

## 饥饿对曼氏无针乌贼肝脏与卵巢脂肪酸组成的影响

吴丹华, 王春琳, 邵银文, 蒋霞敏

(宁波大学省部共建“应用海洋生物技术”教育部重点实验室, 浙江宁波315211)

**摘要:** 在曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindroni*) 性腺成熟阶段 (4~5月) 对其进行饥饿处理, 以空腹处理组饥饿0 d (禁食1 d)、饥饿12 d (禁食13 d) 和饥饿24 d (禁食25 d) 为取样时间取其肝脏和卵巢组织进行脂肪酸组成及质量分数测定。结果表明, 随着饥饿时间的延长, 乌贼体质量下降, 肝脏和卵巢萎缩, 肝脏中的饱和脂肪酸 (SFA) 和单不饱和脂肪酸 (MUFA) 较空腹处理组有显著下降 ( $P < 0.05$ ), 而多不饱和脂肪酸 (PUFA) 和高不饱和脂肪酸 (HUFA) 均有显著提高 ( $P < 0.05$ )。与肝脏相比, 乌贼卵巢中的各脂肪酸组成在饥饿12 d 变化较小, 饥饿24 d 时  $\Sigma$  SFA 较空腹处理组有极显著下降 ( $P < 0.01$ ), 而  $\Sigma$  MUFA、 $\Sigma$  PUFA +  $\Sigma$  HUFA 和  $\Sigma$  n-6 PUFA 显著高于空腹处理组 ( $P < 0.05$ )。

**关键词:** 曼氏无针乌贼; 饥饿; 肝脏; 卵巢; 脂肪酸组成

中图分类号: S 917; Q 547

文献标志码: A

文章编号: 1673-2227-(2010)02-0046-07

## Effects of starvation on fatty acid composition of liver and ovary in *Sepiella maindroni*

WU Danhua, WANG Chunlin, SHAO Yinwen, JIANG Xiamin

(Key Lab. of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** *Sepiella maindroni* samples at sexual maturity (4~5 months) were starved for 0, 12 and 24 days, then the liver and ovary were examined to study the effects of starvation on the fatty acid composition. The results showed that with the prolongation of starvation time, there were weight loss, atrophy of liver and ovary in *S. maindroni*. Compared with the fasting group, the percentage of saturation fatty acid (SFA) and monounsaturated fatty acid (MUFA) in the liver of starved *S. maindroni* decreased significantly ( $P < 0.05$ ), while the percentages of polyunsaturated fatty acid (PUFA) and highly-unsaturated fatty acid (HUFA) increased significantly ( $P < 0.05$ ). Compared with the case of liver, the fatty acid composition of ovary in *S. maindroni* remained relatively constant within the 12-day starvation, but as for the 24-day starvation, the percentages of  $\Sigma$  SFA declined very significantly ( $P < 0.01$ ) while those of  $\Sigma$  MUFA,  $\Sigma$  PUFA +  $\Sigma$  HUFA and  $\Sigma$  n-6 PUFA increased significantly in comparison with the fasting group ( $P < 0.05$ ).

**Key words:** *Sepiella maindroni*; starvation; liver; ovary; fatty acid composition

自然界由于食物存在空间上的分布不均匀、季节的更替、环境条件的剧变等原因, 水产动物在生

活周期的一定阶段将面临食物资源的缺乏而受到饥饿胁迫。很多水产动物都具备能够忍受较长时间饥

收稿日期: 2009-11-30; 修回日期: 2009-12-21

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40646030, 40776076); 国家科技支撑计划项目 (2007BAD43B05); 国家教育部长江学者和创新团队发展计划项目 (IRT0734); 教育部重点科研项目 (207045); 浙江省重大科技项目 (2006C13040, 2007C1206); 宁波市自然科学基金项目 (2006A610085)

