充足的可摄食食物相关。C16:0 和 C18:1n9 两种脂肪酸的理论需求量占比非常高，仅次于 DHA 的理论需求量。所以在玻璃鳗稚鱼喂养时要保证 C16:0 和 C18:1n9 脂肪酸的充足。

目前有关近海洄游路径上不同地点玻璃鳗营养成分的研究很少，该研究提供了重要的数据资料；同时，本实验通过对不同洄游地点玻璃鳗的营养组成进行比较分析，发现存在差异，结合饵料中营养素的理论需求量的计算，为洄游过程中食物来源及开口饵料的研究提供的数据支撑。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 丘继新, 方彰胜, 谢骏, 等. 日本鳗鲡人工繁殖的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(34): 13269-13272.  
Qiu J X, Fang Z S, Xie J, et al. Research advances on artificial breeding of japanese eel (*Anguilla japonica*)[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(34): 13269-13272 (in Chinese).
- [2] 樊海平, 王茂锋, 秦志清. 从苗种投放看世界养鳗业的发展[J]. 科学养鱼, 2016(12): 4-5.  
Fan H P, Wang M F, Qin Z Q. See the development of eel industry in the world from the seedling placement[J]. Scientific Fish Farming, 2016(12): 4-5 (in Chinese).
- [3] 许琪娅, 何英霞, 马德英, 等. 花鳗鲡必需氨基酸需要量初步研究[J]. 饲料研究, 2019, 42(2): 14-16.  
Xu Q Y, He Y X, Ma D Y, et al. Requirements for essential amino acid of marbled eel (*Anguilla marmorata*)[J]. Feed Research, 2019, 42(2): 14-16 (in Chinese).
- [4] Shirotori F, Ishikawa T, Tanaka C, et al. Species composition of anguillid glass eels recruited at southern Mindanao Island, the Philippines[J]. Fisheries Science, 2016, 82(6): 915-922.
- [5] Tanaka H. Progression in artificial seedling production  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- of Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. *Fisheries Science*, 2015, 81(1): 11-19.
- [ 6 ] Otakel T, Nogami K, Maruyama K. Dissolved and particulate organic matter as possible food sources for eel leptocephali[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 92: 27-34.
- [ 7 ] Miller M J, Chikaraishi Y, Ogawa N O, *et al.* A low trophic position of Japanese eel larvae indicates feeding on marine snow[J]. *Marine Biology*, 2013, 9(1): 20120826.
- [ 8 ] Ayala D J, Munk P, Lundgreen R B C, *et al.* Gelatinous plankton is important in the diet of European eel (*Anguilla anguilla*) larvae in the Sargasso Sea[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 6156.
- [ 9 ] Mochioka N, Iwamizu M. Diet of anguilloid larvae: leptocephali feed selectively on larvacean houses and fecal pellets[J]. *Marine Biology*, 1996, 125(3): 447-452.
- [10] Miller M J, Otake T, Aoyama J, *et al.* Observations of gut contents of leptocephali in the North Equatorial Current and Tomini Bay, Indonesia[J]. *Coastal Marine Science*, 2011, 35(1): 277-288.
- [11] Riemann L, Alfredsson H, Hansen M M, *et al.* Qualitative assessment of the diet of European eel larvae in the Sargasso Sea resolved by DNA barcoding[J]. *Marine Biology*, 2010, 6(6): 819-822.
- [12] Sato R, Tanaka Y, Ishimaru T. Species-specific house productivity of appendicularians[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 259: 163-172.
- [13] Miller M J. Ecology of anguilliform leptocephali: remarkable transparent fish larvae of the ocean surface layer[J]. *Aqua-BioScience Monographs*, 2009, 2(4): 1-94.
- [14] Miyazaki S, Kim H Y, Zenimoto K, *et al.* Stable isotope analysis of two species of anguilliform leptocephali (*Anguilla japonica* and *Ariosoma major*) relative to their feeding depth in the North Equatorial Current region[J]. *Marine Biology*, 2011, 158(11): 2555-2564.
- [15] Tanaka H, Kagawa H, Ohta H. Production of leptocephali of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in captivity[J]. *Aquaculture*, 2001, 201(1-2): 51-60.
- [16] Tanaka H, Kagawa H, Ohta H, *et al.* The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2003, 28(1-4): 493-497.
- [17] Okamura A, Yamada Y, Horie N, *et al.* Hen egg yolk and skinned krill as possible foods for rearing leptocephalus larvae of *Anguilla japonica* temminck & schlegel[J]. *Aquaculture Research*, 2013, 44(10): 1531-1538.
- [18] 刘利平, 刘登攀, 蒲金成, 等. 日本鳗鲡仔鱼的开口饵料和行为特征[J]. *水产学报*, 2017, 41(5): 703-710.
- [18] Liu L P, Liu D P, Pu J C, *et al.* Effects of different initial diets on the survival and behavior characteristics of the larvae of Japanese eel (*Anguilla japonica*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(5): 703-710 (in Chinese).
- [19] Rønnestad I, Tonheim S K, Fyhn H J, *et al.* The supply of amino acids during early feeding stages of marine fish larvae: a review of recent findings[J]. *Aquaculture*, 2003, 227(1-4): 147-164.
- [20] Parra G, Rønnestad I, Yúfera M. Energy metabolism in eggs and larvae of the Senegal sole[J]. *Journal of Fish Biology*, 1999, 55(sA): 205-214.
- [21] Rønnestad I, Thorsen A, Finn R N. Fish larval nutrition: a review of recent advances in the roles of amino acids[J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1-4): 201-216.
- [22] 谢奉军. 大黄鱼仔稚鱼氨基酸及脂肪酸营养生理的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [22] Xie F J. Studies on nutritional physiology of amino acid and fatty acid for large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) larvae[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011 (in Chinese).
- [23] Innis S M. The role of dietary n-6 and n-3 fatty acids in the developing brain[J]. *Developmental Neuroscience*, 2000, 22(5-6): 474-480.
- [24] 张艳霞, 谢成民, 周纷, 等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 220-227.
- [24] Zhang Y X, Xie C M, Zhou F, *et al.* Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 220-227 (in Chinese).
- [25] 常青. 半滑舌鳎仔稚鱼营养生理与开口饲料的开发研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [25] Chang Q. Studies on the nutritional physiology and development of artificial microdiets of tongue sole