作者简介: 吴丹华 (1983-), 女, 硕士研究生, 从事水产经济动物遗传与育种研究。E-mail: wudanhua123@163.com

通讯作者: 王春琳, E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

饿的生理功能, 为维持自身生命, 它们将减少代谢率甚至通过消耗自身组织的贮存物质等行为来适应短期的食物不足问题<sup>[1]</sup>。

水产动物在胚胎期可以依靠卵黄或母体提供营养, 但在生长繁殖期所需的食物和能量必须从外界环境中获得。食物短缺将严重制约水产动物的成活、生长、发育和繁殖等生命活动<sup>[2]</sup>。谢小军等<sup>[3]</sup>及胡麟和吴天星<sup>[4]</sup>综述了饥饿对鱼类代谢、身体组成、形态结构、行为、繁殖习性和成活的影响, 并指出研究饥饿对鱼类生理学状况的影响有助于了解鱼类适应饥饿胁迫的生态对策, 对水产动物自然资源的保护、苗种培育及人工养殖等方面具有重要的指导意义。研究饥饿对海产经济动物生理生态学的影响, 不仅可以揭示其适应饥饿胁迫的生理学对策, 也可以为研发高效投喂技术提供理论依据<sup>[5]</sup>。

近年来, 国内外学者对乌贼类的种群变动、资源状况、洄游分布、环境耐受性、摄食、生长、营养价值、乌贼墨及其养殖等方面的研究已有报道<sup>[6-10]</sup>, 但对曾是中国四大渔业之一的曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindrona*) 生理方面研究报道还较少。元冬娟等<sup>[11]</sup>指出脂肪酸在贝类的天然免疫反应、寒冷的适应性、繁殖和胚胎发育等生理过程中都起着关键的作用。文章研究了饥饿胁迫下曼氏无针乌贼肝脏与卵巢中的脂肪酸组成变化, 以期了解饥饿这一特殊条件对曼氏无针乌贼生长、繁殖的影响, 为曼氏无针乌贼营养需求、能量代谢及生理学研究提供理论资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2007年4~5月在宁海双盘涂水产养殖基地进行。试验曼氏无针乌贼选自奉化市乌贼育苗养殖基地, 初始平均胴长为(10.27±1.81) cm, 平均体质量为(115.8±12.6) g且为卵巢成熟的雌性乌贼。暂养于设有遮阳布的网箱(4 m×2 m×2 m)中, 每天早、晚测定水质指标, 投喂鲜活小杂鱼并及时清除网箱内残饵, 观察乌贼的活动情况。水温(18±1.5) °C、盐度22.5±0.3、pH 8.2±0.1、溶氧(5.3±0.4) mg·L<sup>-1</sup>。适应15 d后, 挑选规格整齐、体色正常的健康曼氏无针乌贼30只分3个网箱放养。将3组乌贼分别设计不同

的禁食处理后同一天取样, 即空腹处理组(禁食1 d)、饥饿12 d(禁食13 d)、饥饿24 d(禁食25 d), 每个网箱内各取5只乌贼活体运至实验室并及时取其组织。曼氏无针乌贼的体质量和胴体长在运到双盘涂开始暂养前测定。由于曼氏无针乌贼离水后极容易喷墨而影响活力, 因此, 该试验的称量过程是先在烧杯中放入少量自然海水, 在精确度为0.1 g的电子天平上去皮质量后再将曼氏无针乌贼移入该烧杯称量, 记录湿质量即为体质量, 用普通直尺测量乌贼胴体长, 精确度为0.1 cm。

### 1.2 样本制备及测定

将饥饿处理的活体乌贼用吸水纸吸干体表水分, 测定体质量及胴体长后迅速在冰盘上解剖, 取出其肝脏、卵巢, 用预冷生理盐水快速冲洗, 并用脱脂棉小心揩干, 称量, 低温冷冻干燥后用于脂肪酸测定。测定工具同1.1。

脂肪酸(GC-MS)分析具体参数设定。1) 气相色谱条件: 进样口温度250 °C, 载气氦(He), 柱流速0.81 mL·min<sup>-1</sup>, 柱前压73.0 kPa, 柱起始温度150 °C, 保持3.5 min, 以20 °C·min<sup>-1</sup>升至200 °C, 保持5 min, 再以5 °C·min<sup>-1</sup>升至280 °C, 保持15 min。分流进样1 μL, 分流比50:1; 2) 质谱条件: 电子轰击源(EI), 电子能量70 eV, 离子源温度200 °C, 接口温度250 °C, 全程离子碎片扫描(SCAN)模式, 质量扫描范围40~650, 溶剂延迟3.5 min。测定仪器及柱子: QP 2010GC-MS仪(日本SHIMADZU公司出品), 30 m×0.25 mm×0.25 μm SPB-50色谱柱(美国SU-PELCO公司出品)。

### 1.3 数据统计分析

所有数据均以平均值±标准差(Mean±SD)表示, 用Excel进行整理统计, 采用SPSS 13.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 达显著差异后( $P<0.05$ ), 则采用Duncan检验进行组间差异的多重比较。

## 2 结果

空腹处理组、饥饿12和24 d处理组的曼氏无针乌贼个体大小出现显著差异( $P<0.05$ ), 空腹处理组曼氏无针乌贼个体大, 活力好, 其生殖腔内可见大量分散、透明的成熟卵子; 饥饿12 d组的乌贼个体较空腹处理组小, 卵巢中的卵子颗粒也不

饱满；饥饿 24 d 组的乌贼身体明显消瘦、弱小、反应迟钝，其卵巢严重萎缩，发育不良，具体形态学指标见表 1。曼氏无针乌贼在饥饿 12 和 24 d 后

的体质量、胴体长、肝脏质量及卵巢质量均有显著下降 ( $P < 0.05$ )。

表 1 饥饿对曼氏无针乌贼形态学的影响

Tab. 1 Effects of starvation on morphology of *S. maindroni*

处理组 group	体质量/g body weight	胴体长/cm carcass length	肝脏质量/g liver weight	卵巢质量/g ovary weight
空腹组 fasting group	159.8 ± 17.4 <sup>a</sup>	11.14 ± 2.31 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.6 <sup>a</sup>	14.5 ± 2.9 <sup>a</sup>
饥饿 12 d starvation	123.4 ± 25.9 <sup>b</sup>	9.56 ± 1.97 <sup>b</sup>	2.5 ± 0.7 <sup>b</sup>	10.1 ± 1.6 <sup>b</sup>
饥饿 24 d starvation	87.1 ± 12.8 <sup>c</sup>	7.42 ± 1.75 <sup>c</sup>	1.3 ± 0.4 <sup>c</sup>	5.6 ± 2.1 <sup>c</sup>

注：不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )，下同

Note: Different letters represent significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below.

## 2.1 饥饿前后曼氏无针乌贼肝脏脂肪酸变化

空腹处理组、饥饿 12 和 24 d 处理组的肝脏脂肪酸含量测定结果见表 2。饥饿 12 d 时乌贼肝脏中的饱和脂肪酸 (saturated fatty acids, SFA) 和单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 比率较空腹处理组显著下降 ( $P < 0.05$ )，而多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 和高不饱和脂肪酸 (highly-unsaturated fatty acid, HUFA) 比率均有显著提高 ( $P < 0.05$ )；饥饿 24 d 时未检测到其肝脏中的 C<sub>12:0</sub>， $\Sigma$  SFA、 $\Sigma$  MUFA 和  $\Sigma$  n-3/n-6 PUFA 的比率较空腹处理组显著下降 ( $P < 0.05$ )，而  $\Sigma$  PUFA +  $\Sigma$  HUFA、DHA/EPA 比率较空腹处理组有显著上升 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 饥饿前后曼氏无针乌贼卵巢脂肪酸变化

空腹处理组、饥饿 12 和 24 d 处理组的卵巢脂肪酸含量测定结果见表 3。与肝脏相比，乌贼卵巢中的各脂肪酸含量在饥饿 12 d 时与空腹处理组相比变化程度较小，其中  $\Sigma$  SFA、 $\Sigma$  MUFA、 $\Sigma$  n-3/n-6 PUFA 比率及组成在饥饿 12 d 时与空腹处理组无显著变化 ( $P > 0.05$ )，但  $\Sigma$  PUFA +  $\Sigma$  HUFA、 $\Sigma$  n-3/n-6 PUFA 和  $\Sigma$  n-6 PUFA 比率较空腹处理组有显著下降 ( $P < 0.05$ )，且未检测到 EPA；饥饿 24 d 卵巢中的  $\Sigma$  SFA、DHA/EPA、 $\Sigma$  n-3/n-6 PUFA 比率较空腹处理组有极显著下降 ( $P < 0.01$ )，而  $\Sigma$  MUFA、 $\Sigma$  PUFA +  $\Sigma$  HUFA 和  $\Sigma$  n-6 PUFA 比率显著高于空腹处理组 ( $P < 0.05$ )。可见饥饿 12 d 时，曼氏无针乌贼卵巢内的各脂肪酸比率变化程度较小，而饥饿 24 d 时，曼氏无针乌贼卵巢内的脂