- (*Cynoglossus semilaevis*) larvae and post-larvae[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006 (in Chinese).
- [26] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 12. Ministry of Health of the People's Republic of China. National Food Safety Standard Determination of Moisture in Foods[M]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 12 (in Chinese).
- [27] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4—2010 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 8. Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.4-2010 National food safety standard determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 8 (in Chinese).
- [28] 黎原谷, 李慷, 刘利平. 人工繁殖条件下日本鳗鲡鱼卵营养成分分析及评价[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(2): 190-199. Li Y G, Li K, Liu L P. Nutritional analysis and evaluation of eggs from the artificially induced maturation *Anguilla japonica*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(2): 190-199 (in Chinese).
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 17377—2008 动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 12. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 17377-2008 Animal and vegetable fats and oils-Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009: 12 (in Chinese).
- [30] 中国标准出版社. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12. Standards Press of China. National Standards for Food Safety Determination of Amino Acids in Foods[M]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 12 (in Chinese).
- [31] 杨晶晶, 姜志强, 左然涛, 等. 绒杜父鱼卵营养成分分析及评价[J]. 动物营养学报, 2014, 26(4): 1103-1110. Yang J J, Jiang Z Q, Zuo R T, et al. Nutritional analysis and evaluation on eggs of *Hemitripterus villosus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(4): 1103-1110 (in Chinese).
- [32] Ishikawa S, Suzuki K, Inagaki T, et al. Spawning time and place of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the North Equatorial current of the Western North Pacific ocean[J]. Fisheries Science, 2001, 67(6): 1097-1103.
- [33] 黄大明, 陈世群. 鳗鲡的生活史和人工育苗的探讨[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1998, 38(6): 63-67. Huang D M, Chen S Q. Exploring on the life cycle and artificial breeding of eel (*Anguilla*)[J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 1998, 38(6): 63-67 (in Chinese).
- [34] 胡园, 周朝生, 胡利华, 等. 海、淡水养殖日本鳗鲡肌肉和鱼皮营养分析比较[J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 730-739. Hu Y, Zhou C S, Hu L H, et al. Comparative analysis of the nutritional composition in the muscles and skins of *Anguilla japonica* cultured in the seawater and freshwater[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(4): 730-739 (in Chinese).
- [35] 王自蕊, 王晓芳, 朱长生, 等. 黄鳍胚胎和仔鱼发育过程中机体营养成分的变化[J]. 饲料工业, 2012, 33(4): 34-36. Wang Z R, Wang X F, Zhu C S, et al. Changes of body nutrients during the development of embryo and larva of *Monopterus albus*[J]. Feed Industry, 2012, 33(4): 34-36 (in Chinese).
- [36] 赵亭亭, 张岩, 陈超, 等. 3种养殖石斑鱼的肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 89-96. Zhao T T, Zhang Y, Chen C, et al. Analysis of nutrient components and evaluation of nutritive quality in flesh of three species of cultured groupers[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(6): 89-96 (in Chinese).
- [37] 郭永军, 邢克智, 徐大为, 等. 棕点石斑鱼的肌肉营养成分分析[J]. 水产科学, 2009, 28(11): 635-638. Guo Y J, Xing K Z, Xu D W, et al. Evaluation of nutritive quality and components in muscle of brownmarbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. Fisheries Science, 2009, 28(11): 635-638 (in Chinese).
- [38] 尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 豹纹鳃棘鲈肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 水生生物学报, 2014, 38(6): 1168-1172. You H Z, Sun J Z, Zhang Q, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in plectro-

- pomus leopardus muscles[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(6): 1168-1172 (in Chinese).
- [39] 王宇希, 应建平. 光唇鱼与厚唇鱼肌肉营养成分的研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(21): 10909-10910.
- Wang Y X, Ying J P. Study on the nutritional components in the muscles of *Acrossocheilus fasciatus* and *Acrossocheilus labiatus*[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(21): 10909-10910 (in Chinese).
- [40] 周李柳, 朱少轩, 李小霞, 等. 太平洋双色鳗鲡肌肉营养成分分析与评价[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(12): 105-109.
- Zhou L L, Zhu S X, Li X X, *et al.* Basic components analysis and nutritive value evaluation of *Anguilla bicolor pacifica* muscle[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(12): 105-109 (in Chinese).
- [41] Cahu C, Zambonino Infante J. Substitution of live food by formulated diets in marine fish larvae[J]. *Aquaculture*, 2001, 200(1-2): 161-180.
- [42] 张海涛, 李国立, 王安利. 鲟鱼的营养需求与仔鱼投饵技术[J]. *科学养鱼*, 2003(2): 53-54.
- Zhang H T, Li G L, Wang A L. Nutritional requirements and larval baiting techniques of sturgeon[J]. *Scientific Fish Farming*, 2003(2): 53-54 (in Chinese).
- [43] 常青, 梁萌青, 张汉华, 等. 海水仔稚鱼的营养需求与微颗粒饲料研究进展[J]. *渔业科学进展*, 2009, 30(1): 130-136.
- Chang Q, Liang M Q, Zhang H H, *et al.* Advances in nutritional demands and microdiet for marine fish larvae[J]. *Marine Fisheries Research*, 2009, 30(1): 130-136 (in Chinese).
- [44] Dabrowski K, Portella M C. Feeding plasticity and nutritional physiology in tropical fishes[J]. *Fish Physiology*, 2005, 21: 155-224.
- [45] 林香信, 颜孙安, 钱爱萍, 等. 花鳗鲡鱼体肌肉的氨基酸分析研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(29): 131-136.
- Lin X X, Yan S A, Qian A P, *et al.* Amino acid analysis of *Anguilla marmorata* muscle[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(29): 131-136 (in Chinese).
- [46] Kerr B J, Easter R A. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(10): 3000-3008.
- [47] Zhou X Q, Zhao C R, Jiang J, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2008, 14(5): 381-386.
- [48] Jobgen W S, Fried S K, Fu W J, *et al.* Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2006, 17(9): 571-588.
- [49] Yoshida Y, Aoki T, Sasaki H, *et al.* Crystal structures and physical properties of cation radical salts of ethylenedioxy-ethylenedithio-tetrathiafulvalene (edodt-ttf or eoet):  $\alpha$   $^{2+}$ -(Eoet)  $^{2-}$  and  $\beta$   $^{2+}$ -(Eoet)  $^{2-}$ [J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2003, 393(1): 105-118.
- [50] Li P, Mai K S, Trushenski J, *et al.* New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds[J]. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 43-53.
- [51] 张鑫磊. 半滑舌鳎胚胎发育及幼鱼营养需求的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- Zhang X L. Research on the fetation and further nutritional needs of *Cynoglossus semilaevis* juvenile[J]. Qingdao: Ocean University of China, 2006 (in Chinese).
- [52] 刘镜格, 陈晓琳. 海水仔稚鱼的必需脂肪酸——n-3系列高度不饱和脂肪酸研究概况[J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(6): 897-902.
- Liu J K, Chen X L. A survey of research on n-3 HUFA nutrition for marine fish larvae[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 32(6): 897-902 (in Chinese).
- [53] 陈晓琳, 刘镜格, 周利. 海水仔稚鱼必需脂肪酸——n-6系列高度不饱和脂肪酸研究概况[J]. *海洋科学*, 2004, 28(11): 61-63.
- Chen X L, Liu J K, Zhou L. Research outline of n-6 high unsaturated fatty acid for marine fish larvae[J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(11): 61-63 (in Chinese).
- [54] 常青, 梁萌青, 陈四清, 等. 半滑舌鳎受精卵、卵黄囊仔鱼和开口仔鱼氨基酸及脂肪酸的变化[J]. *水生生物学学报*, 2007, 31(6): 767-773.
- Chang Q, Liang M Q, Chen S Q, *et al.* Changes in amino acid and fatty acid composition during development in tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) eggs and larvae[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(6): 767-773 (in Chinese).
- [55] Lund I, Steenfeldt S J, Hansen B W. Effect of dietary arachidonic acid, eicosapentaenoic acid and docosahex-