肪酸比率变化趋势跟肝脏内的变化趋势一致。

## 3 讨论

面对食物缺乏，动物将调整自身的代谢过程以适应饥饿胁迫，许多水产动物都能忍受较长时间的饥饿。饥饿状态下水产动物的一些外部形态特征和内部解剖性状产生某些特定的变化，如动物体逐渐消瘦、头大体小、背薄尾尖、肠管变细、肝胰脏缩小和卵巢发育不良等<sup>[12-13]</sup>。该试验中，饥饿 24 d 后的曼氏无针乌贼在形态上就发生了明显变化，个体明显小于空腹组，体质量显著下降 ( $P < 0.05$ )，解剖内脏也发现其肝脏组织明显萎缩和卵巢组织严重发育不良，这与很多学者研究的结果相似<sup>[14-15]</sup>。说明曼氏无针乌贼至少能够忍受 24 d 内的饥饿胁迫，但在饥饿胁迫情况下，曼氏无针乌贼必须动用体内的储存物质来维持自身生命，已不能保证其生长发育。关于饥饿胁迫下曼氏无针乌贼各组织的组织学研究将有待于进一步深入。

饥饿胁迫时，水产动物代谢发生适应性生理变化，多数水产动物以脂肪和糖元作为能源物质，调节身体各种酶活性，以达到积极利用体内的贮存物质，得以维持生命<sup>[16]</sup>。一般情况下，作为主要贮能物质的糖元、脂肪和蛋白质在饥饿过程中将会不同程度地被消耗。通过对性腺发育成熟的曼氏无针乌贼作不同程度的饥饿处理，测定其肝脏和卵巢中各脂肪酸含量比率，可以分析其相应的生化组成，获得饥饿期间动物使用身体贮能物质的变化资料。