- aenoic acid on survival, growth and pigmentation in larvae of common sole (*Solea solea* L.)[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 532-544.
- [56] Lund I, Steenfeldt S J, Banta G, *et al.* The influence of dietary concentrations of arachidonic acid and eicosapentaenoic acid at various stages of larval ontogeny on eye migration, pigmentation and prostaglandin content of common sole larvae (*Solea solea* L.)[J]. *Aquaculture*, 2008, 276(1-4): 143-153.
- [57] Rezek T C, Watanabe W O, Harel M, *et al.* Effects of dietary docosahexaenoic acid (22:6n-3) and arachidonic acid (20:4n-6) on the growth, survival, stress resistance and fatty acid composition in black sea bass *Centropristis striata* (Linnaeus 1758) larvae[J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(9): 1302-1314.
- [58] 郜卫华, 罗田, 谢芳丽, 等. 2龄胭脂鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(7): 176-180.
- Gao W H, Luo T, Xie F L, *et al.* Analysis and assessment of muscle nutritional components of 2 instar *Myxocyprinus asiaticus*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(7): 176-180 (in Chinese).
- [59] 郭霄旭, 姜启兴, 陈晓东, 等. 鳊鱼与泥鳅营养成分分析[J]. *轻工学报*, 2017, 32(1): 13-20.
- Guo X X, Jiang Q X, Chen X D, *et al.* Nutritional component analysis between *Paracoptis anguilloide* and *Misgurnus anguillicaudatu*[J]. *Journal of Light Industry*, 2017, 32(1): 13-20 (in Chinese).
- [60] 林利民, 陈武. 5种海水养殖鱼类肌肉脂肪酸组成分析及营养评价[J]. *福建农业学报*, 2005, 20(S1): 67-69.
- Lin L M, Chen W. Fatty acid composition and nutrition evaluation in muscle of five cultured marine fish[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 20(S1): 67-69 (in Chinese).
- [61] Agaba M K, Tocher D R, Zheng X Z, *et al.* Cloning and functional characterisation of polyunsaturated fatty acid elongases of marine and freshwater teleost fish[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2005, 142(3): 342-352.
- [62] Gregory M K, See V H L, Gibson R A, *et al.* Cloning and functional characterisation of a fatty acyl elongase from southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2010, 155(2): 178-185.
- [63] 李燕, 史建华, 李永强, 等. 翘嘴鳊、斑鳊和杂交鳊鱼体营养成分和氨基酸、脂肪酸组成的比较分析[J]. *水产科技情报*, 2015, 42(5): 246-250.
- Li Y, Shi J H, Li Y Q, *et al.* Comparative analysis of nutritional composition, amino acid and fatty acid composition of *Siniperca chuatsi*, *S. scherzeri* and hybrid *S. chuatsi*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2015, 42(5): 246-250 (in Chinese).