表2 饥饿对曼氏无针乌贼肝脏脂肪酸组成的影响

Tab. 2 Effect of starvation on fatty acid composition of liver in *S. maindroni*

脂肪酸 fatty acids	空腹组 fasting group	饥饿时间/d starvation time	
		12	24
12 : 0	0. 042 ± 0. 002 <sup>a</sup>	0. 033 ± 0. 006 <sup>b</sup>	—
14 : 0	1. 231 ± 0. 010 <sup>b</sup>	3. 533 ± 0. 012 <sup>a</sup>	0. 853 ± 0. 015 <sup>c</sup>
15 : 0	1. 860 ± 0. 009 <sup>a</sup>	0. 663 ± 0. 040 <sup>b</sup>	0. 373 ± 0. 025 <sup>c</sup>
16 : 0	27. 636 ± 0. 014 <sup>a</sup>	24. 373 ± 0. 021 <sup>b</sup>	12. 757 ± 0. 051 <sup>c</sup>
17 : 0	3. 344 ± 0. 017 <sup>a</sup>	1. 467 ± 0. 006 <sup>b</sup>	1. 780 ± 0. 010 <sup>b</sup>
18 : 0	19. 130 ± 0. 010 <sup>a</sup>	12. 457 ± 0. 049 <sup>b</sup>	18. 500 ± 0. 026 <sup>a</sup>
19 : 0	0. 308 ± 0. 008 <sup>a</sup>	0. 193 ± 0. 006 <sup>b</sup>	0. 357 ± 0. 006 <sup>a</sup>
20 : 0	2. 953 ± 0. 015 <sup>a</sup>	0. 663 ± 0. 006 <sup>c</sup>	2. 123 ± 0. 025 <sup>b</sup>
21 : 0	—	—	0. 053 ± 0. 006
22 : 0	0. 241 ± 0. 012 <sup>b</sup>	0. 063 ± 0. 006 <sup>c</sup>	0. 323 ± 0. 006 <sup>a</sup>
23 : 0	0. 099 ± 0. 009	—	—
ΣSFA	56. 844 ± 0. 011 <sup>a</sup>	43. 445 ± 0. 025 <sup>b</sup>	37. 119 ± 0. 029 <sup>c</sup>
16 : 1 (n-7)	4. 963 ± 0. 025 <sup>a</sup>	0. 510 ± 0. 010 <sup>b</sup>	0. 417 ± 0. 021 <sup>b</sup>
18 : 1 (n-9)	4. 087 ± 0. 021 <sup>a</sup>	3. 530 ± 0. 017 <sup>b</sup>	1. 030 ± 0. 017 <sup>c</sup>
18 : 1 (n-7)	6. 488 ± 0. 033 <sup>a</sup>	1. 767 ± 0. 012 <sup>b</sup>	1. 287 ± 0. 006 <sup>b</sup>
20 : 1 (n-9)	1. 532 ± 0. 010 <sup>a</sup>	0. 290 ± 0. 010 <sup>c</sup>	0. 470 ± 0. 020 <sup>b</sup>
ΣMUFA	17. 790 ± 0. 027 <sup>a</sup>	6. 097 ± 0. 014 <sup>b</sup>	3. 204 ± 0. 016 <sup>c</sup>
18 : 3 (n-3)	—	0. 070 ± 0. 010 <sup>b</sup>	0. 233 ± 0. 006 <sup>a</sup>
20 : 5 (n-3) EPA	8. 886 ± 0. 044 <sup>b</sup>	15. 047 ± 0. 045 <sup>a</sup>	16. 827 ± 0. 025 <sup>a</sup>
22 : 5 (n-3)	0. 765 ± 0. 004 <sup>c</sup>	0. 883 ± 0. 012 <sup>b</sup>	1. 810 ± 0. 010 <sup>a</sup>
22 : 6 (n-3) DHA	7. 015 ± 0. 018 <sup>c</sup>	24. 440 ± 0. 072 <sup>a</sup>	17. 220 ± 0. 026 <sup>b</sup>
20 : 4 (n-6)	3. 619 ± 0. 018 <sup>b</sup>	3. 747 ± 0. 021 <sup>b</sup>	9. 363 ± 0. 038 <sup>a</sup>
22 : 4 (n-6)	—	—	1. 330 ± 0. 026
ΣPUFA + HUFA	20. 285 ± 0. 015 <sup>b</sup>	44. 187 ± 0. 039 <sup>a</sup>	46. 783 ± 0. 029 <sup>a</sup>
DHA/EPA	0. 789 ± 0. 002 <sup>c</sup>	1. 624 ± 0. 001 <sup>a</sup>	1. 023 ± 0. 002 <sup>b</sup>
Σn-3 PUFA	16. 666 ± 1. 228 <sup>c</sup>	40. 440 ± 3. 074 <sup>a</sup>	36. 090 ± 2. 419 <sup>b</sup>
Σn-6 PUFA	3. 619 ± 0. 010 <sup>b</sup>	3. 747 ± 0. 012 <sup>b</sup>	10. 693 ± 1. 796 <sup>a</sup>
Σn-3/n-6 PUFA	4. 603 ± 0. 002 <sup>b</sup>	10. 794 ± 0. 049 <sup>a</sup>	3. 375 ± 0. 001 <sup>c</sup>

注: ΣSFA. 饱和脂肪酸总百分比; ΣMUFA. 单不饱和脂肪酸总百分比; ΣPUFA. 多不饱和脂肪酸总百分比; ΣHUFA. 高不饱和脂肪酸总百分比; 下同

Note: ΣSFA. total percentage of saturated fatty acid; ΣMUFA. total percentage of monounsaturated fatty acid; ΣPUFA. total percentage of polyunsaturated fatty acid; ΣHUFA. total percentage of highly-unsaturated fatty acid. The same below.

表3 饥饿对曼氏无针乌贼卵巢脂肪酸组成的影响

Tab. 3 Effect of starvation on fatty acid composition of ovary in *S. maindroni*

脂肪酸 fatty acids	空腹组 fasting group	饥饿时间/d starvation time	
		12	24
12 : 0	0.053 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.023 ± 0.006	0.043 ± 0.006 <sup>b</sup>
14 : 0	3.067 ± 0.015 <sup>a</sup>	3.600 ± 0.046 <sup>a</sup>	1.317 ± 0.021 <sup>b</sup>
15 : 0	0.294 ± 0.005 <sup>b</sup>	—	0.477 ± 0.025 <sup>a</sup>
16 : 0	28.156 ± 0.014 <sup>a</sup>	25.547 ± 0.050 <sup>a</sup>	1.213 ± 0.015 <sup>b</sup>
17 : 0	0.997 ± 0.006 <sup>b</sup>	1.837 ± 0.015 <sup>a</sup>	0.257 ± 0.006
18 : 0	11.737 ± 0.006 <sup>a</sup>	13.153 ± 0.050 <sup>a</sup>	0.090 ± 0.010 <sup>b</sup>
19 : 0	0.105 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.273 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.293 ± 0.006 <sup>a</sup>
20 : 0	0.856 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.787 ± 0.012 <sup>a</sup>	0.123 ± 0.006 <sup>b</sup>
22 : 0	0.076 ± 0.005 <sup>c</sup>	0.103 ± 0.015 <sup>b</sup>	0.163 ± 0.006 <sup>a</sup>
ΣSFA	45.341 ± 0.009 <sup>a</sup>	45.323 ± 0.027 <sup>a</sup>	3.976 ± 0.012 <sup>b</sup>
16 : 1 (n-7)	—	0.420 ± 0.017 <sup>b</sup>	1.130 ± 0.026 <sup>a</sup>
18 : 1 (n-9)	3.806 ± 0.020 <sup>b</sup>	2.837 ± 0.032 <sup>b</sup>	18.047 ± 0.047 <sup>a</sup>
18 : 1 (n-7)	1.191 ± 0.010 <sup>b</sup>	1.733 ± 0.023 <sup>a</sup>	1.203 ± 0.006 <sup>b</sup>
20 : 1 (n-9)	0.197 ± 0.011 <sup>b</sup>	0.393 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.323 ± 0.006 <sup>a</sup>
ΣMUFA	5.194 ± 0.013 <sup>b</sup>	5.776 ± 0.021 <sup>b</sup>	20.703 ± 0.019 <sup>a</sup>
18 : 3 (n-3)	0.176 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.063 ± 0.006 <sup>c</sup>	6.067 ± 0.042 <sup>a</sup>
20 : 5 (n-3)	10.652 ± 0.053 <sup>b</sup>	—	14.153 ± 0.046 <sup>a</sup>
22 : 5 (n-3)	0.584 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.950 ± 0.010 <sup>a</sup>	0.836 ± 0.006 <sup>a</sup>
22 : 6 (n-3)	28.441 ± 0.079 <sup>a</sup>	26.210 ± 0.010 <sup>a</sup>	18.653 ± 0.137 <sup>b</sup>
20 : 4 (n-6)	4.461 ± 0.022 <sup>b</sup>	3.070 ± 0.044 <sup>b</sup>	10.580 ± 0.069 <sup>a</sup>
22 : 4 (n-6)	—	—	0.657 ± 0.025
ΣPUFA + HUFA	44.314 ± 0.035 <sup>b</sup>	30.293 ± 0.017 <sup>c</sup>	50.946. ± 0.074 <sup>a</sup>
DHA/EPA	2.670 ± 0.007 <sup>a</sup>	—	1.318 ± 0.007 <sup>b</sup>
Σn-3 PUFA	39.853 ± 3.456 <sup>a</sup>	27.223 ± 4.286 <sup>b</sup>	39.710 ± 2.087 <sup>a</sup>
Σn-6 PUFA	4.461 ± 0.013 <sup>b</sup>	3.070 ± 0.025 <sup>c</sup>	11.237 ± 2.219 <sup>a</sup>
Σn-3/n-6 PUFA	8.924 ± 0.005 <sup>a</sup>	8.869 ± 0.129 <sup>a</sup>	3.534 ± 0.011 <sup>b</sup>

饥饿期间动物体动用机体内能源物质有先有后，而对不同器官，动用贮能物质也有先后次序。该试验结果发现，饥饿过程中曼氏无针乌贼肝脏中的ΣSFA 和ΣMUFA 作为维持生命的能源物质首先被利用，并且肝脏中的ΣSFA 和ΣMUFA 其中一部分也可能被转移到卵巢中，致使其比率在饥饿 12 d 时明显降低 ( $P < 0.05$ )。此外，卵巢的营养由于