## Comparative study on the nutrient composition, amino acids, and fatty acids composition of glass eel tissues of Japanese eel (*Anguilla japonica*) from offshore of China

LI Tiezhu<sup>1</sup>, LI Kang<sup>1,2,3</sup>, WU Jiamin<sup>1\*</sup>, LIU Liping<sup>1,2,3\*</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to understand the nutritional requirements of Japanese eel (*Anguilla japonica*) larvae, the nutrients composition, amino acids and fatty acids were determined in the tissues of migratory glass eel from 6 different locations in the offshore of China. The results showed that the moisture content was 78.62%±2.03%, and the crude protein content, the crude fat content and the crude ash content were 69.08%±0.64%, 11.96%±1.33% and 11.45%±1.30%, respectively on a dry weight basis. No significant difference in moisture content from different sampling sites was observed. Samples from Zhoushan site had the highest crude protein content and the lowest crude fat content, which was significantly different from other sampling sites. Meanwhile, visible contents were found in the fish intestine from Zhoushan samples. In different migration locations, the amino acids with the highest content included glutamic acid, aspartic acid, lysine and leucine; while cysteine was the lowest. However, the only significant difference of amino acids content was found in samples from Zhoushan site. The C16:0, C18:1n9, C20:5n3 (EPA), C22:5n3, C22:6n3 (DHA) were the main components in samples from different sampling sites. The EPA and DHA accounted for 31.59%±1.00% of the total fatty acids, and the essential fatty acids contents were significantly different among samples from various sampling sites. Studies have shown that the theoretical requirements of essential amino acids and fatty acids were higher in the feed of larvae fish, which implied that both were important for the growth of glass eel. By comparing the nutrient composition of different sites and the theoretical feed requirements, it suggested that the marine environment at Zhoushan site contained more suitable food for glass eel, and further research is still needed to study the open bait for eel.

**Key words:** *Anguilla japonica*; glass eel; offshore migration; nutritional analysis

**Corresponding authors:** WU Jiamin. E-mail: jmwu@shou.edu.cn;

LIU Liping. E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

**Funding projects:** Key Projects of Developing Agricultural by Science and Technology in Shanghai (2020-02-08-00-10-F01471); National Natural Science Foundation of China (32072994); China-ASEAN Maritime Cooperation Fund (DF)