无法完成繁殖活动而逐步被吸收，其Σn-3 PUFA 和Σn-6 PUFA 可能是首先被转移的对象，同时从肝脏中获得了ΣSFA 和ΣMUFA 来保证卵巢的正常发育，因而导致卵巢中Σn-3 PUFA 和Σn-6 PUFA 比率有所下降，而ΣSFA 和ΣMUFA 组成在饥饿 12 d 时受饥饿胁迫的影响较小，其比率及组成没有明显变化 ( $P > 0.05$ )。这一结果同时表明，曼

氏无针乌贼各器官组织的功能不同, 肝脏组织起贮存能源物质的作用, 对饥饿等外界条件敏感, 饥饿时优先动用其中的能源物质, 而性腺(卵巢)在饥饿等恶劣的条件下, 首先会得到保护, 也有可能是肝脏储存的脂肪一部分用于能量被消耗, 而另一部分被用于卵巢的发育, 即卵巢的脂肪积累在没有外界食物来源时主要来源于肝脏中储存脂肪的转运。但随着饥饿胁迫时间的延长, 因肝脏中的脂肪将不足以提供给卵巢, 为达到维持自身生命的目的, 当饥饿24 d后曼氏无针乌贼只能动用卵巢中的 $\Sigma$ SFA来保护自己, 故 $\Sigma$ SFA比率明显降低, 这可能是因为曼氏无针乌贼肝脏中所贮存的能量已经提供到了极限, 卵巢的营养由于无法完成繁殖活动, 逐步被吸收来维持自身的生命活动。JEZIERSKA等<sup>[17]</sup>研究虹鳟(*Salmo gairdneri*)指出, 饥饿胁迫降低了单不饱和脂肪酸的含量, 从而导致了饱和脂肪酸含量的升高。

谢小军等<sup>[3]</sup>研究报道了饥饿过程中鱼类对其体内不同种类脂肪酸的利用顺序有一定的规律, 即首先利用SFA, 然后MUFA, 最后才动用HUFA。FALK等<sup>[18]</sup>和MOURENTE<sup>[19]</sup>研究也发现, n-6 PUFA和n-3 PUFA在各自组织中被优先保存下来, 而SFA和MUFA作为仔鱼吸收卵黄内源营养发育阶段的重要能源被首先利用。KOVEN等<sup>[20]</sup>发现金鲷(*Sparus aurata*)仔鱼在饥饿过程中脂肪酸损失速率的排列顺序为 $\Sigma$ n-6 PUFA> $\Sigma$ n-9 PUFA> $\Sigma$ n-3 PUFA。SATOH等<sup>[21]</sup>对饥饿胁迫下尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)脂肪酸含量变化的研究中也发现各种类脂肪酸损失速率有类似排列顺序。DESLIVA等<sup>[22]</sup>提出饥饿影响鱼体组织特别是肝脏和肌肉的脂肪酸组成及内脏的脂肪积累, 且不同鱼类脂肪酸的动用也存在着差异。该试验结果也证明以上学者的观点, 即饥饿过程中曼氏无针乌贼肝脏中 $\Sigma$ SFA和 $\Sigma$ MUFA的比率在饥饿12 d时含量降低明显, 而 $\Sigma$ PUFA+ $\Sigma$ HUFA在饥饿12 d时的比率显著升高。当肝脏中的 $\Sigma$ SFA和 $\Sigma$ MUFA被利用到一定程度后(饥饿24 h), 卵巢中的 $\Sigma$ SFA和 $\Sigma$ MUFA比率也出现极显著下降( $P<0.01$ )。至于曼氏无针乌贼若继续长时间饥饿, 其组织内的 $\Sigma$ MUFA的比率是否将相应下降还有待于作进一步深入研究。

饥饿或限食对于控制因投饵不当引起的自身污染具有十分现实的意义。随着养殖规模的扩大, 养

殖水体富营养化日趋严重, 导致水质恶化, 溶氧减少, 病害频发, 对养殖产业构成了严重威胁。而在养殖过程中因投喂不合理导致残饵、动物粪便和排泄物等产生的自身污染是产生养殖水体恶化的主要原因之一。如果能够利用补偿生长现象进行科学投喂, 减少饥饿期间排泄量及增加恢复生长期食欲来减少养殖过程中的残饵量, 从源头控制自身污染, 就能促进水产养殖业的可持续健康发展。该试验为进一步研究曼氏无针乌贼的补偿生长奠定了基础, 也为曼氏无针乌贼的高效投喂模式提供了技术支持。

### 参考文献:

- [1] 林学群. 饥饿和再投喂对虹鳟生理参数的影响 [J]. 汕头大学学报: 自然科学版, 1998, 13 (2): 51-57.
- [2] 宋昭彬, 何学福. 鱼类饥饿研究现状 [J]. 动物学杂志, 1998, 33 (1): 48-52.
- [3] 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展 [J]. 水生生物学报, 1998, 22 (2): 181-188.
- [4] 胡麟, 吴天星. 饥饿对鱼类生理生化的影响 [J]. 水利渔业, 2007, 27 (1): 7-9.
- [5] 林黑着, 刘永坚, 何建国, 等. 饥饿对斜带石斑鱼肝脏和肌肉脂肪酸组成的影响 [J]. 南方水产, 2006, 2 (4): 1-6.
- [6] 严利平, 李建生. 东海区经济乌贼类资源量评估 [J]. 海洋渔业, 2004, 26 (3): 189-192.
- [7] 陈小娥. 曼氏无针乌贼的主要营养成分研究 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2000, 19 (4): 324-326.
- [8] KOUETA N, BOUCAUD-CAMOU E. Basic growth relations in experimental rearing of early juvenile cuttlefish *Sepia officinalis* L. (Mollusca: Cephalopoda) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2001, 265 (1): 75-87.
- [9] 尹飞, 王春琳, 宋微微. 曼氏无针乌贼幼体生态因子耐受性的研究 [J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25 (4): 39-43.
- [10] CORREIA M, DOMINGUES P M, SYKES A, et al. Effects of culture density on growth and broodstock management of the cuttlefish, *Sepia officinalis* (Linnaeus, 1758) [J]. Aquac, 2005, 245 (1/4): 163-173.
- [11] 元冬娟, 邵正, 程小广, 等. 冬、夏季6种经济贝类脂肪酸组成 [J]. 南方水产, 2009, 5 (4): 47-53.
- [12] ZAMAL H, OLLEVIER F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish [J]. J Fish Biol, 1995, 46 (3): 404-414.
- [13] 沈文英, 林浩然, 张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响 [J]. 动物学报, 1999, 45 (4): 404-412.
- [14] EINEN O, WAAGEN B, THOMASSEN M S. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*): I. Effects on weight loss, body shape, slaughter and fillet-yield, proximate and fatty

- acid composition [J]. *Aquac*, 1998, 166 (1/2): 85-104.
- [15] GUDERLEY H, LAPOINTE D, BEDARD M, et al. Metabolic priorities during starvation: enzyme sparing in liver and white muscle of Atlantic cod, *Gadus morhua* L [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2003, 135A (2): 347-356.
- [16] 张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31 (5): 480-483.
- [17] JEZIERSKA B, HAZEL J R, GERKING S D. Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, with attention to fatty acids [J]. *J Fish Biol*, 1982, 21 (1): 681-692.
- [18] FALK P S, FALK P I, SARGENT J R, et al. Lipid class and fatty acid composition of eggs from the Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [J]. *Aquac*, 1986, 52 (3): 207-211.
- [19] MILLAMENA O M. Effect of fatty acid composition of broodstock diet on tissue fatty acid patterns and egg fertilization and hatching in pond-reared *Penaeus monodon* [J]. *Asian Fish Sci*, 1989, 2 (2): 127-134.
- [20] KOVEN W M, KISSIL G W, TANDDER A. Lipid and n-3 requirement of *Sparus aurata* larvae during starvation and feeding [J]. *Aquac*, 1989, 79 (1): 185-191.
- [21] SATOH S, TAKEUCHI T, WATANABLE T. Effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid compositions of *Tilapia nilotica* [J]. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1984, 50 (1): 79-84.
- [22] DESLIVA S S, CUNASEKERA R M, AUSTIN C M. Changes in the fatty acid profiles of hybrid red tilapia, (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*), subjected to short-term starvation, and a comparison with changes in seawater raised fish [J]. *Aquac*, 1997, 153 (3/4): 273-290.